

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun –Tiaret-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Domaine : "Sciences de la Nature et de la Vie"

Spécialité : Génétique moléculaire et amélioration des plantes

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention d'un diplôme de Master académique

Présenté par

- MAHGOUN Fatiha
- TRARI Imene
- TRIKI Halima

Thème:

L'étude de l'effet du déficit hydrique sur le remodelage morphologique et anatomique des racines chez le blé tendre (*Triticum aestivum*

Soutenue le : 04 / 07 / 2019.

Devant le jury composé de :

Président : Mr DELLAL

Professeur

Promoteur : Mr ADDA A.

Professeur

Co-promoteur : Mr SAHNOUNE S.

Doctorant

Examineur: Mm MOKHFI F.Z.

MCB

Année universitaire : 2018–2019

Remerciements

Nous tenons à remercier sincèrement

Notre promoteur (Mr. ADDA Ahmed) qui a bien voulu mettre à notre disposition sa disponibilité, son dynamisme, son savoir-faire et sa patience dans la transmission de la connaissance et d'avoir accepté sans réserve de nous encadrer pour la réalisation de ce mémoire dans des bonnes conditions, Son oublie Co promoteur.

Nos remerciements vont également aux membres du jury (Mr Dellal et Mm Mokhfi. F) qui malgré leur multiples engagements ont bien voulu en ce jour porter leur intérêt à l'évaluation de ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à tous les enseignants de Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie qui ne ménagement aucun effort pour que la formation soit solide et de qualité.

Que tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail trouvent ici l'expression de notre reconnaissance.

Dédicace

A mes chers parents :Ahmed et Fatma

*A mes sœurs :Hassiba, Rekia et sa marie Omar et le petit Djawade ,
Abdelrahmane*

Mes frères: Mohamed, Smail, Ayoub, Nadhir

Et toute ma grande famille

*A mes amis : safaa, feriel, sara, maram, arbia, asma, khaïra, aïcha,
ahlem, nadia, hadjer, fatima, chahrazade, saïda,*

A mon trinômes :Imen, Halima et à toute ses famille.

Et sans oublier Ouhibe.M et à toute ses famille

A mes amis de Tissemsilt et de Tiaret.

Fatiha

Dédicace

*Arrivé au terme de mes études par la grâce de dieu,
J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail aux personnes qui me
sont les plus chères :*

*Ma très chère maman Laalia à qui je dois tous mes succès et que je ne
remercierai jamais assez ainsi qu'à Mon père Mohamed,*

Mes soeurs Ichrak, kholoud, tassnim

Mon frère: Ahmed djoud

Toute la famille Trari et Meziane

A mes camarades Fatiha et Halima

Toutes mes amies, en particulier: Khadidja, zohra et djaouida

A tous ceux que j'aime.

Imene

Dédicace

*Avec l'aide de dieu tout puissant, nous avons pu achever ce travail
que je dédie à :*

*Ma mère Zahra, merci pour m'avoir toujours supporté dans mes
décisions. Merci pour tout votre amour. A mon père Chikh en vous, je
vois un père dévoué à sa famille*

A mes sœurs Malika et son mari et Messaouda

A mes frères Mokhtar, Khalfalah, Mohamed et Hamid

A mes amis Imen, Fatima, Salima, Fatima.A, Fatima.M, Khalida.

*A toute la promotion de génétique moléculaire et amélioration des
plantes 2018 /2019*

A tous ceux que j'aime et je respecte.

Halima

Liste des Figures:

Figure 01: structure du grain de blé tendre	04
Figure 02 : densité des stomates de la face dorsale files cellulaires séparant les stomates de la face dorsale (Grossissement 40).....	29
Figure 03: Densité des stomates de la face ventrale et files cellulaires séparant les stomates de la face ventrale (Grossissement 40).	29

Liste des photos:

Photo 01: Le dispositif expérimental de l'essai au niveau de serre	18
Photo 02: Tubes d'extraction des sucres simples.	20

Liste des Tableaux

Tableau 01: Classification botanique du blé tendre.	03
Tableau 02: Les variétés ou lignées utilisées.....	17
Tableau 03 : Effets du génotype de la situation hydrique et de leur interaction sur les paramètres physiologiques	23
Tableau 04: Résultats moyens de la teneur relative en eau des six génotypes et sous trois situations hydriques.....	23
Tableau 05: Résultats moyens des paramètres physiologiques	25
Tableau 06: Effets du génotype, de la situation hydrique et de leur interaction sur les paramètres micro-morphologiques de la feuille.....	27
Tableau 07: Résultats moyens des paramètres micro-morphologiques de la feuille.....	28
Tableau 08: Effets du génotype, de la situation hydrique et de leur interaction sur les paramètres morphologiques des racines.....	32
Tableau 09: Résultats moyens des paramètres morphologiques des racines.....	32

Liste des Abréviations

% : Pourcentage

μmol: Micro-mole

ABA: Appliedbehavior appliquée

ADH: Avec déficit hydrique (60%)

ADH2: Avec déficit hydrique (30%)

° C: Degré Celsius

CC: Capacité de champ

cm : Centimètre

CO₂: Dioxyde de carbone

CRE: Capacité de rétention d'eau

CRE: La capacité de rétention en eau

DSFD: Densité des stomates de la face dorsale

DSFV: Densité des stomates de la face ventrale

DSFV: Densité des stomates de la face ventrale

FAO: Food and Agriculture Organisation

FCFD: Files cellulaires séparant les stomates de la face dorsale

FCFD: Files cellulaires séparant les stomates de la face dorsale

FCFV: Files cellulaires séparant les stomates de la face ventrale

FCSFD: Densité des stomates de la face dorsale

FCSFV: Files cellulaires séparant les stomates de la face ventrale

g: Gramme

gMS: Gramme par le matière sèche

MSA: Matière sèche aérienne

MSR: Matière sèche racinaire

NS: Non signification

PF: Poids frais

Pi : Poids initial

PPT: Le poids en pleine turgescence

PS: Poids sec

RWC: Rate water content

RWL: Rate water lost (taux déperdition d'eau)

RWL1: La transpiration stomatique

RWL2: La transpiration cuticulaire + résiduelle

SDH: Sant déficit hydrique

SF: Surface foliaire

SH : Situation hydrique

TDE: Taux de déperdition d'eau

TRE: Teneur relative en eau

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des photos

Liste des tableaux

Sommaire

Introduction 01

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1-Biologie du blé..... 03

1.1. L'origine du blé tendre 03

1.2 Composition du grain du blé tendre 03

1.3Composition biochimique du grain de blé tendre 05

1.4 Le cycle biologique du blé 06

2. Importance du blé tendre 08

2.1 Importance du blé tendre dans le monde..... 08

2.2 Importance du blé tendre dans l'Algérie..... 08

3. Le stress hydrique..... 08

3.1 L'Effet du stress hydrique sur la photosynthèse 09

3.2 L'effet du stress hydrique sur la partie aérienne 10

3.3 L'effet du stress hydrique sur le système racinaire 11

3.4L'effet du stress hydrique sur le rendement du blé tendre et ses composantes 11

3.5L'effet de stress hydrique sur le poids de grains et le nombre de grain par l'épi 12

4. Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique 13

4.1Adaptations phonologiques..... 14

4.2 Adaptations morphologiques 15

4.2.1Au niveau de la plante..... 15

4.2.2Au niveau de la structure 15

4.3 Adaptation physiologiques	15
-------------------------------------	----

Chapitre II: Matériel et méthodes

1. L'objectif de l'expérimentation.....	17
2. Matériel végétal utilisée	17
3. Mesures effectuées	18
3.1 les paramètres physiologiques	18
3.1.1 La capacité de rétention du substrat	18
3.1.2 La teneur relative en eau	19
3.1.3. Le taux de déperdition d'eau par la feuille excisée	19
3.1.4. Le dosage des sucres solubles.....	20
3.2. Les paramètres micro-morphologiques.....	20
3.3 Les paramètres racinaires.....	21

Chapitre 03 : Résultat et Discussion

1. Paramètres physiologiques	22
1.1 La teneur relative en eau	22
1.2 Le taux de déperdition d'eau de la feuille excisée	24
1.3 Accumulation des sucres solubles.....	25
2. paramètres micro-morphologiques de la feuille	26
3. paramètres racinaires.....	29
3.1. La longueur de l'axe principal des racines	29
3.2. Le nombre des racines par plant.....	30
3.3. Le volume des racines par plant	31
3.4. Le rapport matière sèche racinaire et aérienne.....	31
Discussion	33
Conclusion.....	35
Références bibliographiques	

INTRODUCTION

Introduction

Les céréales constituent les principales sources de la nutrition humaine et animale dans le monde. Le blé et particulièrement le blé tendre (*Triticum aestivum*) compte parmi les espèces les plus anciennement cultivées et il occupe la première place dans la production végétale mondiale et la deuxième après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines (SLAMA et al., 2005). En Algérie, les produits de cette espèce constituent un élément de base des habitudes alimentaires de la population locale. Ils détiennent une part d'environ 60% de la ration alimentaire du citoyen algérien. Son utilisation justifie l'importance accordée à sa culture où elle occupe une part importante de la surface agricole utile (BENBELKACEM, et al., 1995).

Les superficies réservées à la céréaliculture en Algérie se situent principalement dans les hauts plateaux et les plaines intérieures (ABELED0 et al., 2008). Comme toutes les régions du bassin méditerranéen, semi-arides, la culture du blé tendre est confrontée à de nombreux stress abiotiques, où la sécheresse constitue le principal facteur limitant grandement sa productivité. Cette situation est à l'origine d'un déséquilibre insurmontable entre la production locale et les besoins exprimés en ces produits sans cesse croissants. L'amélioration de la production passe inévitablement par l'accroissement des rendements enregistrés au fil des campagnes agricoles. Alors que cette tentative englobe les solutions de lutte contre la sécheresse.

Les solutions envisageables dans cette lutte intègrent l'application de l'irrigation d'appoint et l'utilisation d'un matériel végétal plus tolérant au déficit hydrique. L'emploi de la première stratégie reste limité à certaines exploitations agricoles, sa généralisation se confronte à la rareté des ressources hydriques et le faible niveau de la technicité de son emploi. La conduite d'un matériel végétal plus adapté à la sécheresse constitue un objectif à atteindre pour lutter contre ce stress. Néanmoins, la création de cette variabilité génétique et sa sélection pour la création de cultivars plus tolérants impose une étude approfondie des paramètres impliqués.

Les plantes ont développé diverses stratégies de lutte contre le déficit hydrique. Elles concernent les fonctions et leur régulation, la morphologie et la phénologie de la plante. Suivant leur implication elles permettent de lutter contre la sécheresse par son esquive, son évitement et sa tolérance.

INTRODUCTION

Le système racinaire détient une part importante dont les remodelages initiés par la plante lui permettent d'éviter la déclaration des contraintes générées par la sécheresse. Ainsi, diverses recherches ont été consacrées à l'étude de son implication dans la lutte contre le déficit hydrique (**OUKKAROUM, 2007**).

Le travail présenté traite l'un des aspects de ce volet des recherches. Il consiste en l'étude des variations morphologiques du système racinaire global et leur implication dans la protection de l'état des plantes chez le blé tendre soumis à différents régimes hydriques déficients. Pour la réalisation des essais de cette étude, une variabilité composée de six géotypes de blé tendre a été utilisée. Elle a été conduite sous trois traitements hydriques différents, 100%CC, 60%CC et 30%CC.

Le travail est présenté selon trois parties. Dans une première est illustrée une synthèse bibliographique relative au sujet. La seconde partie expose les démarches et les méthodes expérimentales employées et enfin dans une dernière sont présentés les résultats obtenus ainsi que leurs discussions.

CHAPITRE I

Synthèse bibliographique

1-Biologie du blé

1.1 L'origine du blé tendre (*triticum aestivum*)

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Gramineae*. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscents, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments (FEUILLET, 2000).

Le blé tendre *Triticum aestivum* var. *aestivum* possédant ($2n = 6X = 42$ chromosomes) dont l'adaptation agro technique est très large (BONJEAN ET PICARD, 1990).

L'origine de blé 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. Le blé tendre (*Triticum aestivum*) est apparu il y'a 7000 à 9500 ans, probablement par la domestication des blés (NESBITT et SAMUEL, 1995).

Tableau 01 : Classification botanique du blé tendre (FEUILLET, 2000).

Classe	<i>Liliopesida</i> (monocotylédones)
Sous-classe	<i>Commelinidae</i>
Famille	<i>Gramineae</i>
Sous-famille	<i>Festucoideae</i>
Tribu	<i>Triticeae</i>
Sous-tribu	<i>Triticineae</i>
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>Triticumaestivum</i> L

1.2 Composition du grain du blé tendre

Le grain de blé se compose de trois parties :

1.2.1 Enveloppe

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

- Le péricarpe : parois de l'ovaire qui comprend l'épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe.
- Le tégument : enveloppe de la graine qui comprend le tégument séminal et la bande hyaline.
- L'assise protéique : qui représente 60% du poids des enveloppes et constituée de cellules à aleurones, riches en protéines (SOLTNER, 1987).

1.2.2 Amande farineuse

Appelée albumen, représente la majeure partie de blé, 77 à 80% du poids du grain, elle est limitée à sa partie inférieure par le germe. Elle est constituée d'un ensemble de cellules renferment les grains d'amidon, réunis entre eux par un réseau de gluten C'est ce dernier qui confère à la farine la propriété de former une pâte élastique lorsqu'on y ajoute de l'eau. Lorsque l'on va de la périphérie de l'amande vers le centre. Les grains d'amidon deviennent plus nombreux faibles (FEILLET, 2000).

1.2.3 Germe

Il représente environ 3% du poids de la graine il constitue la future plante c'est un groupe riche en matière grasses, en sucres et vitamines (B et E) (GODON, 1982).

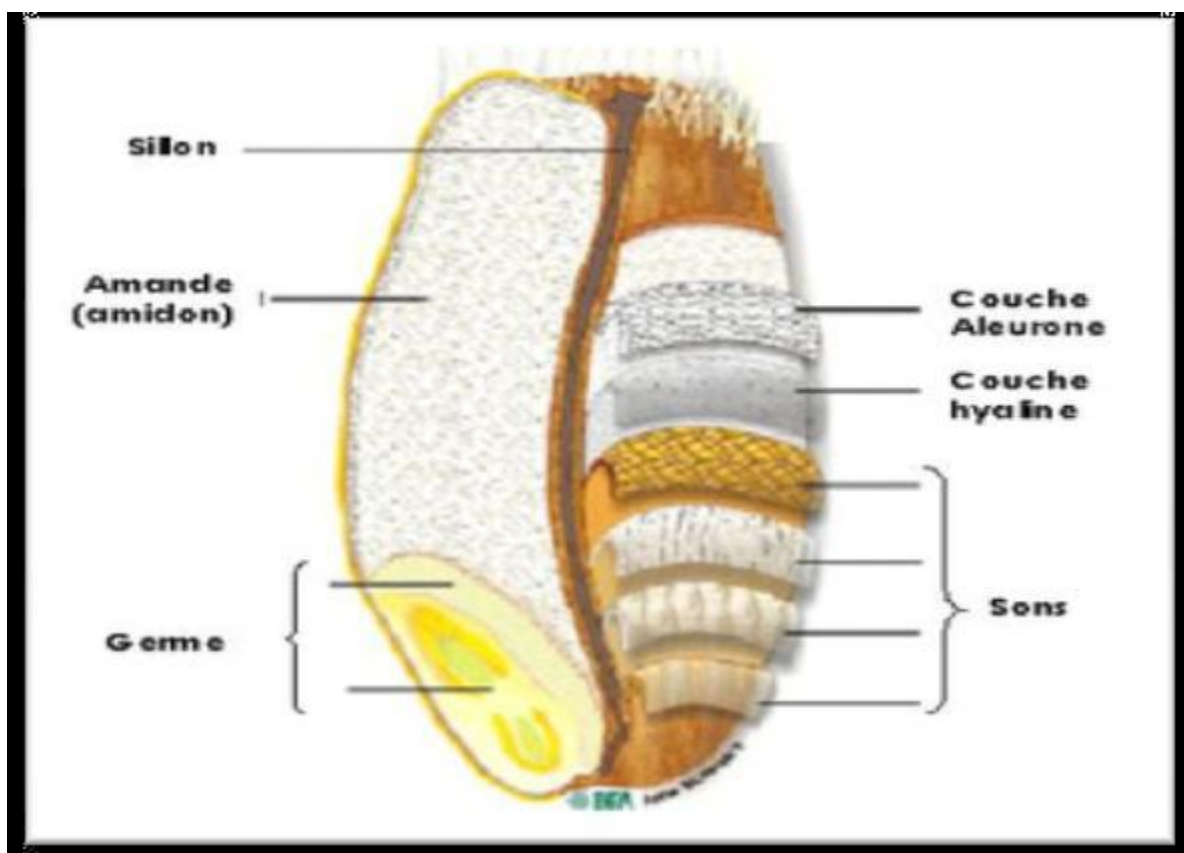


Figure 01 : Grain de blé (BARRON ET SURGET, 2005).

1.3. Composition biochimique du grain de blé tendre

Le grain de blé tendre est constitué principalement d'amidon (environ de 70%), de protéines (10 à 15%) et de pentosanes (8 à 10%) ; les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines se trouvent en quantités faibles (**FEILLET, 2000**).

1.3.1 Amidon

C'est le principal polysaccharide de réserve des végétaux supérieurs, le grain de blé et l'albumen en contiennent respectivement 67-68% et 78-82%.c'est un polymère fonctionnel le plus important des aliments en raison de son pouvoir gélifiant et fixateur d'eau. L'amidon de blé est constitué de granules de type A (80-90%) en poids et (15-20%) en nombre, les plus gros (20-25um) et lenticulaires, et de granules de type B, plus petits (2- 10 Um) et sphérique. (**FEUILLET ,2000**).

1.3.2 Protéines

Les grains de blé renferment un grand nombre de protéines : des protéines de structure, des protéines de réserves et des protéines biologiques actives. Ces protéines ne sont pas réparties dans le grain de blé uniformément, elles sont localisées dans le germe et l'assise protéique. Les protéines sont les seuls composés responsables à la fois de l'extensibilité, ténacité, élasticité et cohésion de la pâte. Parmi les différents types de protéines du blé, le gluten est le plus important tant du point de vue quantitatif (80-85% des protéines totales) que technologique (**BENHANIA, 2013**).

1.3.3 Lipides

Ils représentent une classe complexe hétérogène de constituants, que nous définirons comme étant insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants organiques (chloroforme, éther, benzène). Les lipides sont constitués de longues chaînes hydrocarbonées et contiennent un ou plusieurs acides gras ou des dérivés d'acides gras. Ils sont des constituants mineurs du blé puisqu'ils ne représentent en poids qu'entre 1.5 et 2.5 % (**DANIELS et al., 1971**), Cette faible quantité, est d'un intérêt particulier parce qu'elle modifie l'attitude des autres constituants. Le grain de blé tendre est riche en acides gras saturés, localisés dans le germe (15%) et les enveloppes(12%) (**CALVEL, 1980**).

1.3.4 Vitamines

Localisées surtout dans le germe, leur répartition varie selon le sol, le climat et la variété du blé. On retrouve surtout les vitamines : B1, B2, B5, PP, B6 et E. les variations dues aux traitements technologiques sont beaucoup plus marquées par ce que certaines vitamines sont très sensibles à la chaleur (**GODON, 1995**).

1.3.5 Matières minérales

Tous les éléments minéraux sont présents dans le grain à des proportions très différentes : 75% de Potassium, la matière sèche (300-600 mg/100g), le Phosphore (200-500 U) dont la majeure partie se trouve sous forme de phytate, le Souffre (100-250 U), Magnésium (100-150 U), Chlore (50-150 U) et Calcium (25-100 U). Les éléments minéraux existent à l'état combiné. Le blé peut être plus ou moins riche en minéraux selon le sol, le climat, la fumure et même l'année (**GODON, 1995**).

1.3.6 Les enzymes

Sont présentes en faible quantité, les enzymes plus importantes sont :

- Les protéases trouvées en quantité relativement faible.
- Les amylases : sont des hydrolases capables de dégrader spécifiquement les liaisons glucidiques de l'amidon (amylose et amylopectine) (**ADRIAN et POIFFAIT, 1996**).
- La lipase : est une enzyme lipolytique concentré dans la couche à aleurone et augmente au cours de germination (**POTUS et al., 1994**).

1.4 Le cycle biologique du blé

Le cycle de croissance du blé est divisé en trois grandes périodes :

1.4.1 Période végétative, qui va de la germination aux premières manifestations de l'allongement de la tige principale. Celle-ci comprend elle-même trois stades:

* Stade semi-levée, la germination se traduit par la sortie des racines séminales de la coleorhize et à l'opposé, par la croissance d'une jeune feuille, la coléoptile (**MOULE, 1971**).

* Stade levée-début tallage, La levée se fait réellement dès la sortie des feuilles à la surface du sol. La levée est notée quand 50% des plantes sont sorties de la terre. Pendant cette phase, les jeunes plants sont sensibles au manque d'eau qui provoque une perte des plantes et au froid qui provoque le déchaussage (**KAROU et al., 1998**).

Stade de tallage-début montée, La production des tallages commence à l'issue du développement de la troisième feuille (**GATES, 1995**). La première talle primaire (maitre-brin) apparaît à l'aisselle de la première feuille du blé. La 2ème et la 3ème talle apparaissent à l'aisselle de la 2ème et la 3ème feuille (**HAMADACHE, 2013**). Le fin tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (**GATE, 1995**).

1.4.2 Période reproductrice:

1.4.2.1 La phase montaison – gonflement

La montaison débute à la fin du tallage, elle est caractérisée par l'allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales. A cette phase, un certain nombre de talles herbacées commence à régresser alors que, d'autres se trouvent couronnées par des épis. Pendant cette phase de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus. La montaison s'achève à la fin de l'émission de la dernière feuille et des manifestations du gonflement que provoquent les épis dans la gaine (**CLEMENT-GRANCOURT et PRATS, 1971**).

1.4.2.2 La phase épiaison – floraison

Elle est marquée par la méiose pollinique et l'éclatement de la gaine avec l'émergence de l'épi. C'est au cours de cette phase que s'achève la formation des organes floraux (l'anthèse) et s'effectue la fécondation. Cette phase est atteinte quand 50 % des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille (**GATE, 1995**). Elle correspond au maximum de la croissance de la plante qui aura élaboré les trois quarts de la matière sèche totale et dépend étroitement de la nutrition minérale et de la transpiration qui influencent le nombre final de grains par épi (**MASLE-MEYNARD, 1980**).

1.4.2.3 Période de maturation

Allant de la fécondation à la maturité complète du grain. Durant cette période les substances de réserves (amidon, matières organiques) s'élaborent et migrent dans l'albumen parallèlement l'embryon se forme cette période comprend triossèche dans le grain. À la fin de cette phase l'amande encore verte a pris sa forme définitive l'albumen est devenu laiteux : c'est le stade laiteux. Une phase d'enrichissement en glucides et protides ; au cours de laquelle le poids d'eau dans le grain demeure sensiblement constant : c'est le « plier » de poids d'eau. À la fin de cette phase, l'amande s'est colorée en roux pale, ses enveloppes

résistant bien à la pression du doigt mais se déchirent à l'ongle : c'est le stade pâteux. Il marque la fin de migration des réserves ; la teneur en eau est alors de l'ordre de 40% du poids frais. Et une phase de dessiccation durant laquelle il y'a seulement diminution rapide du poids d'eau. (MOULLE, 1971)

2. Importance du blé tendre :

2.1 Importance du blé tendre dans le monde

Le blé tendre représente 95% des blés cultivés au niveau mondial (SHEWRY, 2009) elle est la 3ème production agricole mondiale et la 2ème production céréalière après maïs et avant le riz. Elles sont considérées une principale source de la nutrition humaine et animale (SLAMA *et al.*, 2005).

Dans le contexte d'une économie mondialisée, les échanges de blé se font à l'échelle planétaire et le blé est l'espèce pour laquelle les échanges commerciaux sont les plus importants. Les principaux pays exportateurs sont les Etats-Unis d'Amérique de 2.4 millions de tonnes. (FAO, 2014).

2.2 Importance du blé tendre dans l'Algérie:

Il représentait environ 80 % du blé totale importé en 2015, l'Algérie est un grand importateur de blé et se trouve dépendante du marché international. Cette situation risque de se prolonger à plusieurs années, faute de rendements insuffisants et des besoins de consommation sans cesse croissants devant une forte évolution démographique (CHELLALI, 2007).

Selon la FAO durant l'année 2014 l'Algérie est classée en quatrième position au niveau Africaines et à la dix-septième position au nival mondial avec une production.

3. Le stress hydrique

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

pendant le cycle de développement de la plante, C'est lié à l'évaporation de la demande. Cela conduit rapidement à la réduction de la croissance des plantes (**REKIKI, 1997**).

C'est un problème grave dans de nombreux environnements arides et semi-arides où les précipitations varient d'année en année. Les plantes sont exposées à des périodes de déficit en eau plus courtes ou plus longues (**BOYER, 1982**).

Les stress provoqués par un déficit en eau constituent une menace permanente pour la survie des plantes (**HOPKINS, 2003**). L'effet du stress dépend de son degré, sa durée, le stade de développement de la plante, le génotype et son interaction avec l'environnement (**YOKOTA et al., 2006**). Tous les processus de la plante sont affectés par un déficit hydrique, que ce soit le métabolisme, l'organogénèse (production d'organe par les méristèmes) et la morphogénèse (phénomène de différenciation, et de croissance aboutissant à des organes matures) (**DORE et al., 2006**).

Le stress hydrique se définit 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**).

3.1. Effet du stress hydrique sur la photosynthèse

La diminution de la photosynthèse, liée à la diminution de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire, La réduction de la photosynthèse, liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, est supposée dépendre à la fois de la fermeture des stomates, avec pour conséquence une diminution de la conductance à la diffusion du CO₂ et d'une limitation biochimique du chloroplaste à fixer le CO₂ (**TARDIEU et SIMONEAU, 1998 ; ESCOLANA et al., 1999 FLEXAS et MEDRANO, 2000**), La conductance stomatique diminue lors de l'abaissement du potentiel hydrique. Le contrôle de la régulation stomatique fait intervenir la turgescence cellulaire mais également des messagers racinaires, comme l'acide abscissique (ABA) (**DAVIS et al., 1994; SAUTER et al., 2001**).

Généralement, au champ, une période sèche a des effets en premier lieu sur l'état hydrique de la plante, avant même celui du sol (**KRAMER et BOYER, 1995**).

En effet, l'effet dépressif d'une contrainte hydrique sur la photosynthèse des végétaux résulte non seulement d'une baisse de la conductance stomatique, mais également d'une

altération de l'appareil photosynthétique et/ou d'une diminution de la surface foliaire (KAISER, 1987).

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

Sous un stress hydrique, une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé tendre (BOUSBA et al., 2009).

3.2. L'effet du stress hydrique sur la partie aérienne

Dans la nature, ce n'est pas que dans des situations extrêmes que des signes de stress hydrique sévères apparaissent au niveau de l'appareil aérien (CHRISTOPHE et MICHEL, 2000). L'organe qui extériorise premier sous l'effet déficit hydrique, c'est le limbe de la feuille, la feuille se redresse, se replie ou s'enroule selon le type de variété (GATE, 1995).

La croissance des plantes est contrôlée directement par le déficit hydrique du sol (KIES, 1982). Car il réduit la croissance des jeunes pousses (HSIAO, 1973), la division cellulaire, la taille des feuilles, leur surface verte et la teneur en eau de tous les organes de la plante (KIES, 1982). Le stress hydrique diminue l'indice foliaire et la durée de vie de la feuille (TURNER, 1979). La répercussion du déficit hydrique se traduit par la diminution de la matière sèche durant la période végétative et reproductrice et par conséquent diminue les rendements (TANNER et SINCLAIR, 1983). La sécheresse réduit la hauteur et le diamètre de la tige, raccourcit les entre-nœuds, réduit le nombre des feuilles et la surface foliaire, et augmente le nombre de stomate par unité de surface (GATE, 1995). Le déficit hydrique réduit fortement les valeurs de rapport MSR/MSA (BENLARIBI et al., 1999).

D'après DERAISSAC (1992), sous l'effet de stress hydrique la plante perd la capacité d'équilibre, son bilan hydrique et sa turgescence s'annule, elle passe de l'état de productif à l'état de survie, qui est le facteur responsable des pertes de rendement.

3.3. L'effet du stress hydrique sur le système racinaire

L'effet du stress provoque un grand développement en longueur du système racinaire pour permettre une exploitation efficace de ce dernier à extraire l'eau des profondeurs du sol.

En sol continuellement sec le système racinaire reste superficiel, les racines sont les couches courtes. Les racines recherchent toujours l'eau, quand elles en manquent, elles descendent dans les couches profondes du sol à condition que la plante ait déjà acquis un développement suffisant pour alimenter la multiplication cellulaire résultant de cet allongement. En effet, l'augmentation de la profondeur de l'axe principale et de la fonte racinaire permet dans ce cas une meilleure utilisation des réserves en eau des couches profondes du sol (**BALDY, 1973**).

BENLARIBI (1990) constate que les variétés qui ont un enracinement important en conditions d'alimentation hydriques favorables, ont un système racinaire plus réduit par le déficit hydrique. Cela ne veut pas pour autant dire que la croissance des racines est inhibée par le déficit hydrique. On assiste même, des fois, à une accumulation des matières sèches au niveau des racines (**LEGG et al., 1979**). La croissance racinaire est souvent orientée dans le sens d'un remodelage de l'ensemble du système racinaire le nombre des racines diminue, le volume racinaire est également réduit (**LEGG et al., 1979**).

3.4. L'effet du stress hydrique sur le rendement du blé tendre et ses composantes :

Le stress hydrique a un effet dépressif sur le rendement et ses composantes (**CHENNAFI et al., 2006 ; KARA, 2000**) ces composantes sont déterminées à différentes étapes de la croissance et donc affectée de différentes manières par la sécheresse, selon la période durant laquelle cette dernière agit (**AUSTIN, 1989**).

En effet le rendement est la résultante de trois composantes principales qui sont le nombre d'épis, celui des grains/épi et le poids du grain (**FELLAH et al., 2002 ; BENMAHAMMED et al., 2010**). Ces composantes se forment à des différentes phases végétatives réparties tout le long du cycle de la plante. Tout déficit hydrique qui affecte la formation d'une ou plusieurs composantes, affecte le rendement. La phase de maturation correspond à la période de remplissage du grain. L'effet du déficit hydrique, au cours de cette dernière phase, se traduit par une diminution de la taille du grain (**BAHLOULI et al., 2005**).

D'après **GRIGNAC (1986)**, la diminution du poids du grain est liée au dessèchement de la dernière feuille, du dernier entre-nœud, et de l'épi.

Les travaux de **BEN NACEUR et al. (1999)** ont montré qu'une sécheresse survenant au stade jeune (tallage) réduit surtout la croissance en hauteur et le nombre d'épis par unité de surface. Par contre, lorsqu'elle survient aux stades gonflement ou anthèse, elle réduit, plutôt le poids des épis et le rendement en grains. Ainsi, Le stade juste avant épiaison (gonflement) est le stade le plus sensible au déficit hydrique puisqu'une sécheresse survenant à ce stade peut réduire les rendements en grains d'environ 70% par rapport au témoin (**BEN NACEUR et al., 1999**). Ces stress réduisent les assimilats stockés dans les tiges après l'épiaison et affectent l'appareil photosynthétique au cours de la phase de remplissage (**BAHLOULI et al., 2006**). Le nombre d'épillets fertiles est réduit lorsque la sécheresse se produit pendant la phase de différenciation des épillets se traduisant par une réduction du nombre de grains par épi (**BOUZERZOUR et al., 2002**). Le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne un remplissage des grains et/ou de la durée de remplissage (**TRIBOÏ, 1990**), provoquant ainsi l'échaudage (**BENBELKACEM et KELLOU, 2001**), Ce qui entraîne une réduction du rendement. Par ailleurs, et pour bien se développer, la plante doit disposer de mécanismes d'adaptation qui lui permettent de supporter la sécheresse (**SLAMA et al., 2005**).

3.5. L'effet de stress hydrique sur le poids de grains et le nombre de grain par l'épi :

Chez les Plusieurs auteurs le blé dépend un effet négatif de l'impact du manque d'eau sur les fleurs épillets fortement du nombre de grains par épi, du poids de grains par épi et du nombre d'épis par m² (**TRIBOÏ, 1990**). Ainsi, un déficit hydrique à intense détermine et la baisse du nombre de grains par épi. À la fin de la montaison, 10 à 15 Jours avant l'épiaison, la sécheresse réduit le nombre de fleurs fertiles par épillet (**DEBAEKE et al., 1996**). Le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et de la durée de remplissage (**TRIBOÏ, 1990**). Au cours du remplissage des grains, le manque d'eau a pour conséquence une réduction de la taille des grains (échaudage), réduisant par conséquent le rendement (**GATE et al., 1993**).

4. Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu (**TURNER, 1986**). Selon **HASSANI et al. (2008)**, elles peuvent échapper au période de l'année ou le stress se produirait en raccourcissant leur cycle de développement achevant la phase de reproduction avant que le stress physiologique du déficit hydrique ne vienne la perturber voire l'interrompre les variétés adaptées aux régions arides ont cette capacité de réaliser un cycle précoce et court, ce qui a cependant pour contrepartie de réduire le rendement. Elles peuvent éviter le stress, c'est-à-dire résister à un épisode sera minimisée par la fermeture des stomates, par un port dressé ou l'enroulement des feuilles pour limiter l'énergie lumineuse incidente. La densification des trichomes, poils de structure parfois complexe à la surface des feuilles, ou leur chute programmée dès qu'elles ont atteint l'âge adulte sont de nature à limiter fortement ces pertes. Les plantes vont également chercher à économiser l'eau et maximiser son absorption en recyclant des métabolites ce qui économise l'eau qui aurait été nécessaire à leur néo synthèse, la plasticité du système racinaire et ses capacités d'expansion en profondeur dans les couches du sol encore humides est particulièrement importante dans les zones semi-arides ou l'essentiel des gains de productivité tient à l'amélioration génétique de ce trait.

Enfin les plantes vont tenter de tolérer le stress une fois établi certains ont développé un certain nombre de mécanismes qui leur permettent de retarder, voire de supporter la déshydratation de leurs tissus et à l'extrême, survivre à l'état déshydraté en accumulant certains métabolites solubles comme le tréhalose.

Deux stratégie adaptation ; l'esquive permet à la plante de réduire ou d'annuler les effets de la contrainte hydrique par une bonne adaptation de son cycle de culture à la longueur de la saison des pluies, la stratégie de l'évitement est principalement liée d'une part, à la réduction de la transpiration et d'autre part, à une optimisation de l'absorption d'eau par les racines la diminution de la transcription est principalement liée à la fermeture des stomates (**HASSANI et al., 2008**), La résistance ou la tolérance à la déshydratation est liée à une aptitude plus ou moins grande du génotype à maintenir l'intégrité de ses structures (membranes) et de ses fonctions (photosynthèse) (**MONNEVEUX, 1991**).

Les variétés capables d'échapper à la sécheresse intervenant lors du remplissage et de la maturation du grain. en d'autres termes capables d'éviter l'échaudage consécutif à l'action du manque d'eau et des hautes températures en fin de cycle. et soit des variétés capables de

tolérer ; cette tolérance correspond à une capacité de la plante à maintenir ses activités métaboliques et reprendre de façon normale et soit des variétés capables de résister , cette résistance constitutionnelle, serait liée au rôle conjuguée et souvent complémentaire de facteurs morphologiques ou biochimique s'intervenant au niveau de la plante entière et au niveau cellulaire (**MONNEVEUX et NEMMAR, 1986**). Deux autres termes qui demandent à être expliquées sont adaptation et acclimatation, adaptation se rapporte à des modifications de structure ou de fonction héritable, qui augmentent l'adéquation de l'organisme dans un environnement stressant. et l'acclimatation, par ailleurs se rapporte à des modifications physiologiques non héritable, qui interviennent au cours de la vie d'un individu. Le processus d'acclimatation à un stress est appelée résistance et les plantes qui se sont acclimatées à un stress sont dites résistantes. Enfin une autre controverse concernant la terminologie porte sur le mot stratégie.

Le terme stratégie est souvent utilisé pour décrire la façon dont une plante apporte une réponse positive à un stress particulier (**HOPKINS, 2003**).

La plante adopte deux types de stratégies selon l'ampleur et la durée du déficit hydrique ; une première réponse par la fermeture des stomates avant que l'état hydrique de la feuille ne soit altéré, si le déficit s'amplifie et que le statut hydrique de la feuille est affecté ; une deuxième réponse, impliquant une synthèse d'ABA au niveau racinaire, induit des changements au niveau de l'initiation et de l'élongation foliaire, ce qui se répercute sur la taille des feuilles (**ALEM et al., 2002**).

4.1. Adaptations phonologiques

Pour éviter les périodes critiques du manque d'eau, certaines variété s'accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique.

La précocité constitue, de ce fait, un important mécanisme d'esquive du déficit hydrique de fin de cycle. La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. En effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et ils sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (**BAJJI, 1999**). De ce fait le rendement grain est positivement corrélé à la précocité d'épiaison (**GONZALEZ, 1999**). La précocité de l'épiaison est efficacement utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions des zones sèches (**BENSALEM et al., 1997 ; ALI DIB, 1992**).

4.2 Adaptations morphologiques

L'adaptation peut prendre forme, suite à des modifications d'ordre

4.2.1 Au niveau de la plante

Chez le blé tendre l'enroulement des feuilles chez certaines variétés peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation, il entraîne une diminution de 40 à 60 de la transcription (AMOKRANE *et al.*, 2002) la hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement dans les zones arides, ceci s'expliquerait par là qu'une paille haute s'accompagne souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure (BAGGA *et al.*, 1970)

4.2.2. Au niveau de la structure

Il y'a des principales modifications qui observée sur le structure des plantes ayant subi un déficit hydrique, concerne l'altération des propriétés physico-chimiques des parois cellulaires (PAIVA *et* DIXON, 1995) ces changements peuvent être induits par des modifications au niveau des enzymes impliquées dans la biosynthèse des monolignols ou dans leurs assemblage dans la paroi .l'augmentation de l'expression de ces gènes peut être reliée à l'arrête de la croissance et à l'épaississement de la paroi(PAIVA *et* DIXON, 1995).

4.3. Adaptation physiologiques

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions des sécheresses provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante (HENCH, 1987).

L'augmentation de la production, dans ces conditions, dépend des mécanismes de tolérance qui assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire (SORREL *et al.*, 2000). Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (TURNER, 1986). La diminution de la transpiration engendre la réduction de la photosynthèse, et donc du rendement. Cependant, il apparaît que les génotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le déficit hydrique présentent une meilleure efficacité.(OSMOND, 1994).

Le stress hydrique provoque la mise en place d'un état de régulation hydrique de la plante qui se manifeste par la fermeture stomatique et un ajustement du potentiel osmotique

(**BRISSON et DELLCOLLE, 1992**). Les osmolytes, les plus importants, qui s'accumulent chez les céréales en conditions de déficit hydrique, sont représentés, entre autres, par le sucre et la proline (**KAMELI et LOSEL, 1996**). Ces osmolytes jouent un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation de la plante au manque d'eau (**MORGAN, 1984 ; ZHANG *et al.*, 1999**). L'existence chez les céréales d'une variation intra spécifique pour l'accumulation de la proline sous l'effet du déficit hydrique suggère la possibilité d'une sélection, sur la base de ce caractère, des génotypes performants en condition de stress hydrique (**BERGARRECHE *et al.*, 1993**).

CHAPITRE II

Matériels et Méthodes

1. Matériel végétal utilisé

Le matériel végétal utilisé dans le travail est constitué de six génotypes de blé tendre, d'origine et de comportement vis-à-vis du déficit hydrique, différents. Parmi la collection s'intègre une variété locale Algérienne, Hidhab. Les génotypes utilisés et leur pédigrée sont illustrés dans le tableau 2.

Tableau 2: Les variétés ou lignées utilisées

N°	Variétés ou lignée	Pédigrée
V1	ACHTAR*3//KANZ/KS85-8-5/4/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92/5/...	CMSA05M00661T-050Y-040ZTM-040ZTP-39ZTM-01Y-0B
V2	SOKOLL*2/TROST	CMSA05Y01186T-040ZTOPY-040ZTM-040SY-12ZTM-03Y-0B CMSS05B00592S-099Y-099M-099Y-099ZTM-1/WGY-0B
V3	GK ARON/AG SECO 7346//2180/4/2*MILAN/KAUZ//..	CMSA05Y00954T-040M-040M-040ZTP0Y-040ZTM-040SY9ZTM-04Y-..
V4	Hidhab	Témoin
V5	MAHON DEMIAS/BOUMERZOUG	KB05-18-0OS-0OS-0KB-0KB-0KB
V6	HIDHAB/AKHAMOKH	KBO5-04-0OS-0OS-0KB-0KB-0KB

2. Conditions d'expérimentation

L'expérimentation a été menée dans une serre semi-automatique au niveau de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université **ibn khaldoun de Tiaret**. Les grains des six génotypes ont été désinfectés et semés directement dans des cylindres remplis d'un substrat constitué de sable, matière organique et sol à des proportions respectives de 3 :1 :1 et ayant une capacité de rétention en eau de .La profondeur de semis retenue est 1cm de la surface du substrat.

Les cylindres ont été répartis selon trois traitements avec et sans déficit hydrique (SDH, ADH1, ADH2). Les cylindres des trois traitements ont été irrigués à la hauteur de 100%CC jusqu'au fin tallage début montaison. Les régimes d'irrigation ont été modifiés, le traitement témoin (SDH) continue à percevoir l'irrigation de telle sorte à le maintenir à

100%CC. A l'échelle des cylindres des deux autres traitements on a procédé par un arrêt d'irrigation progressive de telle manière à obtenir à la fin de l'expérimentation des humidités pondérales de 60%CC (ADH1) et 30%CC (ADH2). Au niveau de chaque traitement hydrique les cylindres ont été répartis de façon aléatoire où chaque génotype est répété 3 fois. Le nombre total des cylindres de l'expérimentation est de 54.



Photo01 : Le dispositif expérimental de l'essai au niveau de serre

3. Mesures effectuées

A la fin de l'expérimentation, au stade fin montaison, des mesures ont été effectuées et qui se rapportent à :

3.1 Paramètre physiologique

3.1.1 La capacité de rétention du substrat

Un échantillon du substrat de l'expérimentation est prélevé et humecté avec de l'eau et laissé essuyer pendant 12h. un échantillon de ce substrat a été prélevé et pesé (Pf) et mis ensuite dans une étuve (105°C) pendant 24h. L'échantillon est pesé (Ps). La capacité de rétention en eau (CRE) est déterminée par la rapport suivant :

$$\text{CRE (\%)} = (\text{Pf} - \text{Ps} / \text{Ps}) \times 100$$

3.1. 2. La teneur relative en eau

C'est un paramètre indicateur de la résistance des végétaux vis-à-vis du déficit hydrique (AÏD et BERKA, 2009). Les géotypes qui maintiennent leur (TRE) élevée lors du stress hydrique seront probablement les plus tolérants et seront les plus productifs (BENMAHAMMED et al., 2008; SASSI et al., 2012). Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter sa perte par transpiration (TURNER, 1986).

La teneur relative en eau de la feuille étandard a été réalisée au stade épiaison et déterminée par la méthode de (BARRS, 1968). Les feuilles sont coupées à la base du limbe et immédiatement pesées pour obtenir le poids frais (Pf).

Ces feuilles sont mises par la suite dans des tubes à essai contenant de l'eau distillée et Placées à l'obscurité dans un endroit frais (4°C). Après 4 heures, les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées de nouveau pour obtenir le poids en pleine turgescence (Ppt). Les feuilles sont en suite étuvées (80°C pendant 48h) et repesées pour donner le poids sec (Ps). La teneur relative en eau est déterminée par la formule suivante :

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

3.1.3 Le taux de déperdition d'eau par la feuille excisée (RWL)

Ce paramètre physiologique permet une estimation des différents types de transpiration (stomatique, cuticulaire, résiduelle) à partir de la feuille. Il est déterminé à partir des feuilles ayant servi à la détermination de la teneur relative en eau. Les feuilles réhydratées au point de saturation (Ppt) sont pesées pour déterminer le poids initial (Pi) et sont ensuite étalées sur une paille sous les conditions du laboratoire (température, humidité). Après 60mn et 120mn d'exposition, les feuilles sont repesées pour donner les poids P_{60mn} et P_{120mn} . Enfin la surface foliaire (SF) a été calculée. Le taux de déperdition d'eau a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{RWL1} = (Pi - P_{60mn}) / SF \times 60mn$$

$$\text{RWL2} = (Pi - P_{120mn}) / SF \times 120mn$$

3.1.4 Le dosage des sucres solubles

Le dosage des sucres solubles (**DUBOIS et al., 1956**) est réalisé sur les mêmes génotypes, ayant fait l'objet des autres études physiologiques a été effectué sur l'avant dernière feuille au stade montaison.

Sur le tiers médian de la feuille, on prélève 0,1g du matériel végétal frais et est placé dans 5,25ml d'éthanol à 80% pendant 24 heures. L'extrait récupéré (A) est dilué dix (10) fois avec l'éthanol à 80%. Un réactif (B) est préparé à partir de 2g d'antrone dans 1000 ml de H₂SO₄ pur, qu'on laisse se solubiliser pendant 4 heures avant l'opération de dosage. On prélève 2ml de l'extrait A additionné à 4 ml de réactif B, l'ensemble est maintenu dans la glace fondante, après agitation, les tubes sont placés dans un bain-marie à 92°C pendant 8min.

La solution est refroidit à la température ambiante et à l'obscurité pendant 30min. La lecture de la solution ainsi obtenue se fait par spectromètre à une longueur d'onde de 585nm. La transformation des densités optiques en unité de $\mu\text{mol/gMS}$ est effectuée par utilisation de la courbe d'étalonnage.



Photo 02: tubes d'extraction des sucres simples

3.2 Les paramètres micro-morphologiques

Les paramètres micro-morphologiques de la feuille ont été étudiés sur les empreintes des faces, ventrale et dorsale de la feuille. La partie médiane de la feuille a été nettoyé par application d'un ruban adhésif et son retirement. Les empreintes des deux faces sont prélevées par application d'une fine couche de vernis à ongle dilué aux sites nettoyés après séchage, la couche du vernis est retirée par application d'un ruban adhésif transparent (scotch), étale et collé sur une lame. Les photos des empreintes contenues dans sur le vernis sont prises par un

microscope doté d'un dispositif photo de type Leika. Les photos sont ensuite observées et les paramètres mesurés ont portés sur :

- La densité des stomates par unité de surface (champ microscopique)
- Le nombre de files cellulaires séparant deux files consécutives de stomates.

3.3 Les paramètres racinaires

A la fin de l'expérimentation au stade fin montaison, les cylindres sont vidées, les racines sont récupérées et délicatement lavées. Les mesures sur les paramètres morphologiques ont portées sur :

- La longueur de l'axe racinaire
- Le volume total des racines
- Le nombre de racines par plant

Les deux parties, aérienne et racinaire sont séparées et leurs matières sèches respectives ont été déterminées par passage à l'étude à une température de 80°C pendant 48h. Enfin le rapport Matière sèche racinaire/Matière sèche aérienne a été déterminé.

CHAPITRE III

Résultats et Discussions

1. Paramètres physiologiques

1.1 La teneur relative en eau

L'analyse des résultats (Tableau03) démontre que ce paramètre physiologique est plus influencé par la situation hydrique appliqué ($p < 0.001$) que par la nature des génotypes testés. En effet, l'application du déficit hydrique s'accompagne d'une nette réduction de la teneur relative en eau. Toutefois cette réduction varie à travers les génotypes testés.

Les résultats moyens (tableau 04) indiquent que la teneur relative en eau, dans le lot conduit à 100%CC se maintient à niveau supérieur à 90% où elle atteint une valeur maximale de 97.49% inscrite chez le génotype B. Tandis que la valeur minimale sous la même situation hydrique est donnée par le génotype A avec 91.09%.

Dans le lot conduit à 60%CC, on constate une réduction des valeurs moyennes de la teneur relative en eau qui atteint un taux de 5%. Les valeurs moyennes relevées se situent entre des extrêmes de 91.35% (génotype D) et 93.83% observée chez le génotype A.

Dans le traitement hydrique conduit à 30%CC et considéré comme situation de déficit hydrique sévère, la réduction de la teneur relative en eau a concerné l'ensemble des génotypes et a atteint des taux élevés. Ainsi, le génotype se distingue parmi l'ensemble en inscrivant la réduction la plus élevée avec 19.58% et ce enregistrant une valeur de sa teneur relative en eau estimée à 74.17%. La plus faible réduction de la teneur relative en eau sous ces conditions hydriques a été observée chez le génotype B avec un taux de 5.37% et ce en inscrivant une donnée moyenne de sa teneur évaluée à 88.10%.

Tableau 03: effets du génotype, de la situation hydrique et de leur interaction sur les paramètres physiologiques

Paramètres	Effet génotype	Effet hydrique	Effet de l'interaction génotype x hydrique
Teneur relative en eau	2,05ns	65.18***	1.37ns
RWL1	2.490*	4.663**	0.773NS
RWL2	2.279ns	6.036**	0.420ns
Taux de sucres	9.529***	17.798***	2.113**

Tableau 04: Résultats moyens de la teneur relative en eau des six génotypes et sous trois situations hydriques

Génotypes	SH	TRE (%)	Evolution (%)
A	100%CC	91,09783	
A	60%CC	93,83152	-3,00
A	30%CC	79,26877	12,99
B	100%CC	97,49112	
B	60%CC	93,09977	4,50
B	30%CC	88,10351	5,37
C	100%CC	96,18984	
C	60%CC	92,87210	3,45
C	30%CC	81,91932	11,79
D	100%CC	96,35341	
D	60%CC	91,34900	5,19
D	30%CC	82,18605	10,03
E	100%CC	95,49713	
E	60%CC	92,23505	3,42
E	30%CC	74,17389	19,58
F	100%CC	96,58745	
F	60%CC	92,74830	
F	30%CC	79,34982	

1.2 Le taux de déperdition d'eau par la feuille excisée

Le taux de déperdition d'eau par la feuille excisée représente un paramètre efficace pour le criblage des géotypes de blé plus productifs sous les conditions de déficit hydrique, particulièrement sévère. Elle représente une méthode d'estimation de la transpiration, particulièrement cuticulaire et permet de déterminer les mécanismes intrinsèques de sa gestion.

L'analyse des résultats obtenus de la détermination de ce paramètre, pendant deux périodes (RWL1, RWL2) (tableau 03) démontre que leur sensibilité aux facteurs, géotype et situation hydrique, est variable. Ainsi la première phase de la perte d'eau (RWL1) s'avère être conditionnée par la nature des géotypes testés et la situation hydrique appliquée. La deuxième phase de déperdition d'eau s'annonce par contre variable sous le seul effet de la nutrition hydrique des plantes.

Concernant la perte d'eau par la feuille excisée durant la première phase (RWL1), les résultats moyens indiquent que dans le lot témoin (100%CC), les valeurs oscillent entre un maximum de 0.0935mg/cm²/mn (géotype D) et un minimum de 0.0564mg/cm²/mn (géotype E). Dans le lot conduit sous le déficit hydrique de 60%CC, ces valeurs extrêmes sont de l'ordre de 0.0714mg/cm²/mn (géotype D) et 0.041mg/cm²/mn (géotype F). Enfin sous les conditions de déficit hydrique sévères, les valeurs limites de ce paramètre sont détenues par les géotypes E et D avec respectivement 0.0536mg/cm²/mn et 0.0945mg/cm²/mn.

Les résultats moyens (tableau 05) de la déperdition d'eau pendant la deuxième phase (RWL2) s'avère plus faible que ceux inscrits lors de la première phase. Ainsi, sous les conditions hydriques optimales (100%CC), les valeurs vacillent entre 0.0402mg/cm²/mn (géotype E) et 0.0593mg/cm²/mn (géotype D). Dans le traitement hydrique maintenu à 60%CC, les valeurs moyennes enregistrées sont comprises entre 0.0357mg/cm²/mn (géotype C) et 0.0473mg/cm²/mn (géotype D). Dans le lot conduit sous 30%CC, le taux de déperdition d'eau s'exprime par des valeurs extrêmes de 0.0409mg/cm²/mn et 0.0611mg/cm²/mn, inscrites respectivement par les géotypes, E et A.

Tableau 05 : résultats moyens des paramètres physiologiques

Génotypes	Situation hydrique	Taux de sucres $\mu\text{mol/gMS}$	Accumulation $\mu\text{mol/ gMS}$	RWL1	RWL2
A	100%CC	0,1927		0,0845	0,0493
A	60%CC	0,6930	0,5003	0,0618	0,0412
A	30%CC	0,9343	0,7416	0,0806	0,0611
B	100%CC	0,7010		0,0866	0,0508
B	60%CC	0,7597	0,0587	0,0618	0,0392
B	30%CC	0,8763	0,1753	0,0633	0,0461
C	100%CC	0,5103		0,0781	0,0482
C	60%CC	0,5910	0,0807	0,0511	0,0357
C	30%CC	0,6870	0,1767	0,0725	0,0542
D	100%CC	0,6873		0,0935	0,0593
D	60%CC	0,9200	0,2327	0,0714	0,0473
D	30%CC	1,0220	0,3347	0,0945	0,0573
E	100%CC	0,7507		0,0564	0,0402
E	60%CC	1,2300	0,4793	0,0683	0,0378
E	30%CC	1,1657	0,415	0,0536	0,0409
F	100%CC	0,7597		0,0720	0,0460
F	60%CC	0,9063	0,1466	0,0410	0,0373
F	30%CC	0,7943	0,0346	0,0681	0,0474

1.3 Accumulation des sucres solubles

L'accumulation des osmolytes compatibles et particulièrement les sucres solubles, constitue un paramètre déterminant dans la tolérance à la sécheresse chez les plantes cultivées. Ils sont impliqués dans l'ajustement osmotique par abaissement du potentiel osmotique cellulaire et l'accroissement par conséquent des aptitudes de rétention d'eau par les plantes.

L'analyse des résultats obtenus pour l'accumulation des sucres dans cette étude (tableau 03) démontre une nette variation de cette capacité qui est imposée par la nature des génotypes ($p < 0.001$) de la situation hydrique ($p < 0.001$) et de leur interaction ($p < 0.01$). Les résultats (tableau 05) indiquent que l'accroissement du déficit hydrique s'accompagne d'une augmentation des sucres solubles accumulés.

Au niveau du lot conduit sous 60%CC, les taux d'accumulation varient entre 0.0587 $\mu\text{mol/gMS}$ et 0.5003 $\mu\text{mol/gMS}$, valeurs détenues respectivement par les génotypes B et A. Dans le lot conduit à 30%CC, cette accumulation s'annonce encore plus importante où elle atteint une valeur maximale de 0.7416 $\mu\text{mol/gMS}$ observée chez le génotype A. Sous les mêmes conditions hydriques, la plus faible capacité d'accumulation des sucres réducteurs a été observée chez le génotype F avec une valeur de 0.0346 $\mu\text{mol/gMS}$.

2. Les paramètres micro-morphologiques de la feuille

L'analyse des résultats obtenus des mesures des paramètres micro-morphologiques de la feuille (tableau 06) démontre que leurs élaborations ne sont que faiblement influencées par la nature des génotypes testés ainsi que les traitements hydriques appliqués.

Concernant la densité des stomates par unité de surface, les résultats moyens illustrent qu'elle est plus élevée au niveau de la face ventrale de la feuille que sur sa face dorsale.

Ainsi, au niveau de la face ventrale et dans le traitement hydrique témoin (100%CC), la densité est délimitée par des valeurs extrêmes de 33 stomates (génotype E) et 42 stomates (génotype A). Pour le même paramètre et sous le traitement hydrique conduit à 60%CC, la densité varie entre 36 stomates (génotype E) et 44 stomates (génotype C). Enfin, dans le lot conduit à 30%CC, la densité au niveau de cette face est comprise entre 31 (génotype A) stomates et 47 stomates (génotype E).

Les résultats de ce même paramètre au niveau de la face dorsale indiquent que les valeurs au niveau du traitement hydrique témoin (100%CC) oscillent entre 26 stomates

(génotype B) et 36 stomates (génotype F). Au niveau des feuilles des plantes conduites sous le régime hydrique déficient de 60%CC, cette densité est comprise entre les valeurs extrêmes de 24 et 33 stomates enregistrées respectivement par les génotypes, E et F. Dans le traitement hydrique de 30%CC, la densité des stomates au niveau de la face ventrale fluctue entre les valeurs limites de 26 et 36 stomates relevées respectivement par les génotypes, A et E.

Le nombre de files de cellules de revêtement séparant les files de stomates constitue un paramètre micro-morphologique concerné dans cette étude. Au niveau de la face dorsale son expression sous les conditions hydriques témoin (100%CC) s'intercale dans l'intervalle délimité par les valeurs de 5 et 10 files cellulaires, observées dans l'ordre chez les génotypes, F et B. Les valeurs maximales de paramètre au niveau des traitements hydriques de 60%CC et 30%CC sont respectivement, 8 (génotype E) et 8 (génotype C) files de cellules. A l'opposé, les valeurs minimales sont de 6 (60%CC) et 5 (30%CC), relevées toutes chez le même génotype A

Les valeurs de ce paramètre au niveau de la dorsale de la face ventrale et dans le lot hydrique témoin (100%CC) varient entre 4 (génotype F) et 6 files de cellules (génotypes, D, E et B). Les valeurs obtenues dans le lot hydrique de 60%CC s'étalent de 4 (génotype C) à 6 files de cellules (génotypes A et E). Enfin, sous les conditions de déficit hydrique sévère (30%CC), ces valeurs limites atteignent 4 (génotypes, A, B et D) et 7 files de cellules (génotypes, F et C).

Tableau 06: effets du génotype, de la situation hydrique et de leur interaction sur les paramètres micro-morphologiques de la feuille

Paramètres	Effet génotype	Effet hydrique	Interaction génotype x hydrique
DSFD	1.041ns	0.174ns	0.841ns
FCSFD	2.05ns	0.333ns	2.133*
DSFV	0.176ns	0.278ns	0.896ns
FCSFV	0.472ns	0.411ns	1.702ns

FCSFD : densité des stomates de la face dorsale ; FCFD : files cellulaires séparant les stomates de la face dorsale ; DSFV : densité des stomates de la face ventrale ; FCSFV : files cellulaires séparant les stomates de la face ventrale

Tableau 07: Résultats moyens des paramètres micro-morphologiques de la feuille

Génotypes	Situation hydrique	DSFD	FCSFD	DSFV	FCSFV
A	100%CC	28	6	42	5
A	60%CC	30	6	37	6
A	30%CC	26	5	31	4
B	100%CC	26	10	39	6
B	60%CC	30	7	39	5
B	30%CC	29	6	33	4
C	100%CC	29	6	37	6
C	60%CC	32	7	44	4
C	30%CC	33	8	37	7
D	100%CC	31	6	36	6
D	60%CC	31	6	39	5
D	30%CC	31	7	35	4
E	100%CC	32	6	33	6
E	60%CC	24	8	36	6
E	30%CC	36	6	47	5
F	100%CC	36	5	39	4
F	60%CC	33	6	38	5
F	30%CC	32	8	37	7

DSFD : densité des stomates de la face dorsale ; FCFD : files cellulaires séparant les stomates de la face dorsale ; DSFV : densité des stomates de la face ventrale ; FCFV : files cellulaires séparant les stomates de la face ventrale.

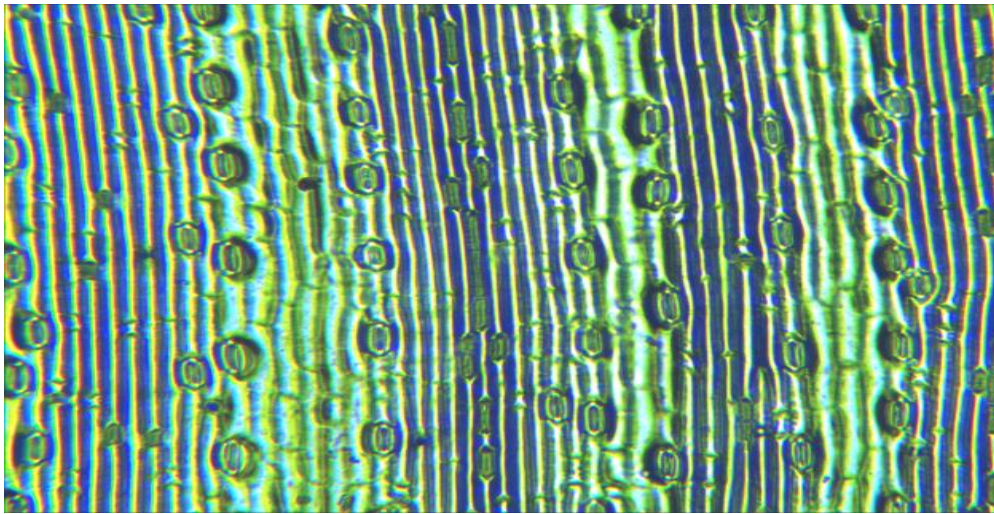


Figure02: densité des stomates de la face dorsale files cellulaires séparant les stomates de la face dorsale (Grossissement40)

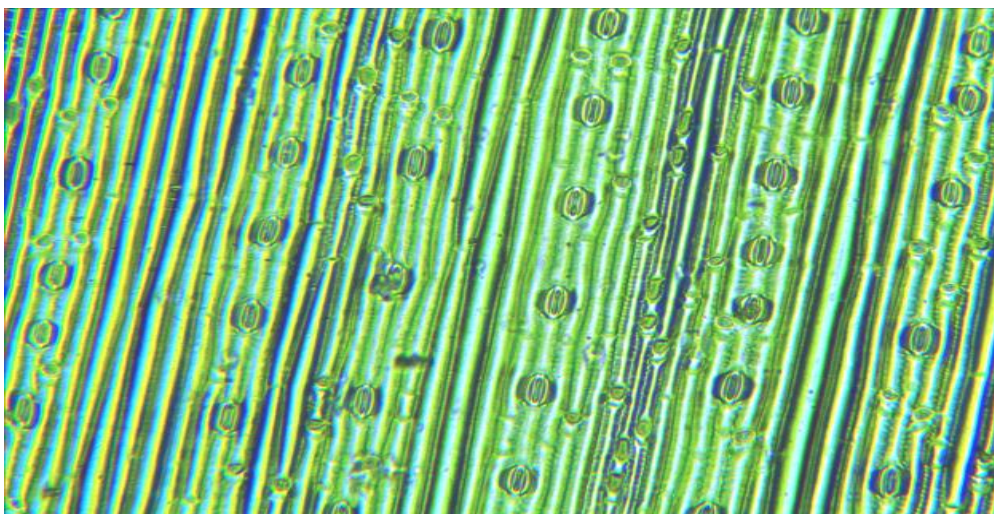


Figure03: Densité des stomates de la face ventrale et files cellulaires séparant les stomates de la face ventrale (Grossissement 40).

3. Les paramètres racinaires

3.1 La longueur de l'axe principal des racines

Le remodelage du système racinaire est l'un des principaux paramètres qui conditionnent la tolérance des plantes au déficit hydrique. C'est à travers cet organe de la

plante que se déterminent les capacités d'absorption d'eau et s'établit le bilan hydrique de la plante. Les variations morphologiques, physiologiques et structuraux de cet organe ont été prouvées être impliquées dans les variations de la capacité d'absorption d'eau par la plante suivant les variations de l'état hydrique du substrat dans lequel vit la plante. Des études ont démontré l'existence d'une grande variabilité intra spécifique dans l'expression des paramètres racinaires. Les paramètres étudiés dans le présent travail se rapportent à la longueur des racines, leur nombre par plant et leur volume. L'analyse des résultats obtenus (tableau 08) démontrent que ces paramètres ne semblent nullement influencés par les différents régimes d'alimentation hydrique appliqués. Ceci indique que malgré la déclaration du déficit hydrique (60%CC, 30%CC), la morphologie des racines globales n'a manifesté qu'une faible sensibilité quant à sa morphogénèse.

Les résultats moyens obtenus (tableau 09) illustrent que la longueur de l'axe racinaire ne varie que faiblement à travers les génotypes testés et entre les trois situations hydriques adoptés. Dans le traitement témoin (100%CC) les valeurs de la longueur varient entre 108cm (génotype B) et 137.67cm (génotype C). Les valeurs extrêmes de la longueur dans le traitement hydrique de 60%CC, s'annoncent de 107.33cm et 118.67cm détenues respectivement par les génotypes E et B. Avec l'application du déficit hydrique du niveau de 30%CC, les racines sont plus longues et concernent l'ensemble des génotypes testés. Ainsi, sous ces conditions hydriques, les valeurs obtenues sont comprises entre un minimum de 107cm (génotype F) et 122cm (génotype A).

3.2 Le nombre de racines par plant

Le nombre de racines par plant se trouvent influencé par le régime hydrique ($p < 0.001$) et son interaction avec les génotypes expérimentés ($p < 0.01$). D'une façon générale, l'accentuation de la sévérité du déficit hydrique s'est accompagnée d'une réduction plus ou moins importante du nombre de racines par plant. Les résultats moyens (tableau 08) indiquent que dans le traitement hydrique témoin (100%CC), les valeurs du nombre de racines vacillent entre les extrêmes de 10 (génotype E) et 13 (génotype B, génotype F). Dans le traitement ayant subi un déficit hydrique modéré (60%CC), les valeurs du nombre de racines par plant diminuent pour atteindre des limites de 7 (génotype B) et 12 (génotype D). Dans le traitement hydrique conduit à 30%CC, cette réduction s'annonce encore plus marquée où les valeurs inscrites sont de deux ordres avec 9 racines par plant (génotypes, E et A) et 10 racines par plant (génotypes, D, F, C et B).

3.3 Le volume des racines par plant

Comme il a été indiqué préalablement, le volume des racines semble être insensible aux variations des facteurs d'étude, dans cette situation. Cependant, des variations de faibles amplitudes concernent les volumes racinaires enregistrés à travers les trois traitements hydriques retenues dans cette étude.

Les résultats moyens obtenus (tableau 09) indiquent que dans le lot conduit témoin conduit à 100%CC, les valeurs moyennes du volume varient entre 157.33cm^3 et 173.67cm^3 enregistrées dans l'ordre par les géotypes D et C. Ces valeurs changent au niveau du traitement conduit à 60%CC pour atteindre des grandeurs de l'ordre de 165cm^3 (géotype D) et 168.67cm^3 (géotype B). Enfin dans le traitement hydrique de 30%CC, les géotypes expérimentés ont inscrit des volumes variant entre 159.67cm^3 et 170.33cm^3 , valeurs limites inscrites respectivement par les géotypes, E et F.

3.4 Le rapport matière sèche racinaire et aérienne

L'analyse des résultats de ce paramètre (tableau 08) démontre que son élaboration est faiblement influencée par la nature des géotypes et de la situation hydrique. Toutefois les valeurs moyennes enregistrées sont de grandeurs variables parmi les géotypes testés et entre les différents traitements hydriques adoptés. Les résultats moyens obtenus dans le lot conduit à 100%CC, sont délimités par des données extrêmes de 0.22 (géotype D) et 0.763 (géotype C). Dans les deux traitements conduits sous déficit hydrique, on constate une augmentation de ce rapport où il atteint une valeur maximale de 0.574, donnée identique dans les deux lots, 60%CC et 30%CC. Les rapports moyens minimaux progressent également sous ces deux traitements hydriques, pour atteindre 0.248 (60%CC) et 0.354 (30%CC).

Tableau 08: effets du génotype, de la situation hydrique et de leur interaction sur les paramètres morphologiques des racines.

Paramètres	Effet génotype	Effet hydrique	Interaction génotype x hydrique
Longueur racines	1.335ns	0.354ns	0.899ns
Nombre des racines	1.932ns	14.694***	3.711**
Volume des racines	1.18ns	0.17ns	0.78ns
MSR/MSA	0.580ns	0.922ns	0.754ns

Tableau 09 : Résultats moyens des paramètres morphologiques des racines.

Génotypes	Situation hydrique	Nombre de racines	Longueur de l'axe racinaire	Volume des racines	MSR/MSA
A	100%CC	11	115,33	170,33	0,389
A	60%CC	9	117,33	166,00	0,310
A	30%CC	8	122,00	166,67	0,354
B	100%CC	13	108,00	161,00	0,277
B	60%CC	10	118,67	166,00	0,280
B	30%CC	7	115,00	168,67	0,385
C	100%CC	11	137,67	173,67	0,463
C	60%CC	10	117,33	165,33	0,248
C	30%CC	8	112,33	165,33	0,368
D	100%CC	11	112,33	157,33	0,220
D	60%CC	10	111,33	163,33	0,376
D	30%CC	12	108,33	165,00	0,439
E	100%CC	10	115,00	163,00	0,250
E	60%CC	9	107,33	159,67	0,331
E	30%CC	11	110,33	168,00	0,574
F	100%CC	13	108,33	171,67	0,407
F	60%CC	10	116,00	170,33	0,574
F	30%CC	9	107,33	166,00	0,418

Discussion

L'estimation de la teneur relative en eau constitue un paramètre efficace pour l'évaluation de la tolérance au déficit hydrique chez le blé tendre et constitue un critère de référence pour le criblage des cultivars tolérants ce stress (**ALBOUCHI et al., 2000**). La préservation de la teneur relative en eau et par conséquent une hydratation optimale des tissus sous les conditions hydriques défavorables, est induite par l'extériorisation des mécanismes limitant la perte d'eau et ou sa rétention par abaissement du potentiel hydrique. Ces travaux confirment les résultats obtenus dans cette étude, où l'effet du déficit hydrique au degré moyen (60%CC) n'a eu qu'un effet insignifiant sur les variations de la teneur relative en eau. Ce maintien s'explique conjointement par une accumulation des osmotocums d'une part et d'accroissement d'absorption d'eau et la régulation de sa perte d'autre part. Ainsi, l'accumulation des sucres solubles initiée par les génotypes testés, à la déclaration du déficit hydrique a contribué à l'abaissement

du potentiel osmotique interne et par conséquent la rétention d'eau tissulaire. Certains travaux de **ZERRAD et al. (2006)**. Ont prouvé l'implication d'accumulation des osmotocums, particulièrement les sucres simples dans l'ajustement osmotique et la préservation de l'état hydrique des plantes en conditions de sécheresse.

Les différents paramètres morphologiques du système racinaire global ont été soumis à des modifications par les variations des niveaux d'alimentation hydrique adoptée dans ce travail. Ces modifications qualifiées de remodelage seraient à l'origine de l'amélioration de la tolérance de la plante à la sécheresse. Ainsi les travaux de **ADDA et al. (2005)** prouvent cette tendance où ils ont démontré que les modifications structurales et morphologiques des racines séminales contribuent efficacement à la lutte contre les contraintes imposées par le déficit hydrique chez le blé dur. Selon les résultats obtenus, ces modifications morphologiques des racines à travers, la longueur, le nombre et le volume ont contribué à une tolérance au déficit hydrique appliqué en maintenant un potentiel hydrique élevé. En effet les travaux de **DIB et al. (1992)** ont démontré que les génotypes de blé dur développant un système racinaire profond sont plus tolérants au déficit hydrique par exploration des horizons de sol plus profonds et plus humides. Les résultats des travaux concernant la relation entre la tolérance de la sécheresse et le nombre et volume des racines chez les céréales restent controverses. Pour certains de ces travaux (**HIRECHE, 2006**). l'accroissement du volume racinaire et leur nombre améliore la tolérance à ce stress, alors que d'autres prouvent un effet

contraire (ZERRAD *et al.*, 2006). La morphologie, la micromorphologie ainsi que la structure de l'appareil végétatif aérien sont grandement impliquées dans l'adaptation à la sécheresse chez le blé. Ces transformations sont à l'origine d'une variation d'efficacité d'utilisation d'eau et sont par conséquent la protection contre la déshydratation imposée par le déficit hydrique. La micro-morphologie de la dernière qui concerne l'étude des stomates a été prouvée être impliquée dans la gestion de la déperdition d'eau à travers les différentes voies de la transpiration estimée par la perte d'eau par la feuille excisée. Effectivement, les faibles taux de déperdition d'eau sont corrélés à une faible densité stomatique et préservent donc un état hydrique optimal estimée par la teneur relative en eau.

CONCLUSION

CONCLUSION

Conclusion :

Le déficit hydrique constitue le principal stress abiotique responsable des effets exprimant les faibles rendements enregistrés par les différents cultivars chez le blé tendre. Les contraintes provoquées par ce stress limitent la croissance, le développement et la productivité de l'espèce. Cependant, de nombreux travaux de recherche démontrent qu'au sein de cette espèce comme toutes les céréales d'hiver, existe une variabilité génétique qui remodelée contribuerait certainement à l'amélioration des facultés de tolérance aux effets de la sécheresse. En effet, le travail réalisé a permis d'extérioriser certains de ces paramètres susceptibles de contribuer à la création et la sélection de nouveaux cultivars plus tolérants au déficit hydrique. L'étude de ces paramètres dans des conditions contrôlées a autorisé une meilleure appréciation de leur implication dans les réactions de tolérance à la sécheresse chez cette espèce. Les facultés d'évitement du déficit hydrique par le remodelage morphologique du système racinaire ont été prouvées dans ce travail comme ceux qui s'inscrivent dans ce domaine de recherches.

La teneur relative en eau est admise comme un critère efficace pour le criblage des génotypes tolérants au déficit hydrique. Il a été démontré dans ce travail que sous les conditions de déficit même sévère (30%CC), la teneur relative en eau s'est maintenue à un niveau permettant la préservation d'un état de turgescence cellulaire optimale. La préservation de l'état hydrique des plantes a été favorisée par une meilleure rétention d'eau. Cette rétention a été assurée par une efficacité dans le contrôle des pertes d'eau par la partie aérienne à travers les différentes voies de la transpiration. Ces mécanismes ont été évalués par l'estimation de la déperdition d'eau par la feuille excisée. Il s'est démontré que les faibles pertes d'eau par la feuille excisée contribuent efficacement au maintien de la teneur relative à des niveaux élevés. Ce critère s'avère efficace pour la création de cultivars plus tolérants au déficit hydrique.

Les différentes modifications morphologiques concernant le système racinaire contribuent également à la protection de la plante contre la déshydratation survenant après la déclaration du déficit hydrique. Elles englobent l'élongation et la croissance en longueur des racines. Cet événement permet à la plante d'explorer les couches de sols les plus profondes demeurant plus humides sous les conditions d'alimentation hydrique déficientes. La contribution d'accroissement du nombre et du volume des racines exprime un effet contraire dans la fonction de tolérance chez le blé tendre. Ainsi, le modèle morphologique favorable à

CONCLUSION

l'évitement de la sécheresse ou la tolérance avec un potentiel hydrique élevé, s'obtient par une élongation racinaire et une réduction du nombre et du volume de ces racines.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques :

ABELED L. G., SAVIN R., GUSTAVO A. ET SLAFER., 2008. Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European journal of Agronomy*. 28. 541-550p.

ADDA A., SAHNOUNE M., KAID-HARCH M., ET MERAH O., 2005. Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots. *C. R. Biologies*, 328: 918-927.

ADRAIN J., 1996. Composition et valeur nutritionnelle du pain .In : GUINET R., GODONB., 1996. La panification française. paris, Lavoisier, p.p .481-489. (collection sciences).

ALBOUCHI A., SEBEI H., MEZNI M Y. & EL AOUNI M H., 2000. Influence de la durée d'une alimentation hydrique déficiente sur la production de biomasse, la surface transpirante et la densité stomatique d'*Acacia cyanophylla*. *Annales de l'INRGREF*. **4**: 138-61p.

ALEM C., LABHILILI M., BRAHMI K., JLIBENE M., NASRALLAH N., & FILALI-MALTOUF A., 2002. Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin, *C. R. Biologies* 325 : 1097–1109. Algérie ., Séminaire de blé dans la région méditerranéenne , N° 22.

ALI DIB., MONNEVEUX., 1992. Adaptation à la sécheresse et notion d'idiotype chez le blé dur I. Caractères morphologiques d'enracinement. *Edit. Agron. Vol.12*, p 371-379.

AMOKRANE A., BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A., DJEKOUN A., 2002. Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. *Sciences et Technologie. Univ. Mentouri. Constantine*, N° spécial D: 33 - 38 p.

AUSTIN R B., & FORD M A. 1989. Effects of nitrogen fertilizer on the performance of old and new varieties of winter wheat. In: *Proceedings XII Eucarpia Congress*, February 1989.

BAGGA A K., RUWAL K N., ASANA R.D., 1970. Comparison of some Indian and semi-dwarf Mexican wheat to unirrigated cultivation. *IndianJ. Agric. Sci*, 40: 421- 427.

BAHLOULI F., BOUZERZOUR H ., BENMAHAMMED A., & HASSOUS K L., 2005. Selection of high yielding of durum wheat (*Triticum durum Desf.*) under semi arid conditions *journal of Agronomy* ,4(4) :360-365.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BAHLOULI F. et BOUZERZOUR H., 2006. Comportement variétal de 10 génotype contrastes de blé dur aux contraintes abiotiques sous climat semi aride .j.Algér .Régio.Ari., (5).

BAHLOULI F., BOUZERZOUR H., 2006.comportement variétal de 10 génotypes contrastes de blé dur aux contraintes abiotiques sous climat semi aride .J.Algér .Régio . Ari., (5) :51-60.

BAJJI M., 1999. Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variantssomaclonaux sélectionnés In vitro. Thèse de doctorat. Univ. Louvain.

BALDY C., 1973. Progrès récents concernant l'étude du système racinaire du blé. Ann. Agron. 24 (2).

BEBBA S. 2011. Essai de comportement de deux variétés de blé dur (*Triticum durum*Lara Carioca et vitro) conduite sous palmier dattier au niveau de région d'Ourgla., université Merbah, Ourgla. Ingénieur d'état agronomie saharienne : 9p.

BELHASSEN E. 1994. Résistance de plantes a la sécheresse: mécanismes physiologiques. Le sélectionneur Français, 45: 75-85.

BENNACEUR M., GHARBI M S., PAUL R., 1999. L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. Sécheresse, 10 : 27- 33.

BENSALEM, M., BOUSSEN, H., SLAMA, A., 1997. Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF / U R E F). Orsay. Sécheresse, 2: 75- 83.

BENBELKACEM F., Saldi A., Brinis. (1995). La recherche pour la qualité des blés en Algérie., Séminaire de blé dans la région méditerranéenne , N° 22.

BENBELKACEM A., & KELLOU K., 2001. Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticumturgidum* L. var. durum) cultivées en Algérie. Options méditerranéennes, 6: 105-10. Germany, Vortr. Pflanzenzuechtug, 16: 307-318.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENHANIA Z., 2013.** Etude de la fabrication de la farine et contrôle de sa qualité .mémoire de master , université KasdiMerbah Ouargla , Algérie .p ; 52.
- BENLARIBI M., MONNEVEUX P., GRIGNAC P., 1990.** Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). *Agronomie*, 10: 305-322.
- BENMAHAMMED A., KRIBAA M., BOUZERZOUR H., DJEKOUN A., 2010.** Assessment of stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) advanced breeding lines under semi arid conditions of the eastern high plateaus of Algeria *Euphytica*, 172 (3):383-394.
- BERGARECHE C., LLUSIA., FEBRERO A ., BORT J .& ARAUS J L., 1993.** Effect of water stress on proline and nitrate content of barley relationships with osmotic potential ,carbon isotope ratio and grain yield .colloque Diversité génétique et amélioration variétal .Montpellier (France).Les colloques.64.(éd) .Inra.Paris .
- BONJEAN A., 2001.** Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (*Triticum aestivum* L.).Dossier de l'environnement de l'INRA, N°21 :29-37.
- BOUSBA R., YKHLEF N., DJEKOUN A., 2009.** Water use efficiency and flag leaf photosynthesis in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf). *World Journal of Agricultural Sciences*, 5: 609 - 616.
- BOYER J S., 1982.** Plant productivity and environment.Sci, New series., 218 : 443 – 448
- BRISSON N & DELECOLLE R., 1992.** Utilisation des modèles mécanistes de la culture comme outils de raisonnement de la composante génétique de la résistance à la sécheresse .64 .(ed) .Inra .Paris .
- CALVEL R., 1980.** La panification : pâte, fermentation, mise en forme. La boulangerie moderne,Pailris, EYROLLES, pp. 112-142.
- CHELLALI B., 2007.** Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire.
- CHENAFFI H., AÏDAOUI A., BOUZERZOUR H., SACI A. 2006.** Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. *A. J. P. S*, 5 : 854-860.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CLEMENT G., GRANXCOURT M ET PARTS G.1971. Les céréales Ed: G.B.Bailliére et Fils, 351pDoré, C., Varoquaux, F., (2006).Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées,p145.

DANIELS N W R., FRAZIER P J., WOOD P S., 1971. Flour lipids and dough development.Bakers's Dig., vol. 45, n. 4, pp. 20-28.

DAVIS WJ., TARDIEU F AND C L. TREJO., 1994. How do chemical signals works in plants that grow in drying soil? Plant Physiol. 104:309-314. De master , université KasdiMerbah Ouargla , Algérie .p ; 52.

DEBAEKE P., CABELGUENNE M., CASALS M L., PUECH J., 1996. Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d'un modèle de simulation de la culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées. Epicphase-blé.Agronomie, 16: 25 - 46.

DERAISSAC., 1992. Mécanismes d'adaptation à la sécheresse de la productivité des plantes cultivées. Agronomie Tropical, 46-1 :29-39.

DIXON R & PAIVA N L.,1995 . Stress – induced phenylpropanoid metabolism . The plant cell . 7:1085-1097N P . droughted the fate of the hormone on its way from root to shoot. Journal of Experimental Botany 52:1991-1997.Edit. De Boeck, pp 38-58 ; 451-458.

ESCALONA J M., FLEXAS J. AND H. MEDRANO., 1999.Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field-grown grapevines. Australian Journal of Plant Physiology 26:421-433.<http://www.lemaghreb.dz.com/admin/folder01/une.pdf>. (31.05.2008).

FAO., 2014 Grains pour les Agriculteurs à Petite Échelle systèmes Appropriés de Stockage des Semences et des Grains pour les Agriculteurs à Petite Échelle.

FEILLET P., 2000. Le grain de blé. Composition et utilisation. Mieux comprendre. *INRA*. ISSN: 1144-7605.ISBN:2-738060896-8:23-308.

FLEXAS J. AND H. MEDRANO., 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plant: Stomatal and non-stomatal limitations revisited. Annals of Botany 89:183-189.(gastronomie), p.p.16-25.

GATE P H., 1995. Ecophysiologie du blé ; Technique et documentation : Lavoisier, Paris, 429 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- GATE P., BOUTHIER A., CASABIANCA H. & DELEENS E., 1993.** Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France : interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique du carbone des grains. Colloque Diversité génétique et amélioration variétale Montpellier (France). *Les colloques*. 64. Inra. Paris.
- GHARTI-CHHETRI G B., & LALES S., 1990.** Biochimical and physiological responses of nine spring wheat (*Triticum aestivum*) cultivars to drought stress at reproductive stage in the tropic. *Belg. Bot.* 123 (2): 27-35.
- GODON B., 1995.** Le pain. Pour la science. Dossier hors-série de mars (science et gastronomie), p.p.16-25.
- GONZALEZ A., MARTIN I., AYERBE L., 1999.** Barley yield in water stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *F. C. R* , 62: 23 - 34.
- GRIGNAC P., 1986.** Contraintes de l'environnement et élaboration du rendement dans la zone méditerranéenne française .In l'élaboration du rendement des cultures céréalières. Colloque Franco Romain, CLERMONT- Ferrant 17-19 Mars, 196-207.
- HAMADACHE A., 2013.** Eléments de phytotechnie générale : Grandes Culture- Tom I : Le blé. 1ère édition. Mohamed Amrani. 49-69.
- HASSANI A., DELLAL A., BELKHODJA M. et KAID-HARCHE M., 2008.** Effets de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum vulgare*). *European journal of Scientific Research*. Vol. 23 (1): 61-69.
- HENCHI B., 1987.** Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysiologie de *Plantago albanica* .L.Thèse de doctorat d'Etat ,univ Tunis.
- HIRECHE., 2006.** Réponse de la luzerne *Medicago sativa*(L) au stress hydrique et à la profondeur du semis. Thèse de Magister.Univ. *EL Hadj Lakhdar*. Batna : 83 p.
- HOPKINS G W., 2003** – Physiologie végétale / traduit de l'anglais par RAMBOUR S.
- HSIAO T C., 1973.** Plant responses to water stress. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24:519-570.
- IBRAHIM. 2001.** Genèse et évolution des acides organiques dans les feuilles, les baies, les moûts et les vins des cépages Cot et Négrette (*Vitis vinifera* L.). Institut National Polytechnique de Toulouse France. PhDDiss. pp 299.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- KAISER W M., 1987.** Effect of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiol. Plant*, 71, 142-149.
- KARA Y., MARTIN A., SOUYRIS I., REKIKI D., MONNEVEUX P., 2000.** Root characteristics in durum wheat (*T. turgidum conv. Durum*) and some wild Triticeae species. Genetic variation and relationship with plant architecture. *C. R. C*, 28 (3), 147-254.
- KAROU M., HAFFID R., SMITH D N., & SAMIR K. 1998.** Roots and growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early-season drought. *Agronomy*, 18: 181-186.
- KEMELI A AND LOSEL D M ., 1996.** Growth and sugar accumulation in durum wheat under water stress. *New phytol* .132-57-62.
- KIES N., 1982** Some aspects of water relationship of interspecific cotton hybrid and its parents. P.H.D., Thèse de Doctorat, University les Cruces, New Mexico. P.15.
- KRAMER P J AND BOYER J S., 1995.** Water relations of plants and soils (book).
- LABERCHE J C., 2004.** La nutrition de la plante In *Biologie Végétale*. Dunod. 2eme (éd). Paris: 154 -163 p.
- LAMAZE T., TOUSCH D., SARDA X., GRIGNON C., DEPIGNY-THIS D., MONNEVEUX P., TANNER C B., SINCLAIR T R., 1983.** Efficient water use in crop production: Research or re-search? In: Taylor, H.M, Jordan, W. R, Sinclair, T. R. (Eds). *Limitations to efficient water Use in Crop Production*. American Society of Agronomy Madison WI , 29-43.
- LEGG B J., DAY W., LAWLOR D W., et PARKINSON K J., 1979.** The effects of drought on barley growth: models and measurements showing the relative importance of leaf area and photosynthetic rate. *J. Agric. Sci.*, 92: 703-716.
- MASLE-MEYNARD J., 1980.** L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver. Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière. Thèse de Docteur-Ingénieur. INA-PG, Paris, 274p.
- MONNEVEUX P ET NEMMAR M., 1986.** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum*. L) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*. p590.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

MONNEVEUX P., 1991. Quelle stratégie pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver, In : ChalbiDemarly Y. éd. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey. ENSA-INRA, 165- 186.

MOULLE C., 1971. Les céréales Tome 2. La maison rustique, paris :1-12-13-14-15-16-17-18-21-22-23-45-46-47-236p.

NESBITT M., 1999. Plants and People in Ancient Anatolia.Agriculture N° 14, p. 2527 - 2551.

NOURI L., 2011. Identification de marqueurs physiologiques de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. Thèse de Doctorat es Science, spécialité, Biologie et Physiologie végétales, option, Génétique et Amélioration des plantes, Université Constantine. 131 p.

OUKARROUM A., 2007. Vitalité des plantes d'orges (*Hordeumvulgare*) en condition de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Université de Genève, laboratoire de bioénergétique et microbiologique : 2p.photosynthesisunder water stress in field-growngrapevines. Australian Journal of PlantPhysiology 26:421-433.<http://www.lemaghreb.dz.com/admin/folder01/une.pdf>.(31.05.2008).

OSMOND C B., 1994.What is photoinhibition? Some insights from comparisons of shade and sun plants. In: **BAKER N R. & BOWYER J R.** (éd) Photoinhibition of Photosynthesis: From Molecular Mechanisms to the Field. BIOS. ScientificPublishers. Oxford : 1-24 p.

POTUS J., GALEY C., VIGNAU C., GARCIA R., POIFFAIT A., ET NICOLAS J., 1994. Les oxydoréductases en panification . Industries des céréales, n° 115, pp. 3-10 profondeur du semis. Thèse de Magister.Univ. *EL Hadj Lakhdar*. Batna :83 p.

RADHOUANE L., 2009. La photosynthèse du mil (*Pennisetumglaucum* L. R.Br.) en présence de contrainte hydrique et saline. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 103 (3): 185-200.

REKIKI D., 1997 Identification et analyse génétique des caractères physiologique lies aux rendement en conditions de sécheresse chez le blé dur intérêt potentiel des espèces sauvages apportés pour l'amélioration de ces caractères .Thé.Doct.Ed :ENSA. Montpellier, pp.7-15.

SAUTER A., DAVIES W J. AND W HARTUNG., 2001.The long-distance abscisicacid signal in theSemences et des Grains pour les Agriculteurs à Petite Échelle.

SHEWRY P., 2009. Wheat.*Journal of experimental botany*, 60 (6): 1537.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- SLAMA A., BEN SALEM M., BEN NACEUR M., & ZID E., 2005.** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance (*Inrat*),16 (3) : 225-229.
- SOLTNER D., 1987.** Les grandes productions végétales « Céréales-plante sarclées-prairies».15ème Ed. Collecton sciences et techniques agricoles. 461p.
- SORRELLS M E., DIAB A., NACHIT M., 2000.** Comparative genetics of drought tolerance.Options méditerranéennes série A (Séminaires méditerranéens), 40: 191-201.
- SURGET A, BARRON C., 2005.** Histologie du grain de blé. Industries des céréales. INRA, N°145 : 3-7p.
- TARDIEU F., & SIMONNEAU T., 1998.**Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: Modeling isohydric and isohydric behaviors, *J. Exp. Bot*, 49: 419-432.(technique agroalimentaires).
- TRIBOŔ E., 1990.** Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre. *Agronomie*.10 : 191- 200.
- TURNER N C., 1986.** Adaptation to watredéficit : a changing perspective .*AustJ plant physiol*.13 :175 -90 p.
- TURNER N C., 1979.** Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plant. In: "stress physiology in crop plants", (H.W. Musseland et, R.C Staples, ed, Wiley,(interscience) New York, 343-372.
- YOKOTA A., TAKAHARA K ET AKASHI K. 2006.** Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants.Springer, 15-39.
- ZERRAD W., HILLALI S., MATAOUI B., EI ANTRI S. et HMYENE A., 2006.** Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaires de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Biochimie, Substances naturelles et environnement. Congrès international de biochimie.* Agadir.
- ZHANG J., NGUYEN H T., BLUM A. 1999.** Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants.*J. Exp. Bot*, 50: 291-302.

Résumé

Le principal objectif du travail présenté concerne l'évaluation des effets du déficit hydrique sur l'expression de certains paramètres physio-morphologiques. Les paramètres physiologiques se rapportent à la régulation de la transpiration sous ses différentes formes et son implication dans la préservation de l'état hydrique de la plante, chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Les paramètres morphologiques concernent le système racinaire et la micromorphologie de la feuille. Les résultats obtenus montrent que le déficit hydrique permet de profondes modifications dans l'expression de ces paramètres. La teneur relative en eau s'annonce comme le principal paramètre d'évaluation des contraintes imposées par la sécheresse. Les paramètres impliqués dans la lutte contre la sécheresse sont représentés essentiellement, par l'efficacité de limitation de perte d'eau par le système foliaire. L'ajustement osmotique par une accumulation des sucres solubles constitue également un critère de référence pour la lutte contre le déficit hydrique. Les modifications de la morphologie racinaire englobant l'élongation de l'axe racinaire, la réduction du volume et du nombre des racines s'intègrent également parmi les mécanismes contribuant à l'amélioration de la tolérance du blé tendre au déficit hydrique.

Mots clés : Déficit hydrique, Blé tendre, Résistance, Sécheresse, Paramètres physiologiques, Morphologiques, Micro-morphologiques.

ملخص

الهدف الرئيسي من العمل المقدم يتعلق بتقييم آثار العجز المائي على التعبير عن بعض العوامل الفيزيولوجية، المورفولوجية تتعلق العوامل الفسيولوجية بتنظيم النتح بأشكاله المختلفة وتأثيره في الحفاظ على الحالة المائية للنبات في القمح اللين تتعلق العوامل المورفولوجية بالنظام الجذر والأشكال الدقيقة للأوراق. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن العجز المائي يسمح بتغيرات عميقة في التعبير عن هذه المعايير. من المتوقع أن يكون المحتوى المائي النسبي هو المعيار الرئيسي لتقييم القيود التي يفرضها الجفاف. يتم تمثيل العوامل المشاركة في مكافحة الجفاف بشكل أساسي بفعالية الحد من فقدان الماء بواسطة نظام الأوراق.

يعد التعديل بتراكم السكريات الذاتية معيارًا مرجعيًا لمحاربة العجز المائي. يتم تضمين التغيرات في مورفولوجيا الجذر بما في ذلك استطالة محور الجذر، والحد من حجم الجذر و تحسين ميكانيكية المساهمة في تحمل القمح لنقص الرطوبة.

الكلمات المفتاحية: النقص المائي، القمح اللين، المقاومة، الجفاف، العوامل الفسيولوجية، الشكل المورفولوجي، المورفولوجية الدقيقة.