

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA 01
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE DES POPULATIONS 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 de réponses morpho-physiologiques et biochimiques des génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous stress hydrique.

Réalisé par :

M^{elle} LAIMECHE FATIMA & M^{elle} LARIBI FATIMA ZAHRA

Date de soutenance : 15 juillet 2019

Devant le jury :

Me.MITIDJI.H	MCB/BPO	USDB 1	President
Me.AMARA.N	MCB/BPO	USDB 1	Examinatrice
Mr.BACHIRI. H	CHARGE D'ETUDES	INRAA	Co-Encadreur
Mr.ROUIBI. A	MCA/BP	USDB 1	Encadreur

Année universitaire : 2018-2019

Remerciements

Nous remercions tout d'abord ALLAH le tout puissant, qui nous a donné la force, la volonté, et la santé d'entamer et de terminer ce modeste travail.

Au terme de ce travail nous tenons à remercier infiniment :

Notre Co-promoteur Mr Bachiri H, qui nous a fait l'honneur en acceptant de nous confier ce travail pour son aide, ses encouragements et sa disponibilité, ses conseils précieux et sa patience.

Notre promoteur Mr Rouibi A, pour sa disponibilité, son aide et ses conseils.

Mme Mitidji H, de nous avoir fait l'honneur de présider le jury de ce travail.

Mme Amara N, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Notre chef de département Mme touaibia M.

Notre chef d'option Mme Cherif H.

Mme Ramla D pour son aimable accueil et qui nous a permis de réaliser notre travail au niveau de son service.

Dédicace

Je dédie ce travail :

A mon dieu ALLAH.

A la mémoire de mes grands-parents.

A ma mère pour tous ces sacrifices.

A mon père pour tous ces encouragements.

A mes très chers frères ; Saïd, Ahmed, Abd el-Kader, Toufik, Ayoub et Yakoub.

A ma chère binôme Fatima Zahra et sa famille.

A notre copine de ce travail Nesrine et sa famille.

A notre co-promoteur Mr Bachiri H.

A notre promoteur Mr Rouibi A.

Une spéciale dédicace à mes chères Meriem, Nacira , Faiza et Asma .

A mes chères sœurs : Naima , Houda ,Hafsa,Soumia,Alima ,

souhila,Selma,Nahla,Yousra,Nawel,Randa ,kaouthar,

Samah,Feriale,Hdile,Zola....

A tous mes amis d'étude surtout ; Hadjer et Asma.

A ma grande famille de l'UGEL.

A tous les membres de ma famille Laimeche et Dachir.

Fatima

Dédicace

Je dédié ce modeste travail à :

Mes chers parents qui m'ont éclairé le chemin de la vie par leur grand soutien et leurs encouragements, par leurs dévouements exemplaires et les énormes sacrifices qu'ils m'ont consentis durant mes études et qui ont toujours aimé me voir réussir.

Ma chère sœur Nour el houda.

Mes chers frères Abd el rahim et Mohamed el mahdi.

Ma grand-mère et mon grand-père, et toute ma famille : Laribi et Grine .

Ma binôme Fatima et sa famille .

Notre partenaire de ce travail Nesrine et sa famille.

Notre co-promoteur Mr Bachiri H.

Mes meilleurs amies : Salma , Alima, Hafsa et Meriem.

et tous mes amis.

Tous les étudiantes de notre promotion de biodiversité et physiologie végétale surtout Asma et Hadjer .

Notre promoteur Mr Rouibi A.

A toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Fatima Zahra

Résumé

Etude de la variabilité de réponses morpho-physiologiques et biochimiques des génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous stress hydrique.

L'objectif de ce travail consiste à une analyse du comportement de cinq génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) (Ain abid ,V₁ , V₂ ,V₃, V₄) soumises aux différents traitements de stress hydrique avec trois niveaux d'irrigation; témoin T1 (100% CR), stress modéré T2 (50% CR), stress sévère T3 (30% CR) , en effectuant une étude comparative de quelques mécanismes de tolérance.

Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique a entraîné une réduction de la surface foliaire, de la hauteur et de la biomasse, une diminution de la teneur relative en eau. De même, une augmentation de la chlorophylle est également enregistrée.

Au même temps, les résultats montrent une augmentation de protéines foliaires solubles, l'activité de catalase et de malondialdihyde a été enregistrée.

En conclusion, Le stress hydrique affecte des changements dans les paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques étudiés chez l'ensemble des cinq génotypes mais à des degrés différents

Mots clés : *Triticum aestivum* L., stress hydrique, ,génotype , paramètres morphologiques ,physiologiques et biochimiques.

Abstract

Study of the variability of morpho-physiological and biochemical responses of wheat genotypes (*Triticumaestivum* L.) under water stress.

The objective of this work is to analyze the behavior of five genotypes of common wheat (*Triticum aestivum* L.) (Abid Ain, V1, V2, V3, V4) subjected to different treatments of water stress with three levels of irrigation; control T1 (100% CR), moderate stress T2 (50% CR), severe stress T3 (30% CR), by carrying out a comparative study of some tolerance mechanisms.

The results show that water stress resulted in a reduction in leaf area, height and biomass, a decrease in the relative water content. Similarly, an increase in chlorophyll is also recorded.

At the same time, the results show an increase in soluble leaf protein, the activity of catalase and malondialdihyde was recorded.

In conclusion, water stress affects changes in the morphologicals physiologicals and biochemical parameters studied in all five genotypes with differents degrees

Key words: *Triticum aestivum* L., water stress, genotype, morphological, physiological and biochemical parameters.

المخلص

دراسة تباين الاستجابات المورفولوجية الفيزيولوجية والكيميائية الحيوية للأنماط الوراثية للقمح (*Triticum aestivum. L*) تحت ضغط الماء.

الهدف من هذا العمل هو تحليل سلوك خمسة أنماط وراثية من القمح الشائع (*Triticum aestivum L*). (عين عبيد ، V1 ، V2 ، V3 ، V4) تخضع لمعالجات مختلفة من الإجهاد المائي مع ثلاثة مستويات من الري؛ الشاهد T1(100% CR)، والإجهاد المعتدل T2 (50% CR) ، والإجهاد الشديد T3 (30% CR) ، من خلال إجراء دراسة مقارنة لبعض آليات التسامح.

أظهرت النتائج أن الإجهاد المائي أدى إلى انخفاض مساحة الورقة والارتفاع والكتلة الحيوية ، وانخفاض في المحتوى المائي النسبي كما تم تسجيل زيادة في الكلوروفيل.

في الوقت نفسه ، أظهرت النتائج زيادة في بروتين الأوراق القابلة للذوبان ، وتم تسجيل نشاط الكاتالاز و malondialdihyde.

في الختام ، يؤثر الإجهاد المائي على التغيرات في المعايير المورفولوجية والفيزيولوجية والكيميائية الحيوية التي تمت دراستها في جميع الأنماط الوراثية الخمسة ولكن بدرجات مختلفة

الكلمات المفتاحية: *Triticum aestivum L* ، الإجهاد المائي ، التركيب الوراثي ، العوامل المورفولوجية ، الفسيولوجية والكيميائية الحيوية

BSA : Bovin Sérum Albumine

CAT : Catalase

Chl : Chlorophylle

CIMMYT : Centre international d'amélioration du maïs et du blé

CR : Capacité de Rétention

ERO : Espèces Réactives de l'Oxygène

FAO : Food and Agriculture Organization

INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.

MDA : Malondialdéhyde

Mt : Millions de tonnes

MVF : Matière végétal fraîche

ONFAA : Observatoire National Des Filières Agricole Et Agroalimentaires

PF : Poids frais

PS : Poids sec

PT : Poids a la turgescence

ROS : Espèces Réactives d'Oxygène.

SF : Surface Foliaire

SPAD : Développements pour l'analyse du sol et des plantes.

T1 : Témoin

T2 : Stress modérée

T3 : Stress sévère

TBA : Acide thiobarbiturique

TCA : Acide trichloracétique

TRE : Teneur Relative En Eau

Figure 01 : Phylogénie schématique du blé tendre.....	03
Figure 02: Morphologie des graminées (exemple du blé)	05
Figure 03 : Coupe longitudinale du grain de blé tendre (<i>Triticum aestivum</i> L.).....	06
Figure 04 : Cycle de développement du blé	06
Figure 05 : L'institut National de la Recherche Agronomique d' Algérie	17
Figure 06 : Le dispositif expérimental en split-plot.....	18
Figure 07 : Photo de serre semi contrôlé	18
Figure 08 : L'application du stress hydrique après l'obtention de la troisième feuille.....	19
Figure 09 : Mesures de la surface foliaire	20
Figure 10 : Mesures de la hauteur de la partie aérienne des plantes.....	21
Figure 11 : Mesures de la Biomasse aérienne des plantes (INRAA/2019).....	21
Figure 12 : Mesure de la chlorophylle totale par la chlorophylle mètre SPAD 502.....	22
Figure 13 : Courbe étalon de la BSA	24
Figure 14: Variation de la biomasse des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique.....	26
Figure15 : Variation de la surface foliaire des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique.....	27
Figure 16 : Variation de la hauteur des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique.....	28
Figure 17 : Variation de la chlorophylle totale des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique.....	29
Figure 18 : Variation de la teneur relative en eau des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique.....	30
Figure 19 : Variation de la teneur en protéine des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique.....	31
Figure 20 : Variation de la teneur en malondialdéhyde des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique	32
Figure 21 : Variation de l'activité de catalase des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique.....	33

Tableau 01 : Description du matériel végétal.....	17
Tableau 02 : Préparation de la gamme étalon à partir de 1mg/ml de BSA	24
Tableau 03 : Analyse de la variance de la biomasse totale.....	Annexe 01
Tableau 04 : Analyse de la variance de la surface foliaire.....	Annexe 01
Tableau 05 : Analyse de la variance de la Hauteur	Annexe 01
Tableau 06 : Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle totale.....	Annexe 01
Tableau 07 : Analyse de la variance de la TRE.....	Annexe 01
Tableau 08 : Analyse de la variance de la teneur en protéines.....	Annexe 01
Tableau 09 : Analyse de la variance de MDA.....	Annexe 01
Tableau 10 : Analyse de la variance de l'activité de la catalase.....	Annexe 01
Tableau 11 : Les valeurs moyennes de la biomasse aérienne.....	Annexe 02
Tableau 12 : Les valeurs moyennes de la surface foliaire.....	Annexe 02
Tableau 13 : Les valeurs moyennes de la Hauteur.....	Annexe 02
Tableau 14 : Les valeurs moyennes de la chlorophylle.....	Annexe 02
Tableau 15 : Les valeurs moyennes de la teneur relative en eau.....	Annexe 02
Tableau 16 : Les valeurs moyennes de la Malondialdéhyde (MDA).....	Annexe 02
Tableau 17 : Les valeurs moyennes des protéines solubles foliaires.....	Annexe 02
Tableau 18 : Les valeurs moyennes de l'activité de catalase.....	Annexe 02

Introduction.....01

Chapitre I:Synthèse bibliographique

I. Généralité sur le blé tendre02

1. Taxonomie du blé tendre02

2. Origine et extension de blé tendre02

3. Description morphologique du blé tendre.....04

4. Le cycle de développement du blé.....06

5. Exigences de la culture du blé tendre.....07

6. Situation de la céréaliculture dans le monde et en Algérie.....09

7. L'importance et l'utilisation de blé09

II .Le stress10

1. Définition10

2. Le stress hydrique.....10

3. Les phases du stress11

4. Stratégies de la réponse des plantes au stress hydrique.....11

5. Stress oxydatif15

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. But de travail.....17

2. Matériel végétal.....17

3. Dispositif expérimental.....18

4. Mise en culture.....18

5. Application du stress hydrique.....19

6. Les paramètres mesurés.....20

6.1. Les paramètres morphologiques20

6.1.1. Surface foliaire20

6.1.2. Hauteur de la plante	20
6.1.3. Biomasse aérienne	21
6.2. Les paramètres physiologiques	22
6.2.1. Teneur relative en eau (TRE).....	22
6.2.2. Teneur en chlorophylle totale	22
6.3. Les paramètres biochimiques	23
6.3.1. Teneur en protéines soluble foliaires	23
6.3.2. Peroxydation des lipides : mesure de MDA.....	24
6.3.3. L'activité de catalase	25
7. Analyse statistique	25

Chapitre III : Résultats et discussions

I. Effet de stress hydrique sur les paramètres morphologiques	26
1. Effet de stress hydrique sur la biomasse aérienne.....	26
2. Effet de stress hydrique sur la surface foliaire	27
3. Effet de stress hydrique sur la hauteur	28
II. Effet de stress hydrique sur les paramètres physiologiques	29
1. Effet de stress hydrique sur la teneur en chlorophylle totale	29
2. Effet de stress hydrique sur la teneur relative en eau(TRE).....	30
III. Effet de stress hydrique sur les paramètres biochimiques	31
1. Effet de stress hydrique sur les protéines solubles foliaires.....	31
2. Effet de stress hydrique sur la peroxydation lipidique.....	32
3. Effet de stress hydrique sur l'activité de catalase.....	33
Conclusion	35
Références bibliographiques	

Annexe

Introduction

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Ils sont considérés comme une principale source de la nutrition humaine et animale (Slama et *al.*, 2005), selon FAO (2018) leur production arrive jusqu'à 2,586 milliards de tonnes.

En conditions pluviales, la culture des céréales pratiquée sur de grandes étendues au même titre que les autres grandes cultures est exposée annuellement soit à l'insuffisance des précipitations, soit à la mauvaise répartition de ces précipitations dans le temps le long du cycle biologique de la plante (Benlaribi et *al.*, 2017).

La sécheresse en Algérie et dans d'autres pays du Maghreb est largement reconnue comme le premier facteur limitant de la production agricole et constitue une contrainte permanente. La lutte contre ce facteur climatique doit être envisagée à travers une approche multidisciplinaire (Monneveux, 1991) qui intègre essentiellement, dans ce cas, l'irrigation d'appoint, les techniques culturales et la sélection d'un matériel végétal adapté.

Le déficit hydrique est une contrainte abiotique majeure de la production agricole. Tout d'abord par son impact négatif sur le rendement de culture et la qualité des produits, et par sa fréquence. On estime qu'environ 40% des surfaces cultivées dans le monde sont soumises à la sécheresse (Lecoeur, 2007).

Les conséquences du stress hydrique sont essentiellement une diminution de croissance ainsi qu'une réduction de l'activité photosynthétique, affectant ainsi le rendement et provoquant la mort de la plante si le stress prolonge (May et Milthorpe, 1962). Le déficit hydrique induit également un stress oxydatif avec la formation de radicaux libres. Par leur nature instable, ces formes actives d'oxygène sont très nocives pour les constituants cellulaires en particulier pour les lipides membranaires (Thompson et *al.*, 1987 Weckx et Clijsters., 1996).

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

Ce travail a été réalisé au sein de laboratoire de physiologie végétale et amélioration des plantes au niveau de l'Institut Nationale de Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA). Il a pour objectif d'identifier quelques mécanismes de tolérance de blé tendre au stress hydrique via l'utilisation des paramètres liés à la croissance ainsi que les paramètres physiologiques et biochimiques.

Notre mémoire contient trois chapitres :

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

Le chapitre II, contient la description du matériel végétal, les conditions de culture et les méthodes d'analyse utilisées dans ce travail. Le troisième (III) chapitre est consacré aux résultats et discussion et une conclusion et perspective.

*Synthèse
bibliographique*

I. Généralité sur le blé tendre

1. Taxonomie du blé tendre

Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est une espèce de plantes monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Gramineae. (Feillet, 2000). L'espèce *Triticum aestivum* L. a été décrite par Linné et publiée en 1753 dans son *Species plantarum* (Linné, 1753). puis elle est classée selon plusieurs auteurs comme ;Chadefaud et Emberger (1960), Prats (1960) et Feillet (2000).

➤ Classification botanique de blé tendre

Règne : Plantae (Règne végétale)

Division : Magnoliophyta (Angiospermes)

Classe : Liliopsida (Monocotylédons)

S/Classe : Commelinidae

Ordre : Poales

Famille : Poaceae (Graminées)

S/Famille : Triticeae

Tribu : Triticeae (Triticées)

S/Tribu : Triticinae

Genre : *Triticum*

Espèce : *Triticum aestivum* L. (Feillet, 2000)

2. Origine et extension de blé tendre

2.1. Origine génétique

Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est apparu il y'a 7000 à 9500 ans, probablement par la domestication des blés. Les botanistes classent le blé tendre dans le groupe des blés hexaploïdes ($2n=42$) (Bonjean, 2001). Le blé hexaploïde (*Triticum aestivum* L.) à génome (BBAADD) est très vraisemblablement apparu seulement après la domestication des blés diploïdes et tétraploïdes (Feldman, 2001), (Figure 01).

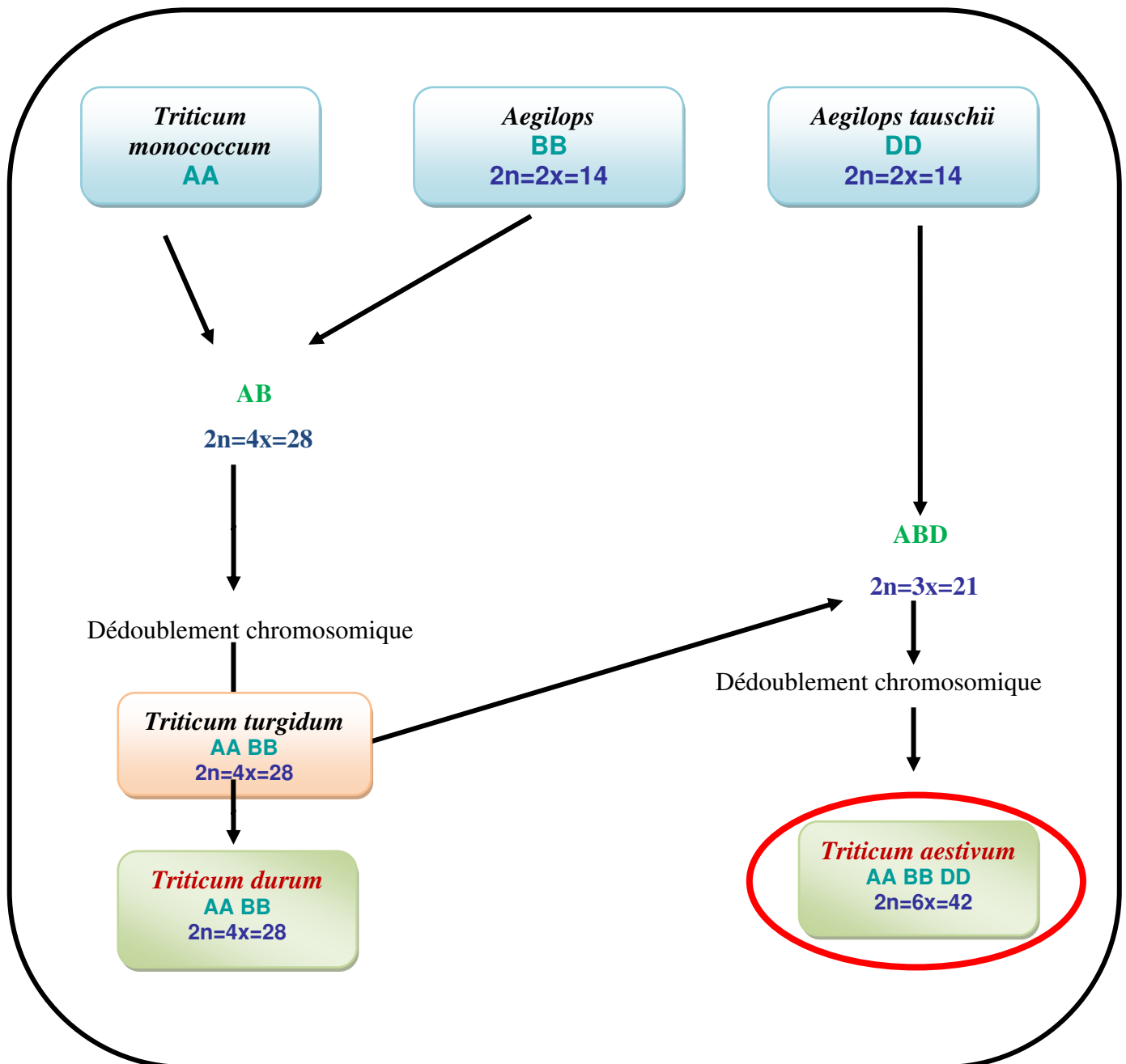


Figure 01. Phylogénie schématique du blé tendre (Chen *et al.*, 1984).

2.2. Origine géographique

L'aire d'origine des blés est le proche Orient, dans la zone dite du Croissant fertile, l'Irak, la Syrie et la Turquie (Baldy, 1986). La diffusion du blé vers l'Europe, l'Asie et l'Afrique du Nord est très ancienne, environ 5000 ans avant J.C. Mais, son introduction en Amérique - particulièrement le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est très récent. Elle est faite en 1529 par les espagnols au Mexique. Alors qu'en Australie elle est faite par les anglais seulement en 1788 à partir des pools génétiques européens (Doussinault *et al.*, 2001).

3. description morphologique du blé tendre

Le blé est une plante herbacée annuelle à croissance définie, monocotylédone, appartenant au groupe des céréales à paille (Naville, 2005). Elle est constituée d'un ensemble de brins appelés talles, Chaque talle est une entité comportant une tige feuillée, qui constitue la partie végétative, un épi qui est la partie reproductrice ainsi qu'un système racinaire (Soltner, 2005) (figure 03)

3.1. L'appareil végétatif

Il s'agit d'une graminée annuelle de hauteur moyenne dont la structure morphologique générale est la suivante :

A. Le système racinaire

Le système racinaire est de type fasciculé. En cours de développement, deux systèmes se forment (Belaid, 1996):le système racinaire séminal (primaire) et le système racinaire coronaire (secondaire).

- **Un système séminal:** fonctionnel seul de la germination au début du 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 talles. Ce système se substitue progressivement au précédent durant l'avancement du cycle biologique des céréales à paille. Il est de type fasciculé. Bien que moins puissant (Soltner, 2005).

B. Le système 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 base de la tige : le plateau de tallage.

La tige est cylindrique, creuse, et formée d'entre-nœuds, séparées par des nœuds, zones méristématiques à partir des quelles s'allongent les entre-nœuds et se différencient les feuilles. Chaque nœud est le point d'attache d'une feuille. (Belaid, 1996)

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 (Soltner ; 1990).

3.2. L'appareil reproducteur

Le blé est une plante monoïque à fleurs parfaites (Cook et al. 1991).Elle se reproduit par voie sexuée et par l'autofécondation (espèce autogame) (Soltner, 1999).Les fleurs sont groupées en inflorescences de type épi (Figure 02). Ce dernier est constitué d'un axe appelé le rachis sur lequel sont fixés les épillets (Belaid. 1996).

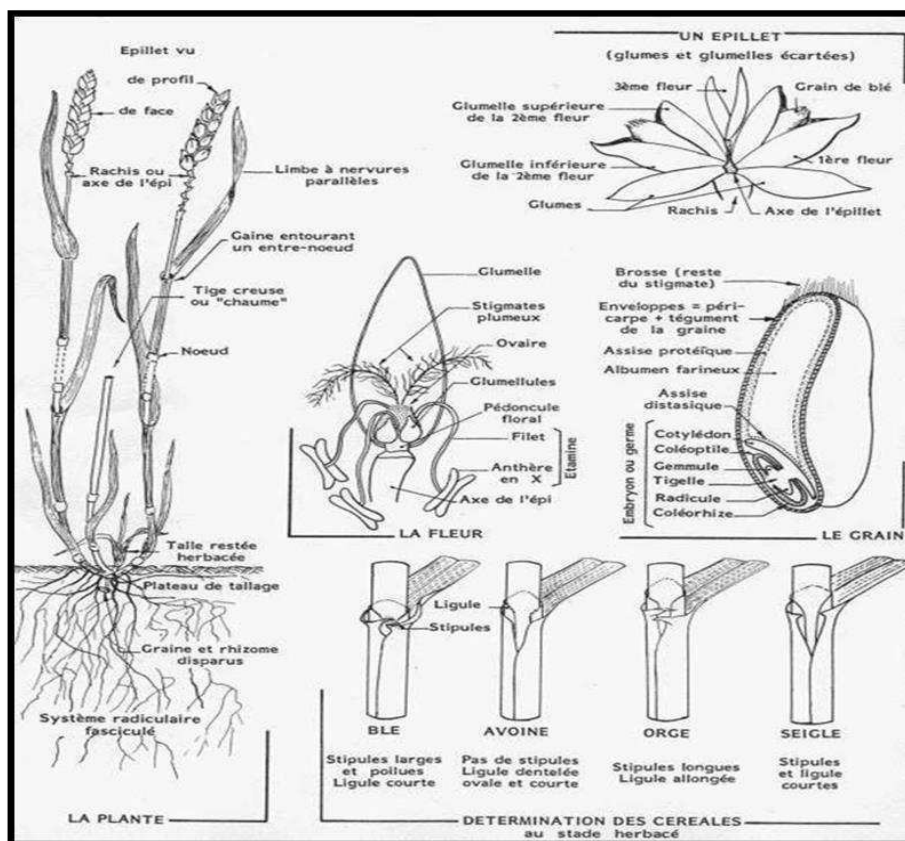


Figure 02. Morphologie des graminées (exemple du blé) (Soltner, 1998).

➤ Le grain de blé

Le grain de blé est un caryopse ce fruit sec indéhiscent est constitué d'une unique graine intimement soudée à l'enveloppe du fruit qui la contient. Sur l'épi le grain est entouré d'enveloppes : les glumes et les glumelles. Au niveau morphologique le grain de blé est ovoïde et présente sur la face ventrale un sillon qui s'étend sur toute sa longueur (Soltner, 2005), selon Feuillet(2000) ; la longueur du grain de blé est comprise entre 5 et 8 mm, sa largeur entre 2 à 4 mm, son poids entre 20 à 50 mg et sa densité entre 1,3 à 1,4.

La coupe longitudinale de grain de blé tendre révèle de l'extérieur vers l'intérieur les parties suivantes (Figure 03) :

Le péricarpe ou l'enveloppe il est constitué de l'extérieur vers l'intérieur par le péricarpe (parois de l'ovaire), le tégument, et l'assise protéique.

L'endosperme ou l'amande constitue presque tout l'intérieur du grain et se compose principalement de minuscules grains d'amidon. Le blé tendre possède une amande farineuse de couleur blanche.

Le germe ou l'embryon comprend 2 parties : la plantule (future plante) et le cotylédon (réserve de nourriture très facilement assimilable, destinée à la plantule) qui contient l'essentiel des matières grasses du grain (Clément,1981).

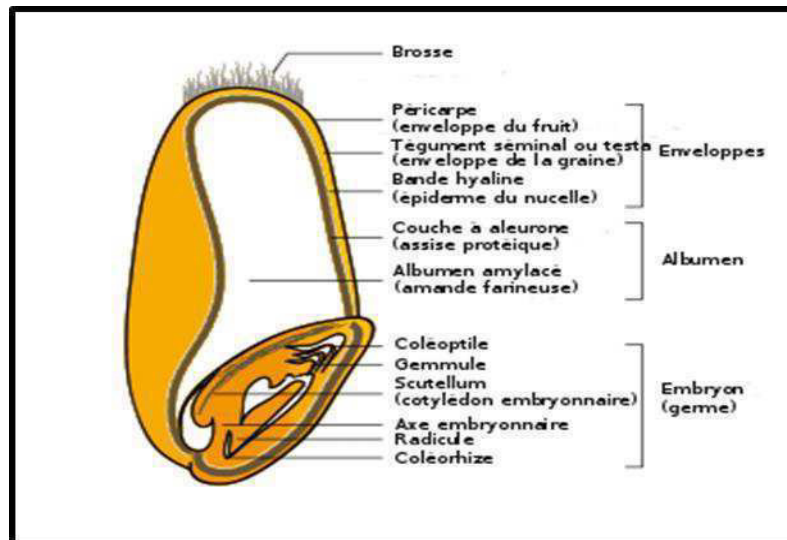


Figure 03 .Coupe longitudinale du grain de blé tendre (*Triticum aestivum* L.)(Fao.org)

4. Le cycle de développement de blé

Boyeldieu (1999) et Soltner (2005) rappelle que le cycle végétatif du blé s’accomplit en trois 3 grandes périodes :

La première période végétative (ou des feuilles) débute de la germination à la fin du tallage. La période reproductrice (ou des tiges) s’étend du redressement à la fécondation. Elle apparaît au cours du tallage et regroupe la formation de l’ébauche de l’épi, l’initiation florale (montaison-gonflement) et la méiose-fécondation. La troisième période de formation et de maturation des grains est repérée de la fécondation à la maturation complète du grain,(Figure 04).

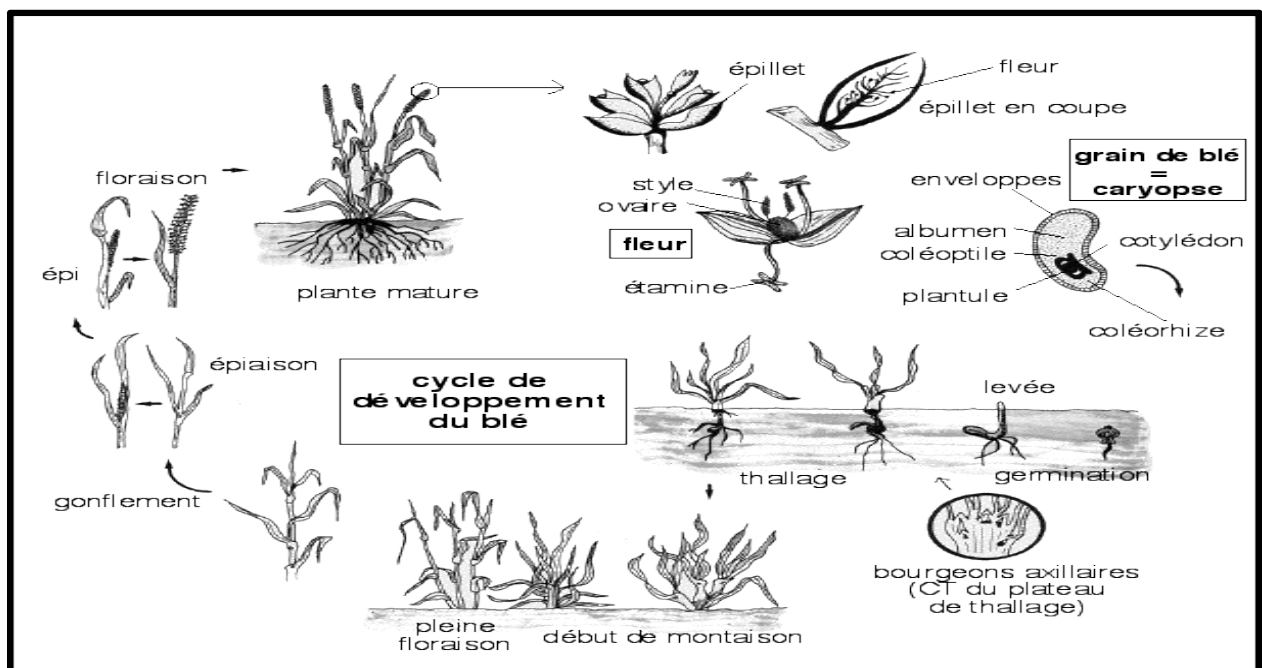


Figure 04. Cycle de développement du blé (Herney et Buyser, 2000)

5. Exigences de la culture du blé tendre

5.1. Choix de la variété

Choisir des semences de qualité représentant des variétés à haut potentiel de rendement et des variétés tolérantes aux principaux risques régionaux (échaudage climatique, maladies, verse, moucheture, mitadinage...), (ITGC, 2013).

5.2. Choix et préparation du sol

Types de sol : le blé s'adapte à des sols très différents. Eviter les sols trop hydro-morphes.

La préparation du sol : doit permettre d'obtenir un lit de semences avec peu de grosses mottes pour s'assurer d'une bonne levée et en prévision des passages de herse étrille.

5.3. Semis

➤ Date de semis

Les semis un peu plus tardifs sont conseillés afin de limiter les risques de viroses et d'enherbement. La période de semis optimale en Poitou-Charentes se situe entre le 20 octobre et le 15 novembre (Mathieu 2017).

➤ Profondeur de semis

Il est conseillé de semer sur un sol propre, bien ressuyé et à une profondeur de 2 ou 3cm.

➤ Densité de semis

La densité de semis usuelle est comprise entre 160 et 200 kg/ha, en fonction du poids des grains. Attention cependant à ne pas semer trop dense pour pouvoir être capable de bien nourrir les grains (Mathieu 2017).

5.4. Récolte

Les rendements s'échelonnent de 20 à 60 q/ha avec une moyenne régionale de 36 q/ha. concernant les taux de protéines, ceux-ci sont très disparates en fonction des secteurs, du précédent et du type de sol. La moyenne en région se situe aux alentours de 10,8 % (Mathieu, 2017).

Hanson et al. (1982) in Souilah (2005) et Soltner (2005) classent les blés selon le milieu de culture en trois groupes :

- **Les blés d'hiver :** dont le cycle de développement varie de 9 à 11 mois. S'implantent en automne et caractérisent les régions Méditerranéennes et tempérées. Ces blés subissent une vernalisation pendant des semaines à des températures de 1 à 5 °C, pour passer du stade végétatif au stade reproducteur (ne peuvent épier qu'après avoir été soumis au froid).
- **Les blés de printemps :** ont un cycle de croissance de 3 à 6 mois. Ils n'ont pas de périodes inactives et ne peuvent survivre à de très basses températures. Leur épiaison ne dépend que de l'allongement de la durée du jour.

- **Les blés alternatifs** : qui sont intermédiaires, au plan tolérance au froid, entre les blés d'hiver et ceux du printemps.

5.5. Les besoins climatiques de blé

Les cultures semées à l'automne ont besoin de températures basses pour fleurir au printemps. Pour atteindre une croissance optimale et un maximum de rendement, la température optimale du blé se situe entre 15 et 20° C (Doorenbos et *al.*, 1987; Dupont et Altenbach, 2003 ; Steduto et *al.*, 2012).

La photopériode affecte aussi la durée de chacune des périodes de développement citées. Les variétés du blé diffèrent quant à leur sensibilité à la photopériode (Hamadache, 2013).

Le rayonnement solaire et la durée du jour consolide l'effet positif de la température sur le rendement quand elle n'est pas très élevée et accentue son effet négatif dans le cas contraire (Lasram et *al.*, 2014).

5.6. Les besoins hydriques de blé

La culture du blé recommande des quantités importantes en eau pour son développement et pour sa croissance pour assurer un rendement optimal. Les besoins en eau des cultures sont en fonction des espèces et des variétés cultivées et des conditions liées aux sols et au climat.

Le blé exige une humidité permanente durant tout le cycle de développement, l'eau est demandée en quantité variable. Les besoins en eau sont estimés à environ 800 mm (Soltner, 1988).

En zone aride, les besoins sont plus importants au vu des conditions climatiques défavorables. C'est de la phase épi 1 cm à la floraison que les besoins en eau sont les plus importants. La période critique en eau se situe 20 jours avant l'épiaison jusqu'à 30 à 35 jours après la floraison (Loue, 1982).

La culture du blé requiert au cours de son cycle végétatif des besoins en eau variant de 450 mm (Baldy, 1974) à 702 mm (Ollier et Poirée, 1981).

5.7. Les besoins azotés de blé

Le blé tendre a besoin de la plus grande part de ses besoins en azote pendant la phase tallage remplissage du grain. Les besoins en azote à l'automne sont beaucoup moins importants puisque la croissance du blé est modeste. La croissance est toutefois impossible sans azote du tout. (Si bennasseur A. 2004). ce besoin était historiquement calculé à l'optimum de rendement sans intégrer le paramètre « protéines » conduisant à trois catégories pour l'ensemble des variétés : 2,8 ; 3 et 3,2 kg d'azote par quintal (Arvalis, 2019). 70% des besoins en azote du blé pendant la montaison, un apport d'engrais organique est fortement conseillé fin tallage. (Mathieu, 2017).

6. Situation de la céréaliculture dans le monde et en Algérie

1. Dans le monde

La culture des céréales représente un secteur économique important. En effet, c'est un aliment de base d'une très grande partie de la population mondiale (Fao,2007).

La production mondiale de blé tendre en 2015/2016 est de 731,8 millionsde tonnes, soit une augmentation de 5% par rapport à la campagne 2014/15.Quant à la consommation et aux échanges, ils ont augmenté respectivement en 2015/16 (soit 719,6 Mt et 152,3 Mt) (ONFAA, 2016).

L'Union Européen et le continent américain sont excédentaires en blé, ce qui leur confère un avantage économique et géopolitique indéniable. Au contraire, l'Asie et l'Afrique apparaissent déficitaires, ce qui renforce leur dépendance à l'égard des grands pays exportateurs. Le marché mondial du blé est segmenté en différents groupes de pays qui ont diverses capacités de production et de consommation de blé, ce qui rend ce marché plus propice à la volatilité des prix. Seulement 19% de la production mondiale du blé est échangée et il s'agit d'un marché de surplus et d'excédent (Charvet, 2012).

2. En Algérie

En Algérie, Le blé est la première céréale cultivée dans le pays. Elle occupe annuellement plus d'un million d'hectares. la production totale des céréales est très variable d'une année à une autre sous l'effet des facteurs du climat, en particulier le manque d'eau. La production totale des céréales est loin de couvrir la demande qui est de plus en plus importante elle est d'ordre de 6.5 MT (Badrani, 2004).

Malgré le triplement de sa production depuis l'indépendance (en 1962), l'Algérie, reste un des plus gros importateurs de céréales dans le monde (Amarn. 2014 in Ainaoui et Lafala .,2016.).

7. L'importance et l'utilisation de blé

Depuis longtemps, les céréales, notamment le blé est devenu un produit de première nécessité à l'échelle mondiale. Son importance dépasse le rôle traditionnel considéré comme aliment (Belagrouz, 2013).

De nos jours, les céréales en général, le blé (dur et tendre) en particulier constituent la principale base du régime alimentaire pour les consommateurs algériens. Il présente, un rôle social, économique et politique dans la plupart despays dans le monde (Belagrouz, 2013).Le blé utilisé depuis plusieurs années comme matière première pourla fabrication de biocarburants (Debiton, 2010).

Le blé consommé après transformation en farine utilisée dans la fabrication de pain, biscuits, biscottes et pâtisserie (feillet,2000).

II. Le stress

1. Définition

Le stress est fondamentalement un concept mécanique défini par les ingénieurs et les physiciens comme étant une force exercée par unité de surface d'un objet en réponse au stress, l'objet oppose une déformation ou un changement de dimensions (Hopkins, 2003).

On distingue deux grandes catégories de stress : Biotique qui est imposé par les autres organismes (insectes, herbivores...). et stress Abiotique, défini comme tous les facteurs environnementaux (sécheresse, la température extrême, la salinité...) induisant un dysfonctionnement de la plante ou comme force ou influence adverse qui tend à inhiber le fonctionnement normal des systèmes (Boucelha, 2015). On peut citer quelques types de stress abiotiques qui peuvent affecter les végétaux : stress hydrique, stress salin, stress thermique ...

2. Le stress hydrique

Le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire (Laberche, 2004). La demande en eau de la plante est quant à elle déterminée par le niveau de transpiration ou évapo-transpiration, ce qui inclut les pertes d'eau tant au niveau des feuilles qu'au niveau du sol (Laberche, 2004). L'adaptation est un mécanisme nécessaire pour les variétés à adopter dans les régions arides et semi-arides, pour tolérer la sécheresse (Slama et al., 2005). Le stress hydrique provoqué par un déficit en eau constituant un menaç permanent pour la survie des plantes, néanmoins, beaucoup d'entre elles produisent des modifications morphologiques et physiologiques qui leur permettent de survivre dans les régions de faible pluviosité et dont la teneur en eau des sols est peu élevée (Hopkins, 2003).

L'origine du déficit de disponibilité en eau pour la plante peut être dû à la salinité excessive du sol, d'une sécheresse ou du gel qui par cristallisation des molécules d'eau diminue sa disponibilité ce qui réduit significativement les productions agricoles (Chameil, 2006).

D'un point de vue physique, le stress hydrique résulte d'un abaissement du potentiel hydrique dans l'air et/ou dans le sol en dessous d'une certaine valeur, dépendant du génotype, du phénotype et des caractéristiques du milieu (type de sol, température, vent, etc.). Dans le cas d'une forte salinité du sol, et aussi dans d'autres conditions telles qu'une inondation, le gel ou de fortes températures du sol, l'eau existe dans la solution du sol mais les plantes ne sont pas capables de l'absorber, on parle de sécheresse physiologique (Djebbar, 2012).

Le manque d'eau représente le stress abiotique le plus sévère, auquel la culture du blé fait face dans les zones arides et semi-arides (Chennafi et al., 2006).

3. Les phases du stress

Une plante soumise à un stress passe par plusieurs étapes selon sa réaction en relation avec l'intensification progressive ou la durée du stress (Larcher, 2003).

3.1. Phase d'alarme

Elle commence lorsqu'une contrainte survient au niveau cellulaire. Elle débute par la déstabilisation d'un certain nombre de structures, en particulier, les membranes et d'un certain nombre de fonctions (processus biochimiques et métabolismes énergétiques) indispensables pour la poursuite normale des activités vitales de la plante. Le catabolisme l'emporte sur l'anabolisme ; c'est la réaction fondamentale de stress. Puis il y a une apparition rapide des processus de réparation et de restauration de l'état initial par la synthèse de molécules de protection ; c'est la réaction de restitution ou de récupération. Si le facteur de stress disparaît, il y a retour à l'état initial.

3.2. Phase de résistance

Si le facteur de stress continue, ou bien s'intensifie, la plante accentue ses processus de protection avec apparition de certains nouveaux caractères. L'exposition graduelle au stress induit des modifications physiologiques et fait que la plante augmente sa résistance, survit, et se reproduit au cours de la période de stress (endurcissement). L'endurcissement est une acclimatation au stress et correspond à une étape de résistance maximale. Si l'intensité du stress reste stable, un haut degré de résistance est développé par la plante, alors s'ensuit un retour à une situation d'activité normale (ajustement), plus ou moins proche de celle de départ.

3.3. Phase d'épuisement

Lorsque l'état du stress dure très longtemps, ou si l'intensité des facteurs du stress augmente, cette phase peut se mettre en place avec apparition de dommages irréversibles dus au facteur lui même, menant ainsi à l'effondrement des fonctions de la plante. La réponse au stress est donc une interaction entre l'effort de s'adapter et les processus potentiellement létaux dans le protoplasme. La contrainte, l'adaptation et la résistance sont des parties interconnectées de l'événement entier (Larcher, 2003).

4. Stratégies de la réponse des plantes au stress hydrique

La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (Madhava Rao et al., 2006).

La tolérance globale d'une plante vis-à-vis du déficit hydrique est la résultante de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques. Ces dernières interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la production, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives

qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu (Esquive, Evitement et tolérance),(Passioura, 2004).

4.1. La stratégie d'esquive

Cette stratégie consiste à éviter de subir le déficit hydrique en effectuant le cycle de développement pendant des périodes pluvieuses. On réduit alors le risque de perte de rendement, en échange d'une réduction du rendement maximum atteignable (Jean-pierre et *al.*,2006).Le décalage du cycle cultural depuis des périodes à forte demande climatique vers des périodes à plus faible risque est la stratégie des cultures d'hiver, qui réalisent leur cycle sur une période à faible risque de déficithydrique et compensent une croissance à une saison où le rayonnement incident est réduit par une durée plus longue du cycle (Folkert et *al.*,2001).

4.2. La stratégie d'évitement

Cette stratégie consiste à empêcher que la plante soumise à des conditions hydriques défavorables ne subisse un stress hydrique trop important. Ces adaptations réduisent le risque de perte de rendement, mais ont le plus souvent un coût en terme de rendement maximum (Jean-pierre et *al.*, 2006).Les mécanismes d'évitement sont de type morphologique et physiologique.

4.2.1. Mécanismes morphologiques

a) Réduction de la conduction stomatique

La réduction de la perte en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress hydrique. Si la fermeture des stomates permet à la plante de réduire la sortie d'eau, elle limite aussi l'entrée de CO₂ (Benhamou, 2009). Cette diminution de la transpiration peut engendrer une réduction de la photosynthèse (Hopkinsw, 2003). 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 (Maury et *al.*, 2011) .

b) Réduction de la croissance foliaire

Une réduction de la croissance foliaire est bénéfique aux plantes soumises à un stress hydrique, la surface des feuilles est diminuée et la transpiration réduite par l'enroulement des feuilles. Habituellement, l'effet exercé par un potentiel hydrique faible est attribué à une perte de turgescencedes cellules des zones en croissance (Nabors. 2008). Du fait que le grandissement cellulaire intervenait suite à une entrée d'eau qui, après la relaxation de la paroi cellulaire, provoquait la pleine turgescence des cellules, donc un apport réduit de l'eau se traduit par la réduction de la croissance (Hopkinsw, 2003).Chez le blé, l'enroulement des feuilles chez certaines variétés peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitementde la déshydratation, il entraine une diminution de 40 à 60 % de la transpiration (Amokrane et *al.*,2002).

c) Développement racinaire

L'efficacité de l'extraction de l'eau du sol par les racines figure parmi les types d'adaptation permettant à la plante d'éviter ou, plus exactement, de retarder la déshydratation de ses tissus (Turner *et al.*, 2001 in Ainaoui et Lafala, 2016). L'augmentation de l'absorption peut être due à l'extension de l'absorption en profondeur et en surface, à la vitesse de croissance et de ramification des racines (Laurent et Sané, 2007). L'absorption d'eau est maximisée par un ajustement autrement dit, un investissement L'absorption élevé au niveau des racines (Jackson *et al.*, 2000 in Ainaoui et Lafala, 2016).

4.2.2. Mécanismes physiologiques

Au niveau cellulaire, la réduction du module d'élasticité permet aux cellules de conserver un potentiel élevé malgré un dessèchement important (Tardieu *et al.*, 2006). L'ajustement osmotique par accumulation de soluté dans la vacuole et la réduction de la taille des cellules permettent, pour une même teneur en eau, une diminution du potentiel foliaire et donc un maintien d'un gradient de potentiel hydrique important du sol vers la feuille (Laurent et Sané, 2007). Ce mécanisme tient à la fois de l'évitement et de la tolérance (Jean-pierre *et al.*, 2006).

➤ L'état hydrique de la plante

La caractérisation du statut hydrique d'une plante pourrait passer par la seule évaluation de la teneur relative en eau (TRE). Clarke et Mc Craig, (1982) attirent l'attention sur l'utilisation de la TRE comme indicateur de l'état hydrique de la plante sous stress. Scofield *et al.*, (1988) notent que la teneur en eau diminue lorsque le stress augmente, mais elle diminue plus vite chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes. La teneur en eau en plus de sa relation avec le volume cellulaire reflète plus précisément la balance entre l'eau disponible dans la feuille et le taux de transpiration, le potentiel osmotique et de turgescence. (Ainaoui et Lafala, 2016) montrent que cette caractéristique présente un coefficient d'héritabilité élevé et qu'elle se fixe rapidement chez les lignées en ségrégation d'un croisement donné. Ainsi, les variétés tolérantes au stress hydrique, sont celles qui sont capables de perdre le moins d'eau par unité de temps et unité de surface, sous stress.

4.3. La stratégie de tolérance

Cette stratégie consiste à maintenir les fonctions de la plante, croissance, transpiration et la photosynthèse, malgré le déficit hydrique (Jean-pierre *et al.*, 2006). La tolérance à la déshydratation implique des mécanismes intracellulaires qui visent à préserver l'intégrité structurale et fonctionnelle des tissus lorsque le potentiel hydrique diminue (Laurent et Sané, 2007). L'ajustement osmotique est un exemple d'une telle adaptation, il permet le maintien d'une turgescence positive pour des teneurs en eau relativement faible (Hopkins, 2003). L'ajustement osmotique, il consiste en la synthèse des molécules solubles, ce qui se traduit par une plus grande capacité d'attraction et de rétention des molécules d'eau. Ces molécules, appelées osmoticum, s'accumulent le plus souvent dans le cytoplasme (Nabors, 2008). Cette forte accumulation de solutés ioniques ou organiques dans les cellules provoque une diminution du potentiel osmotique. Les principales substances accumulées en

réponse aux stress osmotiques peuvent être des acides aminés (proline, alanine), des sucres (saccharose, tréhalose), des solutés organiques quaternaires (bétaines, proline-bétaine), des ions inorganiques (K⁺) ou encore des acides organiques (malate, glutamate, citrate), des hormones (acide abscissique) (Hopkinsw. 2003). La nature des osmolytes impliqués dans l'ajustement osmotique est généralement spécifique de l'espèce étudiée. Les solutés organiques ne perturbent généralement pas ou peu le métabolisme des cellules et sont qualifiés à ce titre d'osmoticum compatibles (Radhouane, 2011).

➤ Synthèse des protéines

Les protéines de stress jouent un rôle dans l'adaptation de la plante et de ce fait de nombreux chercheurs abordent la résistance au stress par l'isolement et l'étude de ces molécules (Campalans et al., 1999). Schulze et al., (2005) ont écrit qu'une partie des protéines induites ont une fonction directe dans l'augmentation de la tolérance au stress (protéines fonctionnelles), d'autres ont une fonction dans la chaîne de transduction (protéines régulatrices) qui aboutiront à la production de protéines fonctionnelles. La plupart des protéines à fonction directe sont des aquaporines et des enzymes catalysant la biosynthèse d'osmolytes (carbohydrates et acides aminés).

➤ L'Accumulation des sucres solubles

Les sucres sont considérés par plusieurs auteurs comme des bons osmorégulateurs qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (Slama, 2002). Les sucres sont qualifiés d'osmolytes compatibles. Les osmolytes compatibles s'accumulent principalement dans le cytosol. Un osmolyte compatible est une molécule qui reste exclue de la surface d'une protéine et de sa sphère d'hydratation proche, qui tend à stabiliser sa structure spatiale, elles protègent les membranes contre la déshydratation. Généralement on pense que l'accumulation des sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse des réserves en particulier l'amidon mais aussi une modification du métabolisme carboné (Lepoivre, 2003 in Ainaoui et Lafala, 2016). Beaucoup d'auteurs ont mis en évidence le rôle protecteur des sucres sur les membranes, en particulier mitochondriales. Leur présence permettrait le maintien des réactions de phosphorylation et de production d'énergie. Outre ce rôle protecteur des membranes, les hydrates de carbone protègent les processus par lesquels les enzymes sont synthétisés ce qui impliquerait une meilleure tolérance de la plante à la dessiccation et une meilleure résistance à la sécheresse. Concernant les sucres solubles, Folkert et al., (2001) remarquent que les variations de teneur chez le blé sont beaucoup plus faibles que dans le cas de la proline.

➤ La teneur en chlorophylle

Sous un stress hydrique, une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé (Bousba et al., 2009). Pour limiter les pertes en eau par évaporation et aussi l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse, l'économie de l'eau se traduit par une turgescence relative moins affectée par le stress conduisant à une dilution de la chlorophylle (Mouellef, 2010). Le rapport chlorophylle (a/b) est un bon indicateur du seuil de tolérance au stress hydrique (Guettouche, 1990 in Mouellef,

2010). Tahri et *al.*, (1997) montrent que l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress est suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b). Les résultats de Tahri et *al.*(1997) révèlent une certaine proportionnalité, mais inverse, entre les teneurs en proline accumulées et les teneurs en pigments chlorophylliens perdues. Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa (Tahri et *al.*, 1997 in Mouellef, 2010)

5. Le stress oxydatif

Une conséquence des stress environnementaux, comprenant le stress hydrique, est l'apparition d'un stress oxydatif, c'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), qui endommagent les structures cellulaires (Appel et Hirt, 2004). Le stress oxydant est classiquement défini comme l'altération de la balance oxydants/antioxydants en faveur des oxydants (Roberts et al, 2004). En d'autres termes, le stress oxydant se caractérise par un déséquilibre entre la production des radicaux libres et les capacités anti-oxydantes de l'organisme.

Dans des conditions optimales, les feuilles sont dotées d'enzymes et de métabolites antioxydants suffisants pour faire face aux ROS. De nombreux travaux montrent que des enzymes telles que des superoxyde dismutases (SOD), des ascorbate peroxydases (APX), des catalases (CAT), des glutathion-Stransférases (GST) et des glutathion peroxydases (GPX) s'accumulent pendant le stress hydrique (Flexaset *al.*,2006). La capacité du système antioxydant est déterminante pour maintenir l'intégrité du système photosynthétique lors d'une contrainte hydrique.

5.1. Conséquences du stress oxydatif

➤ La production des ERO (Espèces Réactives de l'Oxygène, *en anglais* ROS, Reactive Oxygen Species)

Les Espèces Réactives de l'Oxygène sont produites en faible quantité au cours du métabolisme normal de tout organisme aérobie par le système de transport d'électrons tels les chloroplastes (photosynthèse) et les mitochondries (respiration) ou lors de processus enzymatiques (Asada, 1994).

Ils sont utiles à l'organisme à doses modérées, mais toxiques à haute dose. L'organisme va alors se protéger par divers systèmes antioxydants enzymatiques (SOD, catalase, peroxydase, glutathion transférase) ou non enzymatiques en produisant de l'acide ascorbique et/ou du glutathion (Foyer, 1996).

➤ La peroxydation des lipides

Les conséquences de la peroxydation des lipides membranaires (les deux voies de peroxydation enzymatique ou non) sont très nombreuses. Les hydroperoxydes instables sont susceptibles de se décomposer en produits secondaires c'est-à-dire en aldéhydes très réactifs pouvant être considérés comme des messagers secondaires toxiques qui augmentent les dommages initiaux dus aux radicaux libres. La plus réactif vis à vis des bases de l'ADN

représenté par le malondialdéhyde (MDA) (Marnett,1999 ; Favier, 2003). Durant ce processus de peroxydation, d'autres produits sont formés comme les hydrocarbures tels que le pentane, l'éthylène et l'éthane (Gutteridge et Halliwell,1990).

A ce jour, le marqueur le plus utilisé pour déterminer un stress oxydant reste le malondialdéhyde (MDA). Toutefois, Les MDA ont également des limitations car tous les produits de la peroxydation lipidique ne génèrent pas des MDA et ceux-ci pourraient être produits par différentes réactions (Grotto *et al.*, 2009). En effet, selon Janero (1990), le MDA peut être formé à partir de composés non lipidiques tels que l'acide ascorbique, les acides aminés, le désoxyribose ou le saccharose lorsqu'ils sont exposés à l'action des radicaux hydroxyles, en présence de métaux par exemple.

➤ Catalase

Les catalases (CAT, EC 1.11.1.6) se retrouvent majoritairement dans les peroxysomes et en plus faible quantité dans le cytosol. Elles catalysent la décomposition du peroxyde d'hydrogène en oxygène et en eau, protégeant ainsi les cellules des effets oxydants causés par une augmentation de H₂O₂ (Sanchezcasas et Klessig, 1994 ; Arora *et al.*, 2002 ; Joseph et Jini,2011).

Une molécule de CAT peut convertir près d'un million de molécules de H₂O₂ par seconde, cette enzyme est donc active dans les situations où l'on retrouve de fortes concentrations de H₂O₂ (Dietz *et al.*, 2006).

L'accumulation des espèces réactif d'oxygène (ERO) , en réponse à des stress biotiques et abiotiques chez des plantes transgéniques démunies de catalase, a montré l'importance de ces enzymes dans la résistance des plantes au stress oxydatif (Willekens *et al.*, 1997). Toutefois, la réponse des diverses isozymes s'avère être variable selon le type de stress (Willekens *et al.*,1994). Ces auteurs ont également estimé que la réduction de l'activité photosynthétique à plus de 50 % dans les feuilles adultes en condition de stress est en relation avec la faible activité de la catalase.

Matériel et méthodes

1. But de travail

La présente étude a pour but d'étudier la variabilité de réponse de 5 génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) soumis aux stress hydrique via l'utilisation des paramètres liés à la croissance ainsi que les paramètres physiologiques et biochimiques.

2. Matériel végétal

Le travail est réalisé sur cinq génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) inscrit dans un projet national piloté par l'institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) de Mehdi Boualem (Baraki, Alger),(Figure 05)

Un des génotypes est une variété locale homologuée (Ain Abid) et les autres génotypes sont des lignées avancées en génération d'origine Mexique (CIMMYT) ;(tableau01).



Figure 05. L'institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA). (INRAA/2019)

Tableau 01.Description du matériel végétal

Génotypes	Nom et pédigrée	Origines
Ain Abid	AIN ABID	Algérie
V1	KENYA SUNBIRD/2*KACHU	Mexique
V2	NELOKI/8/NG8201/KAUZ/4/SHA7//PRL /VEE#6/3/FASAN/5/MILAN/KAUZ /6/ACHYUTA/7/PBW343*2/KUKUNA	
V3	HUHWA1/3/2*PRL/2*PASTOR//SUNSTATE	
V4	WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2* WBLL1/4/HUW234+LR34/PRINIA// PBW343*2/KUKUNA/3/ROLF07	

3. Dispositif expérimental

Le matériel végétal a été réparti dans un dispositif expérimental en split-plot (figure 06) avec deux facteurs (traitement hydrique et génotype) : le traitement hydrique avec trois niveaux d'irrigation; témoin T1 (100% CR), stress modéré T2 (50% CR), stress sévère T3 (30% CR) et les génotypes. Avec 3 répétitions de chaque combinaison factorielle.

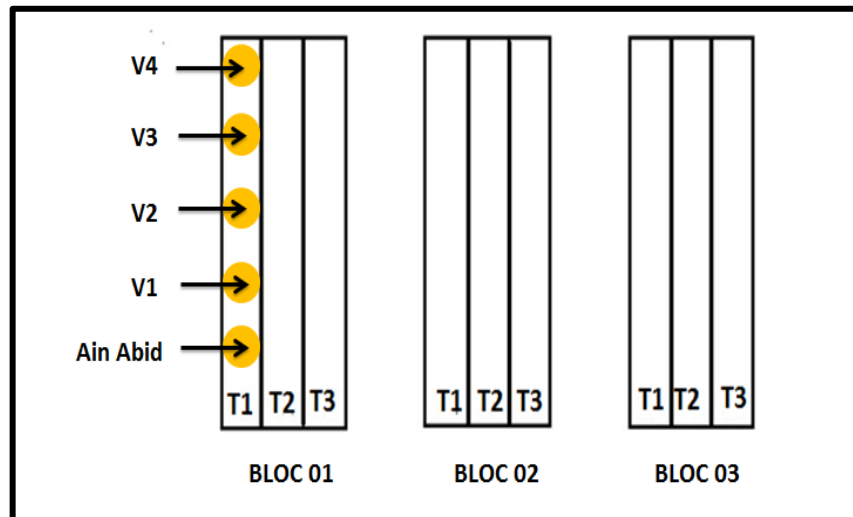


Figure 06. Le dispositif expérimental en split-plot

4. Mise en culture

Les graines sont plantées dans des pots de 18 cm de haut et de 20 cm de largeur chaque pot a été perforé à la base et remplis par 4 Kg de mélange de substrat (1/3 de sable, 1/3 de sol de station et 1/3 de terreau) ils sont placés dans une serre au niveau de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Alger de température 25/15°C (jour, nuit) et d'humidité relative 60-80% et luminosité naturel (figure 07).

Nous avons semé 3 graines par génotype dans chaque pot (pour calculer la moyenne de chaque paramètre), ils sont irrigués régulièrement 3 fois par semaine.



Figure 07. Photo de serre semi contrôlé (INRAA/2019)

5. L'application du stress hydrique

Le semis a été réalisé le 28/01/2019, et après l'obtention de la troisième feuille (après 20 jours de semis), nous avons appliqué le stress hydrique aux plantes par deux niveaux T2, T3 et T1 est considéré comme un témoin (figure 08).



Figure 08. L'application du stress hydrique après l'obtention de la troisième feuille. (INRAA/2019)

➤ Détermination de la capacité de rétention(CR)

L'arrosage des plantes est réalisé en tenant compte de la capacité de rétention(CR) calculé de la manière suivante (le protocole pratiqué par INRAA):

Nous avons déposé 4Kg(P1) de sol dans un pot en plastique perforé à la base, ensuite l'eau est versé dans le pot jusqu'à saturation, 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=4,86Kg)

La différence entre P1 et P2 est la quantité d'eau retenue par le sol et déterminé par l'équation suivante :

$$CR=P2-P1$$

- T1 plante témoin
- T2 stress modéré à 50% CR
- T3 stress sévère à 30% CR

➤ Prélèvements des échantillons

Après 20 jours de stress, nous avons procédé aux prélèvements des feuilles pour utiliser comme des échantillons.

6. Les paramètres mesurés

Afin d'estimer l'effet de trois niveaux de stress hydrique sur la croissance végétale des plants de blé plusieurs paramètres ont été pris en considération :

6.1. Les paramètres morphologiques

6.1.1. Surface foliaire (SF « cm²»)

Les mesures ont porté sur la surface de la quatrième feuille des plantes témoins et stressés qui a été mesurée après 20 jours de stress.

La longueur(L) et le plus grand largeur(l) de la feuille sont mesurés soigneusement à l'aide d'un papier millimétré, (figure09).

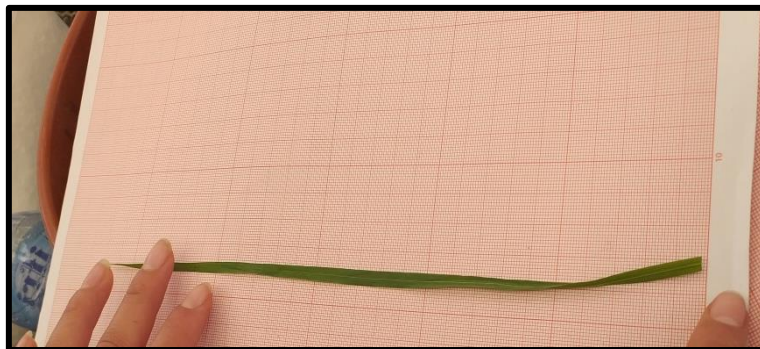


Figure 09. Mesures de la surface foliaire (INRAA/2019)

La surface moyenne a été estimée selon (Spagnonletti–Zeuli et Qualset,1990) par la formule suivante :

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

Ou :

L = longueur moyenne de la feuille (cm)

l = largeur moyenne de la feuille (cm)

0.607 = coefficient de régression

6.1.2. Hauteur de la plante

Les mesures de la hauteur de la partie aérienne s'effectuent du collet jusqu'à dernier nœud à l'aide d'une règle graduée (Le protocole pratiqué par INRAA), (figure 10).

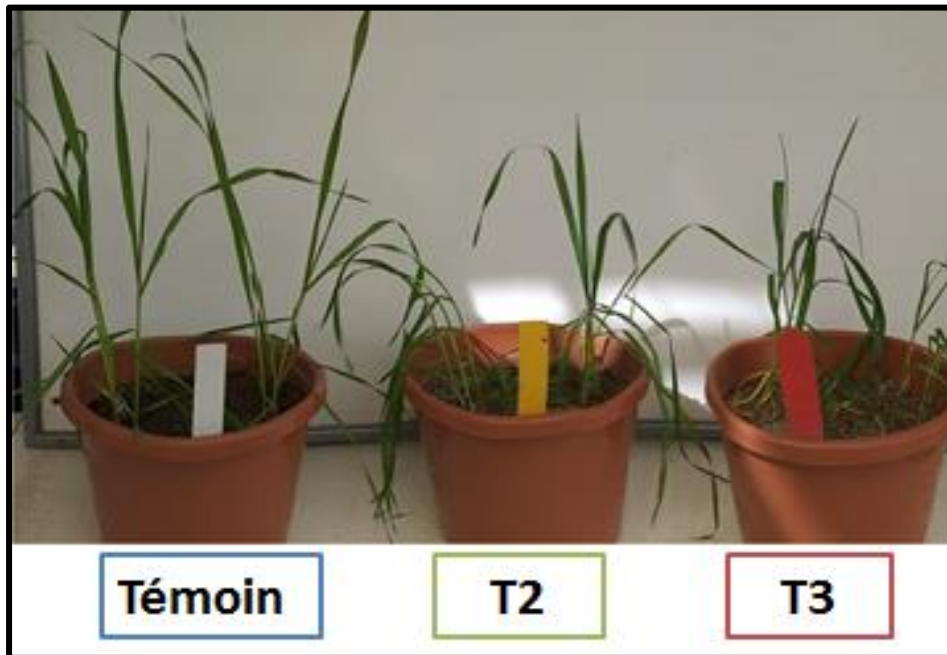


Figure 10. Mesures de la hauteur de la partie aérienne des plantes (INRAA/2019)

6.1.3. Biomasse aérienne

Le poids de la matière sèche de la partie aérienne de la plante est déterminé après passage du matériel végétal frais à l'étuve à 80°C pendant 24h.

Le poids des échantillons secs est déterminé à l'aide d'une balance électronique de précision.

(Le protocole pratiqué par INRAA), (Figure 11).



Figure 11. Mesures de la Biomasse aérienne des plantes (INRAA/2019)

6.2. Les paramètres physiologiques

6.2.1. Teneur relative en eau(TRE «%») ; (Relative Water Content=RWC).

La mesure de la teneur relative en eau permet de connaître le niveau de saturation en eau ou de turgescence de la plante.

La TRE de la feuille a été déterminée par la méthode décrite par Barrs, (1968). Selon cette méthode, les feuilles sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (PF). Ces feuilles sont mises par la suite dans des tubes à essai remplis d'eau distillée, 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 à la turgescence (PT). Les échantillons sont enfin mis à l'étuve régler à 80°C pendant 24h et pesés pour avoir leur poids sec (PS) ;(Annexe 03) La TRE est calculée selon la formule suivante (la formule de Clark et Mac-Caig1982) :

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

6.2.2. Teneur en chlorophylle totale

L'indice de chlorophylle a été déterminé sur les feuilles avec la chlorophylle mètre SPAD502. Les lectures sont données en unités appelées SPAD (soil plant analysis developement).

L'appareil SPAD a l'aspect d'une pince que l'on garde dans la main. Généralement les valeurs perçues varient 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 parties différents (sommet, milieu, et base).

La moyenne des trois 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, (Le protocole pratiqué par INRAA), (figure12).



Figure 12. Mesure de la chlorophylle totale par la chlorophylle mètre SPAD 502 (INRAA/2019)

6.3. Les paramètres biochimiques

6.3.1. Tenure en protéines solubles foliaires

La teneur en protéines de chaque échantillon a été déterminée par spectrophotomètre selon la méthode de Bradford (1976) :

- **Préparation des extraits protéiques**

Une quantité de 100 mg de feuille fraîche a été broyée avec 1,5 ml de tampon Tris-HCl 0,1M (pH 8,1) contenant 10% de saccharose et 0,05% de β -mercaptoéthanol à l'aide d'un broyeur à billes (Annexe 03) et pour éviter la dégradation des protéines toutes les opérations sont réalisées à 4°C.

Après centrifugation à 15 000 tr / min pendant 5 minutes à 4°C, le surnageant a été utilisé pour estimer la teneur en protéines solubles

- **Préparation du réactif de Bradford**

Le réactif Bradford (1976) est composé de :

- 100mg de Bleu de Coomassie G250.
- 50 ml d'éthanol à 95%.
- 100ml d'acide phosphorique à 85%.

On ajuste à 1000 ml avec l'eau distillée (Annexe 03).

- **Dosage des protéines solubles foliaires**

Dans un tube à essai on verse 100ul de l'extrait protéique avec 3ml de réactif de Bradford la concentration en protéines a été déterminée en mesurant l'absorbance à 595nm (Annexe 03) et en utilisant du sérum albumine bovine (BSA) comme protéine standard.

- **Etablissement de la gamme étalonnage**

La quantité des protéines de l'échantillon est déterminée par référence à une courbe d'étalonnage établie avec sérum albumine bovine.

A partir d'une solution mère de BSA 1mg/ml ; on prépare une gamme étalon de 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 et 1mg/ml (tableau 02).

Tableau 02 : Préparation de la gamme étalon à partir de 1mg/ml de BSA

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

Après on lit les densités optiques à 595nm afin d'établir le courbe étalon présentée dans la (figure 13).

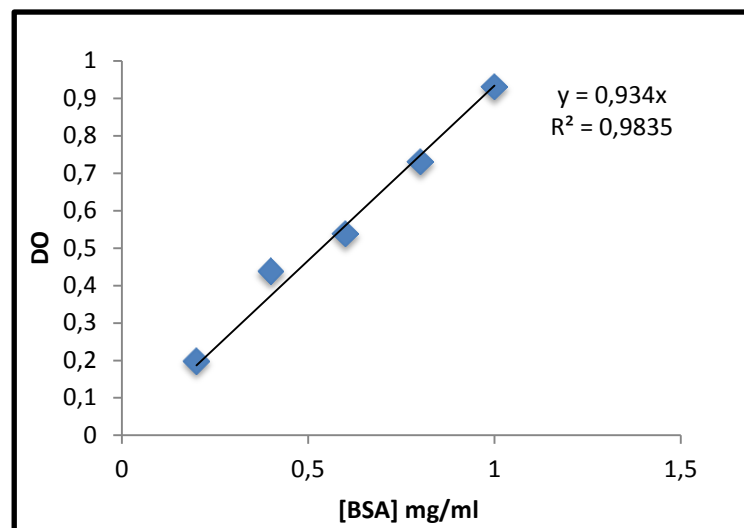


Figure 13. Courbe étalon de la BSA

6.3.2. Peroxydation lipidique : mesure de malondialdéhyde (MDA)

Le MDA est l'un des produits final de la peroxydation lipidique et l'analyse quantitative du MDA est déterminée par le dosage spectrophotométrique suivant les indications de Alia *et al.* (1995)

- **Extraction de MDA**

100 mg de matière végétal fraîche a été broyée dans 1ml d'acide trichloracétique (TCA) à 1% suivie par une centrifugation à 1200 tours/min pendant 15 minutes à 4°C.

- **Dosage de MDA**

Dans un tube Eppendorf de 2 ml on ajoute 0,5 ml du surnageant avec 1 ml d'acide thiobarbiturique à 0,5% (TBA) dans du TCA à 20%.

Le mélange réactionnel a été chauffé dans un bain-marie à 95 ° C pendant 30 minutes puis refroidi à température ambiante.

Après refroidissement la lecture de la DO est effectuée à 532 et 600 nm. La lecture de la DO à 600 nm sert à déduire l'absorption due à d'autres substances autres que le complexe MDA-TBA(Annexe 03).

- **Calcul de MDA**

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

D'après la loi de Beer- Lambert : $DO = \epsilon \cdot C \cdot e$

e = distance parcourue par la lumière = épaisseur de la solution = 1 cm .

C = concentration du MDA en mmol.L^{-1} .

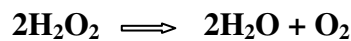
D'où $C = DO/\epsilon \cdot e$

DO dû à l'absorption par le MDA = $DO_{532} - DO_{600}$.

6.3.3. Activité de catalase (CAT)

L'activité de la CAT est déterminée en suivant la décomposition de H_2O_2 à 240 nm (Dorey et *al.*, 1998).

La réaction catalysée est la suivante :



- **Dosage de catalase**

Le milieu réactionnel est constitué du 1,5ml de tampon phosphate de potassium ($\text{KH}_2\text{PO}_4/\text{K}_2\text{HPO}_4$) à 50 mM pH 7 et 50ul de l'extrait protéique; la réaction est initiée par l'ajout de 12ul de H_2O_2 à 6%. (Annexe 03).

L'activité de CAT a été mesurée en surveillant la disparition de H_2O_2 à 240 nm pendant 1 minute et calculée par la formule suivante :

$$\text{Activité (umole de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ prot)} = \Delta\text{DO} \cdot \text{min}^{-1} \times 1000 / (36 \times \text{mg protéines})$$

D'où ($\epsilon_{240} = 36 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$).

7. Analyse statistique

L'ensemble des résultats obtenus sur les différents paramètres étudiés sont traités statistiquement à l'aide de logiciels informatiques le GenStat version 12. Ce dernier a pour objectif d'une analyse de la variance (ANOVA) à deux critères de classification .

Résultats et discussion

I. Effet de stress hydrique sur les paramètres morphologiques

1. Effet de stress hydrique sur la biomasse aérienne

- A 100% CR : les valeurs obtenues s'étalent entre 1.27g et 0.51g la biomasse la plus élevée est observé chez V₃ (1.27g) et la valeur la plus basse enregistrée chez Ain Abid (0.51g).
- A 50% CR : les valeurs s'étalent entre 0.73g et 0.48 g la valeur maximale a été observé chez V₄ (0.73g) et la valeur minimal chez Ain Abid (0.48g) avec une diminution de la biomasse chez tous les génotypes par rapport au témoin .
- A 30% CR : nous avons remarqué une diminution de la biomasse chez tous les génotypes par rapport au témoin avec une valeur maximale chez V₄ (0,63 g) et une valeur minimale chez Ain Abid (0,28 g). (figure .14).

L'analyse de la variance (annexe 01) montre que l'effet de l'interaction entre les deux facteurs (variété * régime hydrique) n'est pas significatif ($P > 0,05$) par contre la différence entre les variétés est hautement significative ($P < 0,001$) et celle entre régime hydrique est non significative ($P > 0,05$).

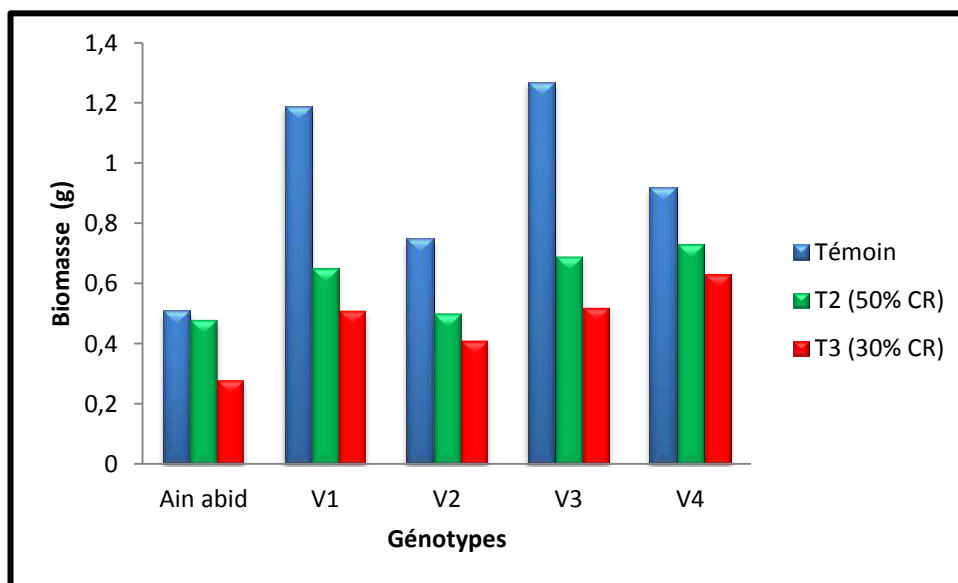


Figure 14. Variation de la biomasse aérienne des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique.

Ces résultats de la biomasse, montrent généralement que le stress hydrique a un effet négatif sur la biomasse totale des plantes de blé dur. Ils sont en accord avec ceux obtenus par plusieurs chercheurs. En effet, (Moayed 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).

2. Effet de stress hydrique sur la surface foliaire

- A 100% CR : la variété V₃ présente la surface la plus grande (18cm²) contrairement aux V₂(14.91cm²), Ain Abid, V₁ et V₄ dont les surfaces foliaires sont très proche de l'ordre de 17cm².
- A 50% CR : les valeurs obtenues s'étalent entre 8.78 cm² et 13.79 cm² avec une valeur maximale chez V₂ et une valeur minimale chez Ain Abid avec une diminution chez toutes les variétés par rapport au témoin.
- A 30% CR : nous avons observé une diminution chez tous les génotypes par rapport au témoin avec une valeur maximale chez V₃(14.33cm²) et une valeur minimale chez Ain Abid (8.73cm²)(figure .15).

L'analyse de la variance (annexe01) 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 ($P < 0,05$).

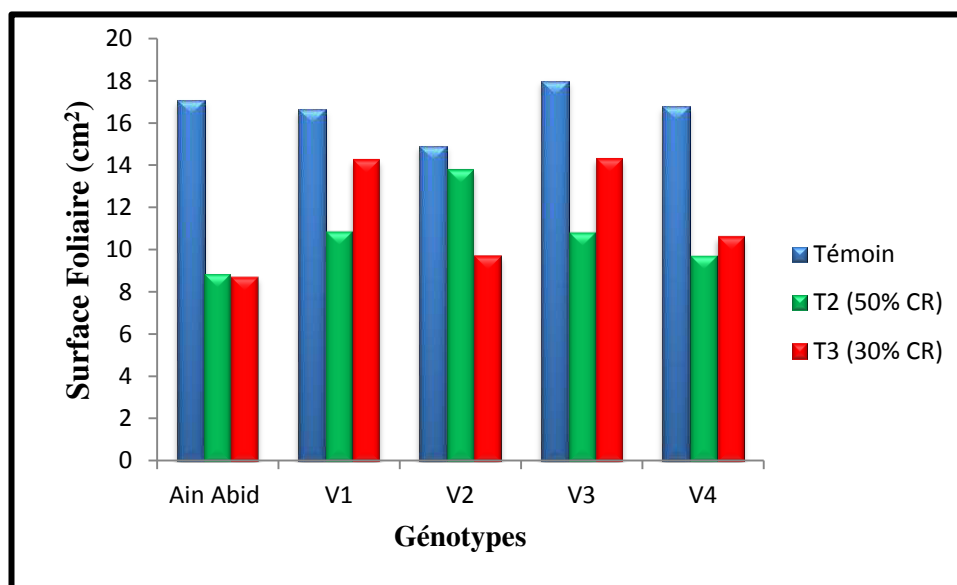


Figure 15. Variation de la surface foliaire des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique.

La surface foliaire est un déterminisme important de la transpiration.

On note principalement une diminution importante 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).

Lebon (2006) ont montré également que la diminution de la surface foliaire sous le régime hydrique limitant est un mécanisme adaptatif des plantes visant à limiter leur transpiration foliaire lorsque les conditions hydriques deviennent défavorables. Des résultats similaires ont été obtenus par Hireche (2006) chez la vigne et Attia (2007) sur le cotonnier.

3. Effet de stress hydrique sur la hauteur

- A 100% CR :les valeurs s'étalent entre 25.9cm et 11.88 cm, la valeur maximale enregistré chez V₃ et minimale chez Ain Abid
- A 50% CR :nous avons observé une diminution chez tous les génotypes en présence de stress hydrique par rapport au témoin avec une valeur maximale chez V₃ (18.47cm) et une valeur minimale chez Ain Abid (9.4cm) .
- A 30 % CR : nous avons observé une diminution significative chez tous les génotypes par rapport au témoin, les valeurs s'étalent entre 14.17cm et 8.4cm avec une valeur maximale chez V₁ et une valeur minimale chez Ain Abid (figure.16).

L'analyse de la variance (annexe 01), montre que l'interaction entre les deux facteurs (régime hydrique *variété) est significatif ($P < 0,05$). Toutefois elle est hautement significative pour l'effet de régime hydrique et variété ($P < 0,05$).

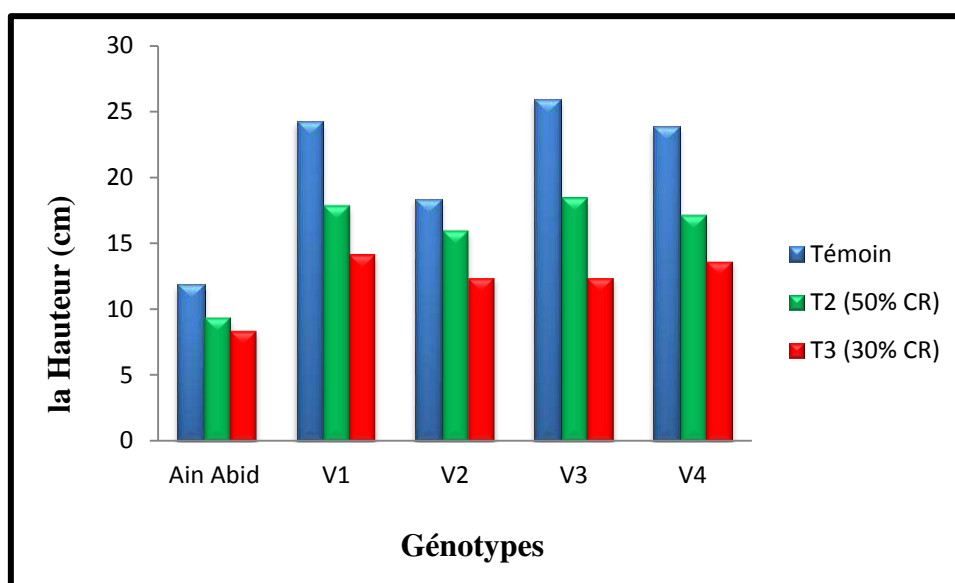


Figure 16. Variation de la hauteur des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique.

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 montré que le stress affecte la croissance de la tige principale et des branches avec la même intensité .

II. Effet de stress hydrique sur les paramètres physiologiques

1. Effet de stress hydrique sur la chlorophylle totale

- A 100% CR : les valeurs s'étalent entre 35,2 et 32,2 unité de SPAD, la valeur la plus élevée est observée chez V₄ (35,2 unité de SPAD) et la valeur la plus basse chez V₃ (32,3 unité de SPAD).
- A 50% CR : nous avons noté une diminution chez l'ensemble des génotypes par rapport au témoin avec une valeur maximale chez Ain Abid (33,97 unité de SPAD) et une valeur minimale chez V₃ (30,13 unité de SPAD).
- A 30% CR : nous avons observé une augmentation chez tous les génotypes étudié par rapport au témoin , les valeurs s'étalent entre 36,1 et 33,3 unités de SPAD avec une valeur maximale chez V₂ (36,1 unité de SPAD) et une valeur minimale chez V₃ (33,3 unité de SPAD) (figure.17).

L'analyse de la variance (annexe 01) 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 ($P > 0,05$).

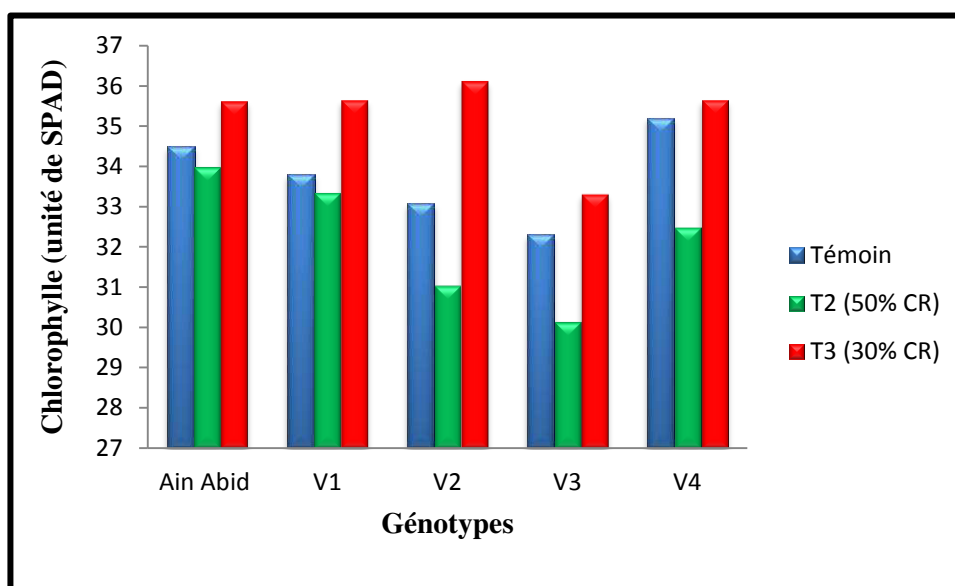


Figure 17. Variation de la chlorophylle totale des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique.

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). 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).

2. Effets de stress hydrique sur la TRE

- A 100% CR : les valeurs s'étalent entre 93,25% et 88,32% avec une valeur maximale chez V₃ (93,25%) et une valeur minimale chez V₁ (88,32%).
- A 50% CR : on observe une diminution chez tous les génotypes par rapport au témoin , les valeurs s'étalent entre 85,43et 79,19% avec une valeur maximale chez V₃(85,43%) et une valeur minimale chez V₄ (79,19%).
- A 30% CR : nous avons observé une diminution chez tous les génotypes par rapport au témoin avec une valeur maximale chez Ain Abid (76,32%) et une valeur minimale chez V₃ (57,56%) (figure.18).

L'analyse de la variance (annexe 01) 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 ($P < 0,05$).

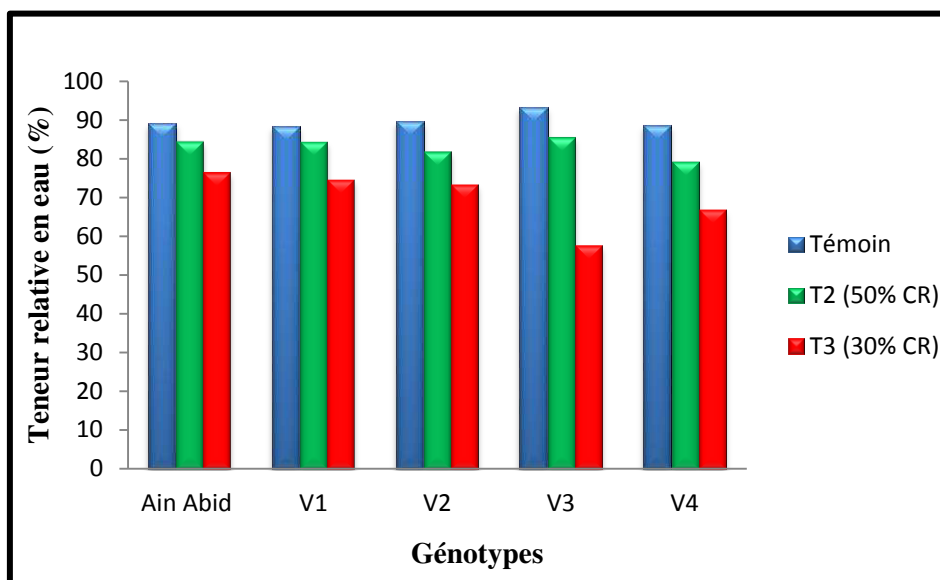


Figure 18. Variation de la teneur relative en eau des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique.

La mesure de la teneur relative en eau (TRE) permet de décrire d'une manière globale le statut hydrique de la plante en réponse au stress salin et hydrique, elle donne aussi une évaluation de l'aptitude à maintenir une turgescence cellulaire convenable (El Jaafari, 2000) L'évolution de la teneur relative en eau des cinq variétés étudiées montre que le stress hydrique entraîne une chute du pourcentage d'eau chez les variétés stressées. Cette chute est spécifique de la variété par son comportement vis-à-vis du manque d'eau.

Chez les plantes stressées, la TRE a baissée considérablement au cours du temps d'expérimentation. La forte pression osmotique du milieu extérieur fait diminuer la teneur en eau chez la plante toute entière (Slayter. 1974 ; Sairam et al. 2001).

Une TRE élevée dans des conditions de stress a été observée chez le soja (Zeghida et al.2004). Les génotypes qui maintiennent une TRE élevée plus longtemps en présence de stress hydrique sont en général des génotypes tolérants (Nouri 2002).

III. Effet du stress hydrique sur les paramètres biochimiques

1. Effets de stress hydrique sur les protéines solubles foliaires

- A 100% CR : les valeurs s'étalent entre 7,48 et 2,71 mg/g.MVF la valeur maximale observée chez V₃ et la valeur minimale chez Ain Abid .
- A 50% CR : nous avons observé une augmentation par rapport aux témoins chez Ain Abid (4,46 mg/g.MVF) , V₂(2,88 mg/g.MVF) et V₄(6,41 mg/g.MVF) et une diminution par rapport aux témoins chez V₁ (3,82 mg/g.MVF) et V₃(4,96 mg/g.MVF).
- A 30% CR : nous avons observé une augmentation par rapport au témoin chez Ain Abid (3,8 mg/g.MVF), V₂ (6,61 mg/g.MVF) et V₄ (5,78 mg/g.MVF) et une diminution par rapport au témoin chez V₁ (4,14 mg/g.MVF) et V₃ (6,75 mg/g.MVF), (figure.19) .

L'analyse de la variance (annexe 01) montre que l'interaction entre les deux facteurs (régime hydrique * variété) ainsi que l'effet variété sont significatifs ($P < 0,05$) toutefois elle est non significative pour l'effet de régime hydrique ($P > 0,05$).

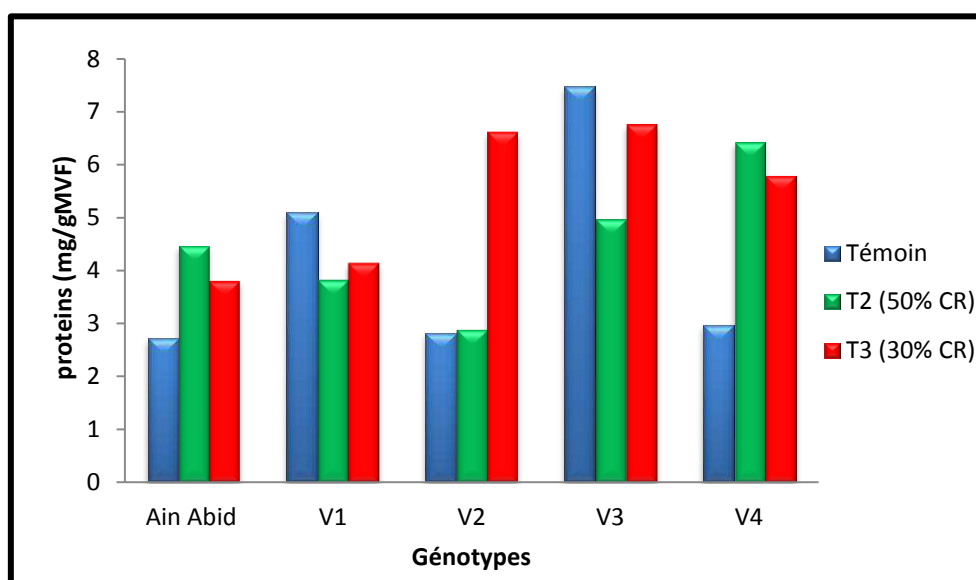


Figure 19. Variation de la teneur en protéine des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique.

Plusieurs recherches, mettent en évidence l'action du stress hydrique sur les variations des protéines, montrent l'existence d'une variabilité dans la teneur en protéines (Kumar et Singh., 1991 ; Rai et al., 1983)

La réduction de la teneur en protéines de plantes soumises au stress hydrique est due à l'inhibition de la synthèse des protéines, à l'accélération du processus de protéolyse ou à la réduction de la teneur en acides aminés (Dubey & Rani, 1990).

Selon Zerrad et al., (2006) la sécheresse favorise la protéolyse, elle conduit, en conséquence à une diminution de la quantité de protéine de poids moléculaire élevé et à une augmentation de la teneur en protéine soluble et en acide aminé. ces constatations ont été

confirmé par Gat ,(1995), qui a montré que la quantité d' ADN et d'ARN , responsable de la synthèse des protéines , dans les feuilles diminue suit au condition limitant en eau . En fait en présence d'une contrainte hydrique, la synthèse des protéines est ,d' une part , inhibée et d'autre part ,celle-ci subissent une dégradation pour donner lieu à des acides aminés solubles ayant dans certains cas une fonction adaptative telle que « le proline » . ces acides aminés solubles contribuent, également, à l'augmentation de la teneur en soluté cellulaire se traduisant par une osmorégulation plus efficace de la plante.

2. Effet de stress hydrique sur la malondialdéhyde

L'analyse de la variance (annexe 01) 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 ($P < 0,05$).

- A 100% CR : les valeurs s'étalent entre 7,97 et 2,26 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ MVF la valeur maximale observée chez Ain Abid et la valeur minimale chez V₂ .
- A 50% CR : on observe une diminution de malondialdéhyde par rapport au témoin chez Ain Abid (7,53 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ MVF) et V₃(4,13 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ MVF).

Et nous avons observé une augmentation chez V₁ (8,34 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ MVF) , V₂ (4,61 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ MVF) et V₄(7,51 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ MVF) par rapport au témoin.

- A 30% CR : on observe une augmentation chez tous les génotypes par rapport au témoin avec une valeur maximale chez V₄ (9,9 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ MVF) et une valeur minimale chez V₂ (6,24 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ MVF). (Figure 20).

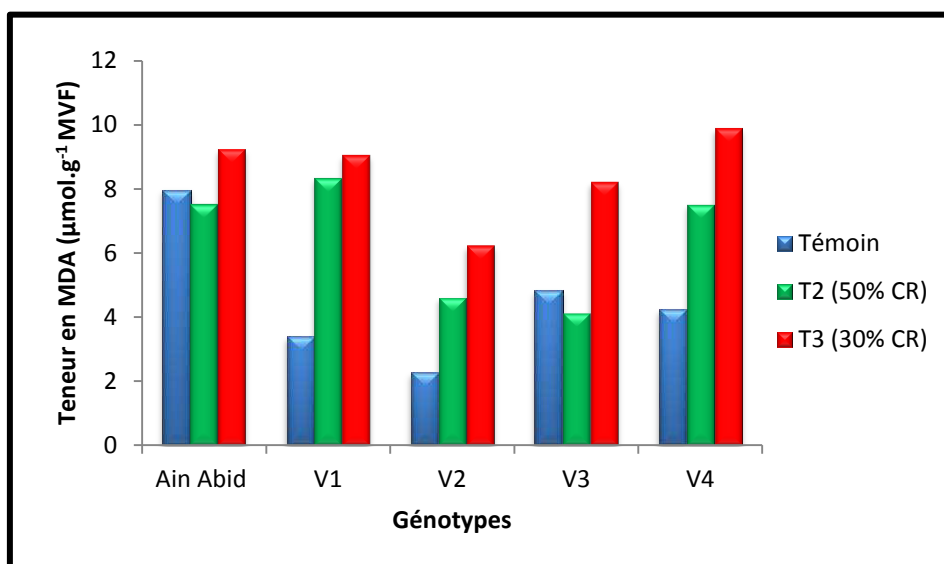


Figure 20. Variation de la teneur en malondialdéhyde des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique.

Le déficit hydrique induit un stress oxydatif avec formation de radicaux libres. Le MDA, est l'un des produits finaux de la peroxydation des lipides membranaires (Ohkawa *et al.* 1979; Guichardant *et al.* 1994). Cette peroxydation est le symptôme le plus attribué aux dommages

oxydatifs ; il est souvent employé comme indicateur du stress oxydatif (Zhang & Kirkham 1994). Le dosage de la MDA est un moyen efficace pour évaluer les dommages du stress oxydatif sur la membrane (Katsuhara *et al.* 2005).

3. Effets de stress hydrique sur l'activité de la catalase

- A 100% CR : les valeurs s'étalent entre 16,12 et 3,83 $\mu\text{mole de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ protéines, la valeur maximale observée chez Ain Abid et la valeur minimale enregistrée chez V₄.
- A 50% CR : on observe une augmentation chez tous les génotypes par rapport au témoin avec une valeur maximale observée chez Ain Abid (39,92 $\mu\text{mole de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ protéines) et une valeur minimale chez V₃ (17,96 $\mu\text{mole de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ protéines).
- A 30 % CR : on observe une augmentation par rapport au témoin chez les génotypes V₁, V₂, V₃ et V₄ avec une valeur maximale chez V₄ (49,72 $\mu\text{mole de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ protéines) et une valeur minimale chez V₁ (15,36 $\mu\text{mole de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ protéines). Et on observe une diminution par rapport au témoin chez Ain Abid (11,57 $\mu\text{mole de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ protéines), (figure .21).

L'analyse de la variance (annexe01), 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 ($P < 0,05$).

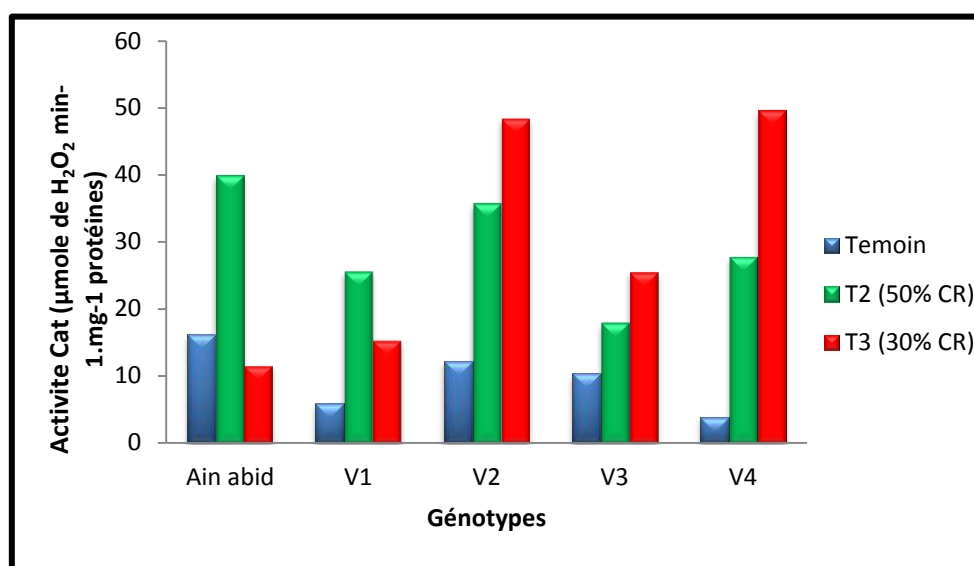


Figure 21. Variation de l'activité de catalase des cinq génotypes de blé tendre soumis aux différents niveaux de stress hydrique.

La catalase qui est localisée essentiellement dans les peroxysomes, participe aussi dans la dégradation de H₂O₂ généré par les xénobiotiques (Sanchezcasas et Klessig, 1994 ; Foyer *et al.*, 1994 ; Arora *et al.*, 2002) Par ailleurs, plusieurs études réalisées sur les plantes transgéniques de riz ont révélé que la CAT est à l'origine d'une tolérance aux différents stress abiotiques, conséquence de la neutralisation du H₂O₂ (Khalifa *et al.*, 2011 ; Gill et Tuteja, 2010). Le système antioxydant enzymatique chez les cellules végétales dans les conditions de stress joue un rôle important dans la défense de ces organismes. Une augmentation de l'activité de ces enzymes antioxydants est en général une réponse à la présence d'agents phytotoxiques (Potters *et al.*, 2002 ; Peixoto *et al.*, 2006).

Dans le même contexte, Gondimet *et al.* (2012) ont montré l'augmentation des activités de la CAT en condition de stress suite à l'augmentation de la concentration du H₂O₂.

Conclusion

Le stress hydrique affecte le développement et le bon fonctionnement des plantes. Il est un facteur limitant pour les cultures du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Pour faire face à cette situation les plantes développent des mécanismes d'adaptation qui leur permettent de résister à la sécheresse.

Dans le cadre de ce travail nous avons étudié l'effet du stress hydrique (deux niveaux de stress) sur le comportement de cinq génotypes de blé tendre en prenant compte par l'analyse de quelques paramètres morphologiques (hauteur de la plante, surface foliaire et la biomasse), physiologiques (teneur relative en eau, teneur en chlorophylle totale) et paramètres biochimiques (teneur en protéine solubles foliaire, activité de catalase et la teneur en MDA).

A travers les résultats obtenus, on peut constater que l'application d'une contrainte hydrique se manifeste chez l'ensemble des génotypes de blé étudiés par des traits généraux communs, il s'agit, d'une modification morphologique et physiologique et biochimique en réponse au stress hydrique.

Le stress hydrique réduit considérablement la hauteur et la biomasse aérienne et la surface foliaires des plantes.

Le stress hydrique a affecté les paramètres physiologiques. En effet une réduction de la teneur relative en eau a été constatée chez l'ensemble des génotypes. Ainsi une augmentation de la teneur en chlorophylle totale a été constatée chez les différents génotypes étudiés cette augmentation est la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires.

Les résultats des paramètres biochimiques montrent que l'ensemble des génotypes présentent une accumulation en protéines totales, une augmentation de l'activité de catalase et une accumulation du MDA. Ces résultats permettent de conclure que le stress hydrique modifie la composition et le spectre moléculaires des composés organiques au niveau des plantes stressées.

En guise de cette investigation nous pouvons dire que les cinq génotypes étudiés ont utilisé des stratégies de réponse variables vis-à-vis le stress hydrique. Ces critères peuvent être utilisés comme paramètres de sélection et d'amélioration du rendement de blé tendre dans les régions sèches.

Comme perspective à cette étude, il semble important de compléter le travail par :

- Vérifier les résultats obtenus par d'autres études complémentaires, et d'appliquer cette étude sur plusieurs génotypes.
- Des études de biologie moléculaire pour identifier les gènes responsables.
- Une étude histologique et anatomique au niveau des racines et des feuilles.
- Une étude morphologique physiologique et biochimique de la partie souterraine.

*Références
bibliographiques*

- Ainaoui S., Lafala Z., 2016.** Etude comparative de l'effet du stress hydrique sur le Comportement de quatre génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Université des Frères Mentouri Constantine.
- Alia., Mohanty, P., Matysik J., (2001).** Effect of proline on the production of singlet oxygen. *Amino Acids*, 21 (2), 195-200. doi:10.1007/s007260170026.
- Amokrane A. Bouzerzour H. Benmahammed A. Djekoun A, 2002.** Caractérisation des variétés locales, Syriennes et européennes de blé dur évaluées Constantine, numéro spécial.: 33 –38p.
- Appel K., Hirt H. (2004).** Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu Rev Plant Biol.*, **55**: 373-399.
- Arora A., Sairam R.K., Srivastava G.C. (2002).** Oxidative stress and antioxidative system in plants. *Current Science.*, **82** (10): 1227-1238.
- Arvalis, 2019.** arvalis-infos.fr. blé tendre : les besoins unitaires en azote des variétés réactualisés pour 2019
- Asada K. (1994).** Production and action of active oxygen species on photosynthetic tissues. En: *Causes of Photooxidative stress and amelioration of defense systems in plants.* Foyer, C.F. y P.M. Mullineaux (eds.). CRC Press, Boca Raton, Florida., pp. 77-104.
- Attia F., 2007.** Effet du stress hydrique sur le comportement écophysiological et la maturité phénologique de la vigne (*Vitis vinifera* L.) : Etude de cinq cépages autochtones de Midi-Pyrénées. Thèse INP, Toulouse (France), 194p.
- Baldy C. 1974.** Etude fréquentielle du climat, son influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. Versailles: INRA, Dép. Bioclimatologie/Ministère de l'Agriculture.
- Baldy C. 1986.** Comportement des blés dans les climats méditerranéens. *Ecologia Mediterranea*, (12): 73-88
- Baldy, C. (1986)** Comportement des blés dans les climats méditerranéens *Ecologia mediterranea*. Tome XII, Vol. (3 - 4), p.73 – 88.
- Barrs, H. D. (1968).** Determination of water deficits in plant tissues. In: T.T Kozlowski (Eds) *Water deficits and plant growth.* New York, NY: Academic Press (pp. 235–368)
- Bedrani S. 2004.** L'alimentation de rue en Algérie : quelques réflexions sur la base d'une enquête visuelle rapide. *Alger. Options Méditerranéennes*, (36) : 25-46.
- Belaid D, 1996.** Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. Office des publications universitaires, Ben-Aknoun (Alger), 206 p.
- Benhamou N. 2009.** La résistance chez les plantes. Principes de la stratégie défensive et applications agronomiques. Ed. TEC et DOC. Paris. 213-218p.

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.

Benlaribi M., Zerafa Ch .,Ghenai A. 2017. Comportement Phénologique et MorphoPhysiologique de Quelques Génotypes d'orge et de blé, Laboratoire de Développement et Valorisation des Ressources Phytogénétiques, Université des Frères Mentouri Constantine 1, Algérie.

Bolot S., Abrouk M., Masood-Quraishi U., Stein N., Messing J., Feuillet C. and Salse J. 2009. The “inner circle” of the cereal genomes. *Current opinion in plant biology*, 12(2):119–125.

Bonjean A., 2001 .Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle de blé tender (*Triticum aestivum* L.). Dossier de l'environnement de l'INRA, n° 21 : 29-37.

Boucelha L, 2015. Compréhension des mécanismes régissant l'endurcissement des graines de *Vigna unguiculata* , p 42.

Bousba R. Ykhlef N. Djekoun A, 2009. Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Trticum durum* Desf).*World Journal of Agricultural Sciences* 5. 5. 609 -616p.

Boyeldieu J.1999.Encyclopédie des techniques agricoles : production végétale-Blé TendreEd : Paris.20-20.

Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilising the principal of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254. doi:10.1016/0003-2697(76)90527-3.

Campalans et al.,1999. in Amirouche A., Djaaleb R.2017. Comparaison de quelques paramètres biochimiques chez quatres variétés de blé dur sous stress oxydatif généré par un stress hydrique. Université des Frères Mentouri Constantine.

Chadefaud M. et Emberger L., 1960- Traité de botanique. Systématique. Les végétaux vasculaires par L. Emberger. Fasciculé Masson et Cie. Tome II, 753p

Charvet JP (2012). Claire Levasseur. Atlas de l'agriculture: 14p.

Chaumeil Ph. (2006). Plasticité moléculaire de deux écotypes de pin maritime soumis à un stress osmotique. Université Henri Poincaré, Nancy1, France. Thèse de doctorat : 46-47p.

Chen P.D. et Gill B.S., 1984 . The origin of chromosome 4A and the B and G genomes of dans l'amélioration du blé tendre pour la résistance aux maladies et aux insectes. *Biotechnol common bunt resistance in wheat. Genome* (2) : 217–223.

Chennafi H. Aidaoui A.Bouzerzour H. Saci A, 2006.Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions.

Asian Journal of Plant Science. 5: 854-860 pp. Conditions. Asian Journal of Plant Sciences 5: 854-860p.

Clarke, J. M., Mc Craig, T. M. (1982) Evaluation of techniques for screening for drought resistance in wheat. *Crop Sci*, 22: 503 - 506.

Clément J.M., 1981. Dictionnaire Larousse Agricole. Librairie Larousse. ISBN 2-03-514301-2. 1207p.

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.

Dietz K.J., Jacob S., Oelze M.L., Laxa M., Tognetti V., de Miranda S.M., Baier M., Finkemeier I. (2006). The function of peroxiredoxins in plant organelle redox metabolism. *Journal of Experimental Botany*, 57 (8): 1697-1709.

Dietz K.J., Jacob S., Oelze M.L., Laxa M., Tognetti V., de Miranda S.M., Baier M., Finkemeier I. (2006). The function of peroxiredoxins in plant organelle redox metabolism. *Journal of Experimental Botany*, 57 (8): 1697-1709.

Djebbar R. (2012). Effet du stress hydrique sur le métabolisme cellulaire de plantes de tabac sauvage (*Nicotiana sylvestris*) et d'un mutant mitochondrial (CMSII). Thèse de Doctorat d'état, Université Houari Boumediene, Alger, Algérie, 233 p.

Doorenbos J. Kassam A.H. Bentverisen C.L.M. Branscheid V. Plusjé J.M.G.A. Smith M. Uittengogaard G.O. et Van Der Val H.K. (1987) Exigence de blé dur. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage (33). Rome : p 202.

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(11), 1102–11090. doi:10.1094/MPMI.1998.11.11.1102.

Doussinault G., Pavoine M.T., Jaudean B. et Jahier J., 2001 - Evolution de la variabilité génétique chez le blé. Dossier de l'environnement de l'INRA, N° 21. Station d'amélioration des plantes : 91-103

Dubey, R., & Rani, M. (1990). Influence of NaCl salinity on the behavior of protease. Amino peptidase and carboxypeptidase's in the seedlings in relation to salt. *Australian Journal of Plant Physiology*, 17, 215 – 221. doi:10.1071/PP9900215

Dupont F.M. et Altenbach S.B. (2003) Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. Elsevier **.Journal of Cereal Science** 38 : 133–146.

El Jaafari S. 2000. "Durum wheat breeding for abiotic stresses resistance : defining physiological traits and criteria", *Options méditerranéennes* 40, pp. 251-256.

FAO, 2018. Site des données statistiques de la FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations): www.faostat.fao.org.

FAO. 2007 Faostat Site des données statistiques de la FAO : www.faostat.fao.org

FAO. 2007.Perspective alimentaires. Analyse des marchés mondiales. <http://www.fao.org/010/ah864f/ah864f00.htm>. (31.5.2008/13:28)

Fao.org : www.fao.org.

Favier A. (2003). Le stress oxydant. Actualité chimique.108-115.

Feldman M., 2001.Origin of cultivated wheat. Dans Bonjean A.P. et Angus W.J. (ed). The world wheat Book: a history of wheat breeding. Intercept limited, Andover, Angle Terre, 358.

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.

Feuillet P.2000. Le Grain de blé: composition et utilisation. Editions Quae, 2000 - 308 p

Flexas J., Bota J., Galmes J., Medrano H., Ribas-Carbo M. (2006). Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. Physiologia Plantarum., 127: 343-352.

Folkert A. Hoekstra E. Golvina C. Buitink M, 2001. Mechanisms of plant desiccation tolerance. TRENDS in plant science. Vol 6. 9: 431-438 p.

Foyer C.H. (1996). Oxygen processing in photosynthesis. Biochemical Society Transactions., 24: 427-433.

Foyer C.H., Lelandais M., Kunert K.J. (1994). Photooxidant stress in plants. Physiologia Plantarum., 92: 696-717

Gate P, 1995.Ecophysiologie du blé : De la plante à la culture. Lavoisier, Paris. 429 p.

Gechev T.S., Van Breusegem F., Stone J.M., Denev I., Laloi C. (2006). Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. Bioessays., 28 (11): 1091-1101.

Gill S.S., Tuteja N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry., 48: 909-930

Gnis 2008. Journal Cultivons la diversité des plantes cultivées .www.semencemag.fr.

Gondim F.A., Gomes-Filho E., Costa J.H., Mendes Alencar N.L. Prisco J.T. (2012). Catalase plays a key role in salt stress acclimation induced by hydrogen peroxide pretreatment in maize. Plant Physiology and Biochemistry., 56: 62-71.

Grotto D., Santa Maria L., Valentini M.J., Paniz C., Schmitt G., Garcia S.C. (2009). Importance of the lipid peroxidation biomarkers and methodological aspects for malondialdehyde quantification. *Quimica Nova.*, 32 (1): 169-174.

GuettoucheRk, 1990. Contribution à l'identification des caractères morpho physiologiques d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse diplôme d'agronomie approfondie.

Guichardant M., Vallete-Talbi L., Cavadini C. et al. 1994. Malon-dialdehyde measurement in urine. *Journal of Chromato-graphy B: Biomedical sciences and Applications*, 655, 112-116.

Gutteridge J.M., Halliwell B., 1990. The measurement and mechanism of lipid peroxidation in biological systems. *Trends in Biochemical Sciences.*, 15 (4): 129-135.

Hamadache A. (2013) Eléments de Phytotechnie Générale-Grandes Cultures– Tome 1 Le blé : 256 p.

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.

Herney, Buyser., 2000. Cycle de développement du blé in **Bouasla S, Debabsa R, Djouamaa M., 2008.** Comportement morphologique, physiologique et biochimique de trois variétés de blé dur (*Triticum durum*.desf) sous traitement par un fongicide (TILT 250EC) Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de D.E.S Option : Biochimie Centre universitaire de Souk – Ahras.

Hopkins W, 2003 .les relations hydriques dans la plante entière. In: *Physiologie végétale*. Ed. De book &Larcier. Bruxelles. 44-58p

INRA. 2000. La résistance des plantes à la sécheresse. Centre de Montpellier.

ITGC , 2013.Institut Technique des Grandes Cultures ;bulletin des grandes cultures .

Janero D. R. (1990). Malondialdehyde and thiobarbituric acid-reactivity as diagnostic indices of lipid peroxidation and peroxidative tissue injury. *Free Radical Biology and Medicine.*, 9: 515-40.

Jean-Pierre A. Philippe D. Bernard I. Gilles L. Bernard S. François T. Alban T, 2006 . Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA.France. 72 p.

Joseph B., Jini, D. (2011). Development of salt stress-tolerant plants by gene manipulation of antioxidant enzymes. *Asian journal of agricultural research.*, 5 (1): 17-27.

Katsuhara M., Otsuka T. & Ezaki B. 2005. Salt stress-induced lipid peroxidation is reduced by glutathione S-transferase, but this reduction of lipid peroxides is not enough for a recovery of root growth in *Arabidopsis*. *Plant Science*, 169, 369-373.

- Khalifa F.K., Khalil F.A., Barakat H.A. Hassan M.M. (2011).** Protective role of wheat germ and grape seed oils in chlorpyrifos-induced oxidative stress, biochemical and histological alterations in liver of rats. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences.*, **5** (10): 54-66
- Kouassi, 1984 in Bbrahimi H A , 2017.** variations phénotypiques pour la tolérance aux stress salin et hydrique chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) . dspace.univ-msila.dz .
- Laberche J-C, 2004.** La nutrition de la plante In *Biologie Végétale*. Dunod. 2e (éd). Paris: 154 -163p. p.
- Larcher W. (2003).** *Physiological Plant Ecology*, 4th Edn. Berlin. Heidelberg. Springer Verlag, 433 p.
- Lasram A. ; Dellagi H. ; Masmoudi M. M. et Ben Mechlia N. (2014).** Poids des facteurs climatiques au cours du cycle de développement du blé Dur. **Revue des Régions Arides** - Numéro Spécial - N ° 35 (- Actes du 4ème Meeting International ‘‘Aridoculture et Cultures Oasisennes : Gestion des Ressources et Applications Biotechnologiques en Aridoculture et Cultures Sahariennes : perspectives pour un développement durable des zones arides17-19/12/2013 : 1332.
- Laurent H. Sané P,2007** .Transfert d'eau et d'énergie. In : *Bioclimatologie. Concept et application*. Ed. Quae. Paris. 246p.
- 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.
- Lecoeur J., 2007.**"Influence d'un déficit hydrique sur le fonctionnement d'un couvert végétale cultivé ".
- Linné M.(1753).** *The Plant List*, 1 :85. consulté le 6 mars 2018.
- Loue, 1982.in Amirouche A., Djaaleb R.2017.** Comparaison de quelques paramètres biochimiques chez quatres variétés de blé dur sous stress oxydatif généré par un stress hydrique. Université des Frères Mentouri Constantine.
- Lounes A., Guerfi Y.,2010.** Contribution à l'étude du comportement agronomique de 27 nouvelles variétés de blé dur en vue de leur inscription au catalogue officiel national. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou Algérie - Diplôme d'ingénieur d'état en agronomie .
- Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S. & Janardhan Reddy K. 2006** . Printed in the Netherlands. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer: 1-14 p
- Marnett L.J. (1999).** Lipid peroxidation-DNA damage by malondialdehyde. *Mutatation Research.*, **424**: 83-95.

Mathieu M, 2017. in Agribio 04 ; Conseiller grandes cultures bio.

Maury P.Langlade N. Grieu P. Rengel D. Sarrafi A. DebaekeP.Vincourt P,(2011) .Ecophysiologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol.Innovations Agronomiques. **14** : 123-138.16p.

May L.H. et Milthrope F.L.1962.Drought resistance of crops plants.Field Crop Abstracts, 15, 171-179.

Moayed, A.A., Boyce, A.N. et Barakbah, S.S. (2010) The performance of durum and breed wheat genotypes Associated with yield and yield component under different water deficit conditions. Australian. J. of. Basic and Applied Sci. Vol. 4, N° 1, p. 106 - 113

Monneveux Ph., 1991 . Quelle stratégie pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? In : Chalbi Demarly Y. éd. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed.AUPELF-UREF. Jhon Libbey. INSA-INRA, P165 :186.

Mouellef A, 2010. Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire de magistère. UnivMentouri. constantine.

Nabors M, 2008 .Réponse des plantes aux hormones et aux stimuli environnementaux. In : biologie végétal. Structure, fonctionnement, écologie et biotechnologie. Ed. Pearson Education. France. 247p.

Naville M, 2005. La biodiversité des espèces cultivées : Analyse dans le cas du blé,Paris: Université Paris XI, Paris, 20p.

Nouri L,2002. Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.), en conditions de déficit hydrique. Thèse de magister en Biologie Végétale.4- 16p.

Nouri L. 2002. Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en condition de déficit hydrique. Thèse de Magistère en Biologie végétale Univ Mentouri. Constantine. 77 p.

Ohkawa H., Ohishi N. et Yagi K. 1979. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. Analistycal Biochemistry, 95, 351-358.

Ollier C., Poirée M. 1981. Irrigation, les réseaux d'irrigation théorie, technique et économie des arrosages. Ed. Eyrolles, Paris, 503 p.

ONFAA (2016). Bilan du commerce extérieur algérien des céréales 2016 : 6p.

Passioura, J,2004. Increasing crop productivity when water is scarce: From breeding to field management In: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia.12pages. www.regional.org/au/au/cs

- Peixoto F., Alves-Fernandes D., Santos D., Fontainhas-Fernandes A. (2006).** Toxicological effects of oxyfluorfen on oxidative stress enzymes in tilapia *Oreochromis niloticus*. *Pesticide Biochemistry and Physiology.*, **85** (2): 91-96.
- Pétréquin P. et Baudain D., 1997.** Les sites littoraux néolithiques de clairvaux- les- lacs (Jura). I problématique générale. L'exemple de la station III. Edition de la maison des sciences de l'homme Paris. 508p.
- Pigeaire A., Sebillotte M., et Blanchet R. , 1988.** Water stress in indeterminate soybeans :no critical stage in fruit development . *Agronomie* , 8,10,881-888 .
- Poorter H., Vanderwerf A., Atkin O.K., Lambers H. (1991).** Respiratory energy requirements of roots vary with the potential growth-rate of a plant-species. *Physiologia Plantarum.*, **83**: 469-475
- Prats H., 1960** - Vers une classification des graminées. *Revue d'Agrostologie Bull. Soc Bot. France*: 32-79.
- Radhouane L, 2011.** Comportement physiologique de deux espèces de tabac au stress salin. *Revue des régions aride. Institut des régions arides-Médenine-Tunisie.* **5**: 3-14p.
- Robert D., Gate P., Couvreur F. 1993.** Les stades du blé. Editions ITCF. 28 p.
- Roberts C.W., Roberts F., Henriquez F.L., Akiyoshi D., Samuel B.U., Richards T.A., Milhous W., Kyle D., McIntosh L., Hill G.C., Chaudhuri M., Tzipori S., McLeod R. (2004).** Evidence for mitochondrial-derived alternative oxidase in the apicomplexan parasite *Cryptosporidium parvum*: a potential anti-microbial agent target. *International Journal for Parasitology.*, 34 (3): 297-308.
- Roberts C.W., Roberts F., Henriquez F.L., Akiyoshi D., Samuel B.U., Richards T.A., Milhous W., Kyle D., McIntosh L., Hill G.C., Chaudhuri M., Tzipori S., McLeod R. (2004).** Evidence for mitochondrial-derived alternative oxidase in the apicomplexan parasite *Cryptosporidium parvum*: a potential anti-microbial agent target. *International Journal for Parasitology.*, **34** (3): 297-308.
- Sanchezcasas P., Klessig D.F. (1994).** A salicylic acid-binding activity and a salicylic acid inhibitable catalase activity are present in a variety of plant-species. *Plant Physiology.*, **106**: 1675-1679.
- Schulze E. Beck E et Hohenstein K. M. (2005).** *Plant ecology.* Springer Berlin : 117- 140.
- Scofield T. Evans J. Cook M.G. et Wardlaw I.F, 1988.** Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust.J.Plant physiol*, 4: 785-797p.
- Scofield T., Evans J., Coock M.G. et al. 1988.** Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Australian Journal Plant physiology*, 4, 785 - 797.
- Si Bennasseur Alaoui.(2004)** ; Référentiel pour la Conduite Technique de la Culture du blé tendre (*Triticum aestivum*)

Slama A. 2002. Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie. Tunis.

Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. & Zid E.D. 2005. Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (Inrat). Univ. Elmanar. Tunisie. (http://www.john-libbeyeurotext.fr/fr/revues/agro_biotech/sec/e-docs /00/04/11/2E/ telecharger.md).

Slama,A. Ben Salem. M.BenNaceur. M. Zid, E,2005. Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance (Inrat).16(3) : 225-229

Soltner D, 1988. Les grandes productions végétales. Les collections sciences et techniques agricoles, Ed. 16^{ème} édition, 464 p.

Soltner D, 1990 . Phytotechnie spéciale, Les grandes productions végétales. Céréales, plantes sarclées, prairies. Sciences et Technique Agricoles éd.

Soltner D, 1999. Les grandes productions végétales.19ème édition, Ed. Collection sciences et techniques agricoles, France, 464 p.

Soltner D, 2005 - Les grandes productions végétales. 20ème Edition. Collection science et techniques agricoles. 472p.

Soltner D. 1998. Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies.Sainte-Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles.

Soltner D.2005. Les bases de la production végétale 24eme Ed : coll.sci et Tec Agri, 77p.

Soltner D.2005. Les Grandes productions végétales 20 eme Ed : coll.sci et Tec Agri, 21 140p

Souilah N., 2005. Contribution à l'étude de l'effet de la densité de peuplement sur les composantes de rendement chez deux géotypes de blé dur (*Triticum durum* DESF.) en zone humide (ElHarrouch). Mémoire d'ingénieur d'état en Agronomie. Univ Skikda. 61p.

Steduto P. C. ; Hsio T. ; Fereres E. and Raes D. (2012). Crop yield response to water FAO Irrigation And Drainage Paper 66 : 98.

Tahri E. Belabed A. &Sadki K, 1997. Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Bulletin de l'Institut Scientifique. Rebat.21: 81 - 89 p.

Tardieu F.,Zivy M., 2006. Amélioration génétique de la tolérance des cultures à la sécheresse .In : Sécheresse et agriculture Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à une risque accru de manque d'eau .Ed. Expertise scientifique collective , INRA ,Paris ,242-257.

Thompson J.E., Paliyath G., Brown J.H. et al. 1987. The involvement of active oxygen in membrane deterioration during senescence. In Thompson, Nothnagel & Huffaker (eds). *Plant Senescence: its Biochemistry and Physiology*. American society of Plant Physiologists, (Rockville, USA), 146-155.

Weckx J.E.J. & Clijsters H.M.M. 1996. Oxidative damage and defense mechanisms in primary leaves of *Phaseolus vulgaris* as a result of root assimilation of toxic amounts of copper. *Physiologia Plantarum*, 96, 506-512.

Willekens H., Chamnongpol S., Davey M., Schraudner M., Langebartels C., VanMontagu M., Inze D., VanCamp W. (1997). Catalase is a sink for H₂O₂ and is indispensable for stress defence in C-3 plants. *EMBO Journal.*, 16: 4806-4816.

Willekens H., Chamnongpol S., Davey M., Schraudner M., Langebartels C., VanMontagu M., Inze D., VanCamp W. (1997). Catalase is a sink for H₂O₂ and is indispensable for stress defence in C-3 plants. *EMBO Journal.*, 16: 4806-4816.

Willekens H., Langebartels C., Tire C., Vanmontagu M., Inze D., Vancamp W. (1994). Differential expression of catalase genes in *Nicotiana plumbaginifolia* (L). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.*, 91 (2): 10450-10454.

Willekens H., Langebartels C., Tire C., Vanmontagu M., Inze D., Vancamp W. (1994). Differential expression of catalase genes in *Nicotiana plumbaginifolia* (L). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.*, 91 (2): 10450-10454.

Zeghida A., Amrani R., Djennadi F. et al. 2004. Etude de la variabilité de réponse des plantules de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à la salinité. *Céréaliculture*. ITGC. 42. Constantine, 5 p.

Zhang J. & Kirkham M.B. 1994. Drought-stress induced changes in activities of superoxide dismutase, catalase and peroxidases in wheat leaves. *Plant and Cell Physiology*, 35, 785-791.

Annexe

Annexe 01

Tableaux d'analyse de variance à deux facteurs (ANOVA) des paramètres étudiés.

Tableau 03 : Analyse de la variance de la biomasse totale.

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	Signification
bloc	2	0,21	0,10	0,80		
régime hydrique	2	1,52	0,76	5.71	0.067	Non significatif
résiduel	4	0,53	0,13	3.47		
génotype	4	1,07	0.26	6.94	<.001	Hautement significatif
Régime hydrique*génotype	8	0,85	0.07	1.91	0.106	Non significatif
Résiduelle	24	0,92	0.03			
Totale	44	4,86				

Tableau 04: Analyse de la variance de la surface foliaire.

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	Signification
bloc	2	0.17	0,35	0.02		
régime hydrique	2	307.64	153.82	8.64	0.03	Significatif
résiduel	4	71.17	17.79	2.50		
génotype	4	47.69	11.92	1.68	0.18	Non significatif
Régime hydrique*génotype	8	90.06	11.25	1.58	0.18	Non significatif
Résiduelle	24	170.57	7.107			
Totale	44	687.86				

Tableau 05 : Analyse de la variance de la Hauteur.

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	signification
Bloc	2	0.917	0.459	0.15		
Régime hydrique	2	549.399	274.700	92.01	<.001	Hautement significatif
Résiduel	4	11.942	2.985	0.49		
Génotypes	4	522.768	130.692	21.29	<.001	Hautement significatif
Régime hydrique*Génotypes	8	119.040	14.880	2.42	0.045	Significatif
Résiduel	24	147.351	6.140			
Total	44	1351.417				

Tableau 06: Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle totale.

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	signification
Bloc	2	7.16	3.58	0.31		
Régime hydrique	2	43.71	21.85	1.88	0.266	Non significatif
Résiduel	4	46.50	11.62	0.61		
Génotypes	4	45.97	11.49	0.61	0.662	Non significatif
Régime hydrique*Génotypes	8	41.74	5.22	0.28	0.968	Non significatif
Résiduel	24	455.15	18.96			
Total	44	640.23				

Tableau 07: Analyse de la variance de la TRE.

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	Signification
Bloc	2	100.6	50.3	0.56		
Régime hydrique	2	2577.2	1288.6	14.41	0.015	Significatif
Résiduel	4	357.8	89.4	0.76		
Génotypes	4	182.4	45.6	0.39	0.815	Non significatif
Régime hydrique*Génotypes	8	1212.1	151.5	1.29	0.296	Non significatif
Résiduel	24	2823.4	117.6			
Total	44	7253.4				

Tableau 08 : Analyse de la variance de la teneur en protéines solubles foliaires.

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	signification
Bloc	2	31.952	15.976	15.26		
Régime hydrique	2	11.712	5.856	5.59	0.069	Non significatif
Résiduel	4	4.189	1.047	0.43		
Genotypes	4	41.087	10.272	4.24	0.014	Significatif
Régime hydrique*Génotypes	8	54.188	6.773	2.80	0.033	Significatif
Résiduel	18	43.617	2.423			
Total	38	170.068				

Tableau 09 : Analyse de la variance de MDA.

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	signification
Bloc	2	12.074	6.037	1.52		
Regime hydrique	2	120.162	60.081	15.18	0.014	Significatif
Résiduel	4	15.836	3.959	0.53		
Génotypes	4	79.976	19.994	2.69	0.074	Non significatif
Regime hydrique*Génotypes	8	43.361	5.420	0.73	0.664	Non significatif
Résiduel	14	103.919	7.423			
Total	34	277.990				

Tableau 10 : Analyse de la variance de l'activité de la catalase.

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	signification
Bloc	2	1762.1	881.0	3.31		
Regime hydrique	2	4047.3	2023.7	7.61	0.043	Significatif
Résiduel	4	1063.6	265.9	0.84		
Génotypes	4	1631.6	407.9	1.30	0.304	Non significatif
Régime hydrique*Génotypes	8	3466.8	433.3	1.38	0.263	Non significatif
Résiduel	21	6612.0	314.9			
Total	41	16979.4				

NB :

Non Significative : Si.....($P>0,05$)Significatif : Si ($P<0,05$)Très Significatif : Si ($P<0,01$)Hautement Significatif : Si($P<0,001$)

DDL : Degré de liberté

CM : coefficient de moyen

SCE : somme des carrées des écarts

P : probabilité

Annexe 02

Tableaux des valeurs moyennes des paramètres étudiés

Tableau 11 : Les valeurs moyennes de la biomasse aérienne.

Biomasse totale (g)					
Génotypes	Ain Abid	V1	V2	V3	V4
Témoin (100% CR)	0,51	1,19	0,75	1,27	0,92
T2 (50% CR)	0,48	0,65	0,5	0,69	0,73
T3 (30% CR)	0,28	0,51	0,41	0,52	0,63

Tableau 12 : Les valeurs moyennes de la surface foliaire.

SF (cm ²)					
Génotypes	Ain Abid	V1	V2	V3	V4
Témoin	17,07	16,65	14,91	18	16,78
T2 (50% CR)	8,87	10,87	13,79	10,82	9,73
T3 (30% CR)	8,73	14,28	9,73	14,33	10,63

Tableau 13 : Les valeurs moyennes de la Hauteur.

la hauteur (cm)					
Génotypes	Ain Abid	V1	V2	V3	V4
Témoin	11,88	24,25	18,38	25,9	23,88
T2 (50% CR)	9,4	17,85	15,95	18,47	17,13
T3 (30% CR)	8,4	14,17	12,38	12,38	13,62

Tableau 14 : Les valeurs moyennes de la chlorophylle.

Chlorophylle (unité de SPAD)					
Géotypes	Ain Abid	V1	V2	V3	V4
Témoin	34,5	33,8	33,07	32,3	35,2
T2 (50% CR)	33,97	33,33	31,03	30,13	32,47
T3 (30% CR)	35,6	35,63	36,1	33,3	35,63

Tableau 15 : Les valeurs moyennes de la tenure relative en eau (TRE).

Tenure relative en eau (%)					
Géotypes	Ain Abid	V1	V2	V3	V4
Témoin	89,15	88,32	89,61	93,25	88,51
T2 (50% CR)	84,35	84,29	81,74	85,43	79,19
T3 (30% CR)	76,32	74,42	73,23	57,56	66,74

Tableau 16 : Les valeurs moyennes de la Malondialdéhyde(MDA).

Malondialdéhyde ($\mu\text{mol.g}^{-1}$ MVF)					
Géotypes	Ain Abid	V1	V2	V3	V4
Témoin	7,97	3,38	2,26	4,82	4,24
T2 (50% CR)	7,53	8,34	4,61	4,13	7,51
T3 (30% CR)	9,25	9,06	6,24	8,22	9,9

Tableau 17: Les valeurs moyennes des protéines solubles foliaires.

Protéine solubles foliaire (mg/g.MVF)					
Génotypes	Ain Abid	V1	V2	V3	V4
Témoin	2,71	5,1	2,82	7,48	2,97
T2 (50% CR)	4,46	3,82	2,88	4,96	6,41
T3 (30% CR)	3,8	4,14	6,61	6,75	5,78

Tableau 18 : Les valeurs moyennes de l'activité de catalase.

Activité de catalase (μ mole de H_2O_2 min ⁻¹ .mg ⁻¹ prot)					
Genotypes	Ain abid	V1	V2	V3	V4
Temoin	16,12	5,81	12,24	10,29	3,83
T2 (50% CR)	39,92	25,58	35,74	17,96	27,76
T3 (30% CR)	11,57	15,36	48,46	25,57	49,72

Annexe 03

Photothèques les différentes méthodes utilisées.

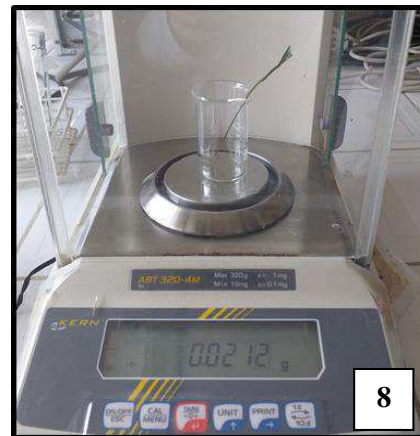


Figure 01: Mesure de la teneur relative en eau (TRE) ; (INRAA/2019)



Figure 02 : Préparation des extraits protéiques (INRAA/2019)



Figure 03 : Préparation de réactif Bradford
(INRAA/2019)



Figure 04: Préparation de tampon
d'extraction des Protéines (ph= 8.1)
(INRAA/2019)

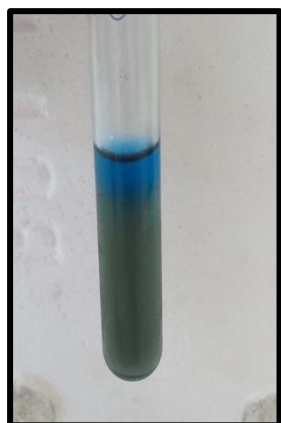
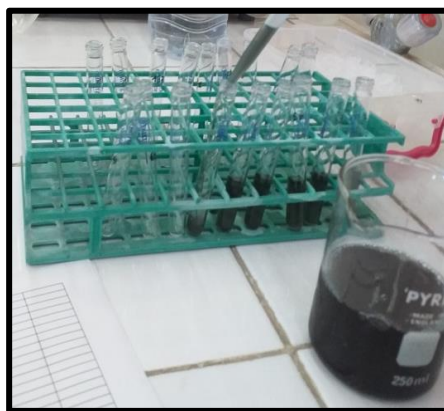


Figure 05 : Dosage des protéines solubles foliaire
(INRAA/2019)

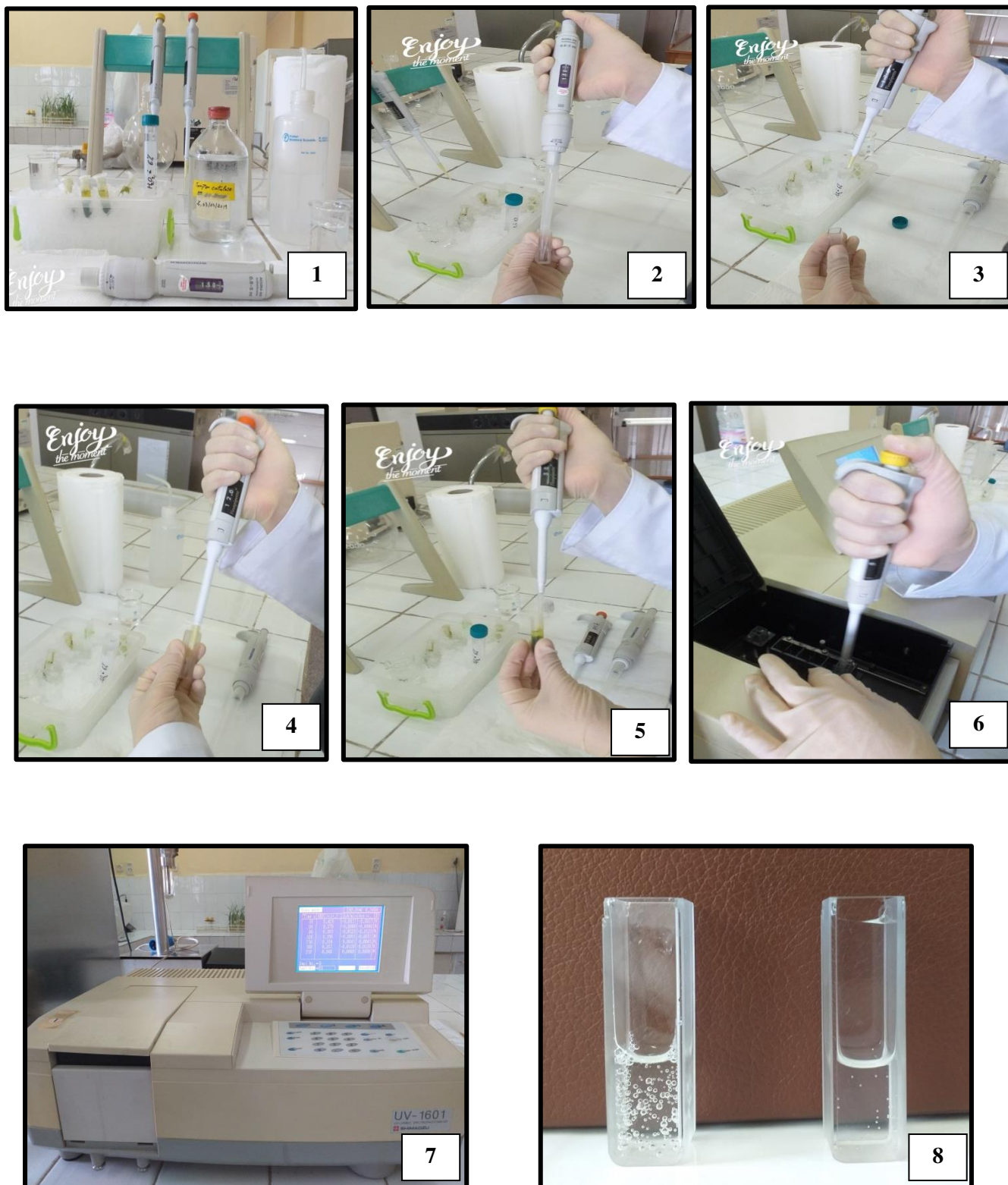


Figure 06 : Dosage et mesure de l'activité de la catalase
(INRAA/2019).

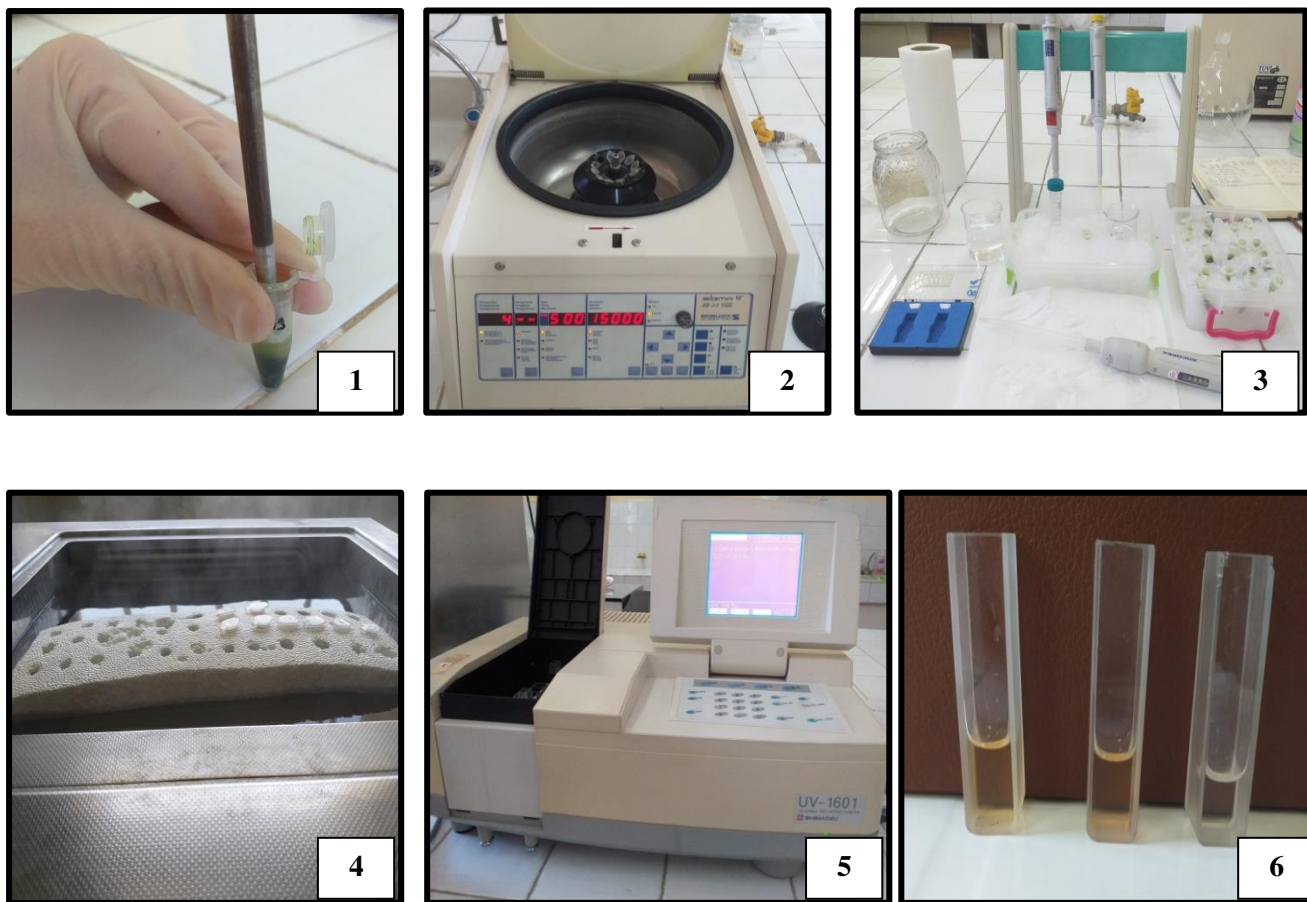


Figure 07: Mesure de malondialdéhyde (MDA) (INRAA/2019).

Annexe 04

Photothèques les différentes matérielles utilisées (INRAA/2019).



Figure 01: Balance électronique de précision.

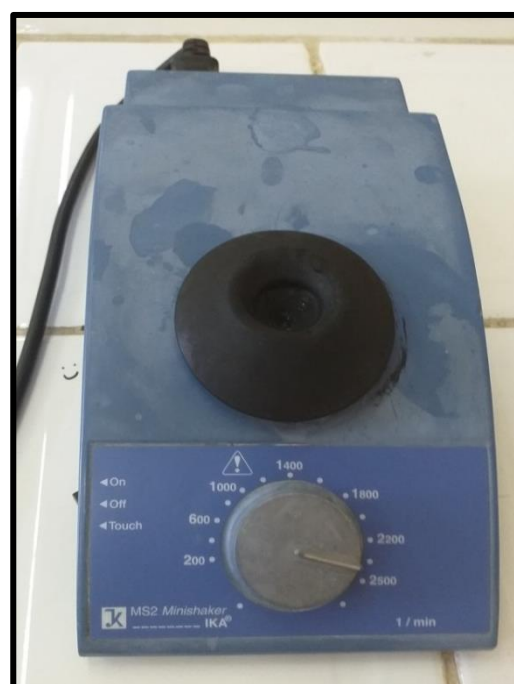


Figure 02 : Vortex.



Figure 03: Centrifugeuse.

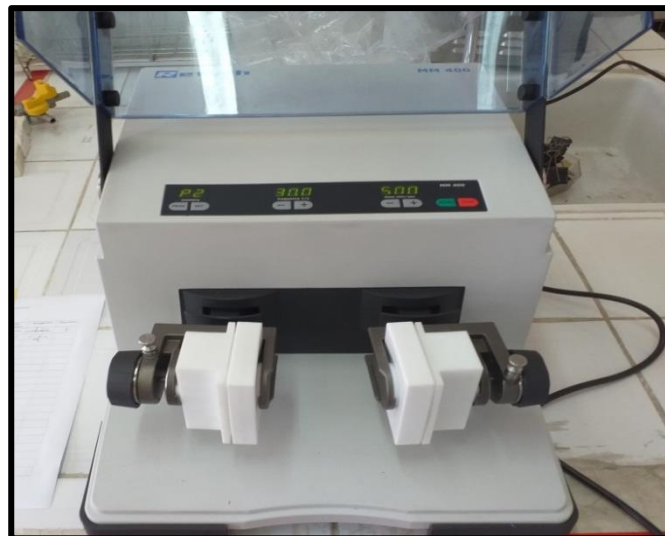


figure 04 : Agitateur à billes.



Figure 05: Bain marie.



Figure 06 : Spectrophotomètre.



Figure 07 : Agitateur magnétique.



Figure 08 : PH-mètre .



Figure 09 : Grande étuve.



Figure 10: Balance.