

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre
et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine: Science de la Nature et de la Vie

Filière : Science Agronomique

Spécialité/Option: Phytopharmacie et protection des végétaux

Département: Ecologie et Génie de l'environnement

Etude de la réponse de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) au stress hydrique

Présentée par :

- Bouati Mazna
- Bougattouche Nour el houda
- Saadaoui Wissem

Devant le jury composé de :

Mme.Chahat N. (MCB)	Présidente	Université de Guelma
Mr.Zitouni A. (MCB)	Examineur	Université de Guelma
Mme.Laouar H. (MCB)	Encadreur	Université de Guelma

septembre2020

Remerciement

*Je remercie avant tout le Grand Dieu Allah, le plus puissant,
le miséricordieux...*

*Je voudrais remercier du fond du cœur Madame Laouar.
Qui a encadré cette étude au quotidien. Elle fut toujours
présente, en particulier lorsque je me suis confrontée au
doute, je lui suis reconnaissante pour : sa grande
disponibilité, son ouverture d'esprit, son dynamisme et son
optimisme, ainsi que pour ses multiples et précieux conseils
scientifiques, professionnels ou tout simplement humains.*

*Nous exprimons nos remerciements aux honorables
membres de jury : Mme Chahat N et Mr Zitounu A pour
l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger notre
travail*

*Je ne saurais oublier de remercier tous ceux qui ont, de près
ou de loin, contribué à la réalisation de ce travail, et toute
personne qui m'a éclairé le chemin.*

*Toute ma gratitude à mes collègues de promotion ainsi qu'à
d'autres étudiants.*



Dédicace

Je dédie ce travail :

*A mes très chers parents RACHIDE et
LOUIZA ont aucun mot n'est assez fort et
suffisant pour exprimer l'amour que je les
avoue c'est à eux que je dois tout et que seront
toujours pour moi un exemple de réussite et de
courage, profonde en reconnaissance de tous
ce qu'ils Ont fait pour moi.*

A mes frères IMAD et NASSIM

A mes amies IKMEL, MAZNA, HOUDA et

A tous que j'aime

WISSEM



Dédicace

Je dédie ce travail :

*A mes très chers parents ABD EL WAHEB et
FATMA ont aucun mot n'est assez fort et
suffisant pour exprimer l'amour que je les
avoue c'est à eux que je dois tout et que seront
toujours pour moi un exemple de réussite et de
courage, profonde en reconnaissance de tous ce
qu'ils Ont fait pour moi.*

*A mes frères ABD EL BASSET ZAKARIA
AYMEN et RAJID*

*A mes amies : BOUCHRA, HANA, HOURIA,
MAZNA et WISSEM*

A tous que j'aime

NOUR EL HOUDA



Dédicace

Je dédie ce travail :

*A mes très chers parents AZIZ et WARDA ont
aucun mot n'est assez fort et suffisant pour
exprimer l'amour que je les avoue c'est à eux
que je dois tout et que seront toujours pour moi
un exemple de réussite et de courage, profonde
en reconnaissance de tous ce qu'ils Ont fait
pour moi.*

*A mes frères MOUHAMMED TAHER et ma
chérie SAMIA*

*A mes amies HANA, HOURIA, HOUDA et
WISSEM*

A mon fiancé THEBET

A tous que j'aime

MAZNA

Table des matières

Remercîment

Dédicace

Liste d'abréviation I

Liste des tableaux II

Liste des figures III

Introduction:..... 01

Chapitre 01 : Généralités sur le blé tendre

1- Généralités sur les céréales:..... 04

2- La production céréalière:..... 04

3- Importance et production des céréales en Algérie:..... 05

4-Généralité sur blé tendre:..... 05

5-Origin et répartition géographique du blé tendre:..... 05

6-Description de la plante:..... 06

7-Composition de grain de blé:..... 06

8-Classification : 07

9- Caractères généraux de la plante:..... 08

9-1- grain : :..... 08

9-2- La plantule : :..... 08

9-3- La plante adulte : :..... 09

10- Ecologie de blé tendre:.....	09
11-Les stades de développement du blé tendre:.....	09
11-1 La période végétative :.....	10
11-1-1 La phase semis-levée. :.....	10
11-1-2 Phase levée – tallage:.....	10
11-1-3 Phase tallage-Montaison:.....	10
11.2 La période reproductrice:.....	10
11.3 La période de maturation:.....	11
12. Utilisation de blé tendre:.....	12
13- Les exigences de blé:.....	12
13-1 Exigences climatiques:.....	12
13-1-1 Température:.....	12
13-1-2 L'eau:.....	12
13-1-3 La lumière:.....	13
13-2 Exigences agrologiques :.....	13
13-2-1 du sol:.....	13
13-2-2 Besoins en éléments fertilisants. :.....	13
14-Les maladies de blé tendre:.....	13
14-1 Les rouilles (rouille brune et rouille jaune) :.....	13
14-2 La septoriose:.....	14
14-3 Carie:.....	15
14-4 L'oïdium (<i>Erysiphe graminis</i> DC.) :.....	15

14-5 Fusarioses:.....	16
15- Les ravageurs de blé tendre:.....	17

Chapitre 2: Types de Stress

1-Notion de stress:.....	19
2-types de stresses:.....	19
2-1 Stress salin:.....	19
2-3 Stress thermique:.....	19
2-4 Stress hydrique:.....	20
3- L'eau dans la plante:.....	20
4- Définition de stress hydrique:.....	20
5- Effets du stress hydrique sur la plante:.....	21
5-1 Effet sur les échanges gazeux et la transpiration:.....	22
5-2 Effet sur la conduction stomatique:.....	22
5-3 Effet sur la turgescence:.....	22
5-4 Effet sur la croissance:.....	22
5-5 Effet sur le rendement:.....	22
5-6 Effet sur la photosynthèse:.....	23
6-Adaptation à la sécheresse:.....	23
6-1 Adaptations phénologiques:.....	23
6-2 Adaptations morphologiques:.....	23
6-2-1 Surface foliaire:.....	24
6-2-2 Système racinaire:.....	24

6-2- 3 Longueur des barbes:.....	24
6-2-4 La longueur de l'épicotyle:.....	24
7-Adaptations physiologiques:.....	24
7-1 État hydrique de la plante:.....	24
7-1-1 Teneur relative en eau (TRE%):.....	24
7-2 Fonctionnement stomatique:.....	25
7-3 Ajustement osmotique:.....	25
7-3-1 Les sucres:.....	25
7-3-2 L'accumulation de la proline:.....	25
7-4 La teneur en chlorophylle : :.....	25
8- Stratégies de la réponse des plantes au stress hydrique:.....	27
8-1 L'esquive:.....	27
8-2 L'évitement:.....	27
8-3 Tolérance:.....	27

Chapitre 3 : Effet Du Stress Hydrique sur le blé tendre (quelques travaux)

1- Effets du stress hydrique sur le blé tendre (quelques travaux réalisés) :.....	30
1-1 Effet sur la surface foliaire:.....	30
1-2 Effet sur la longueur des racines:.....	31
1-3 Effet sur le nombre des racines:.....	31
1-4Effet sur la longueur de l'épicotyle:.....	32
1-5Effet sur la teneur relative en eau (TRE%):.....	33
1-6Effets sur le fonctionnement stomatique:.....	34

1-7Effet sur la teneur en sucres:.....	34
1-8 Effet sur l'accumulation de la proline:.....	35
1-9Effet sur la teneur en chlorophylle : :.....	36
Conclusion:	37

Référence Bibliographiques

Résumer

Abstract

المخلص

Liste d'abréviation

% Pourcentage

SAU Surface Agricole Utile

Ha Hectare

Kg Kilogramme

FAO Food and Agricole Organisation of the United Nations

J-C Jésus-Christ

XXe 20^e Siècle

Cm Centimètre

mm Millimètre

T Traitement

HD Hedba

MD Mahon Démias

Mg Miligramme

TRE Teneur Relative en Eau

APS Algérie Presse Service

Liste des tableaux

Tableau 1: Principaux insectes ravageurs du blé tendre	17
Tableau 2: Paramètres phénologiques et morpho physiologiques d'adaptation au déficit hydrique	26

Liste des Figures

Figure 1: Production mondiale des céréales.....	04
Figure 2: La production des céréales en Algérie (2000-2017)	05
Figure 3: Anatomie du grain de blé tendre.....	07
Figure 4: Les stades de développement de blé	11
Figure 5: Utilisation de blé tendre	12
Figure 6: Symptômes des rouilles (brune et jaune)	14
Figure 7: Symptôme de Septoriose	14
Figure 8: Carie de blé tendre	15
Figure 9: Symptômes de l'oïdium de blé tendre	16
Figure 10: Fusariose de blé	16
Figure 11: Blé tendre sous stress hydrique	21
Figure 12: variation de la surface foliaire des différents génotypes étudiés	30
Figure 13: La longueur des racines	31
Figure 14: variation du nombre moyen des racines des différentes variétés étudiées ...	32
Figure 15: La longueur de l'épicotyle.....	32
Figure 16 : Etapes de mesure de la teneur relative en eau.....	33
Figure 17: variation de la teneur relative en eau des génotypes de blés tendres étudiés	33
Figure 18: Dosage des sucres solubles	34
Figure 19: L'effet du stress hydrique sur le taux des sucres solubles	35
Figure 20: Dosage de proline	35
Figure 21: Variation de la teneur en proline chez les variétés étudiées en fonction de la durée du stress hydrique.....	36



Introduction

Introduction

Introduction

Les céréales constituent d'une part importante des ressources alimentaires de l'homme et de l'animal (**Karakas et al., 2011**). Les principales céréales sont représentées par le blé, l'orge, le maïs et le riz. Le blé occupe actuellement la première place dans la production mondiale des céréalière (environ 40 %) et présente une importance nutritionnelle et économique considérable (**Chardouh, 1999**).

La culture des céréales est la spéculation prédominante de l'agriculture algérienne (**Laala et al., 2009**). Elle est pratiquée notamment dans les zones arides et semi-arides sur une superficie annuellement emblavées d'environ 3.3 millions d'hectares (**INRA, 2016**).

La production des céréales et principalement celles des blés, et en particulier le blé tendre connaît des variations importantes en Algérie que dans le monde entier, ces variations sont généralement causées par des stress abiotiques, entre autres la sécheresse qui provoque une instabilité dans la production suite aux fluctuations touchant ces céréales (**Boufenar et Yalloui, 2006**).

Les stress abiotiques sont des processus impliqués dans l'élaboration du rendement d'une culture, ils sont influencées par deux types de facteurs, à savoir, les facteurs génétiques (intrinsèque à la plante) et les facteurs environnementaux. Ces contraintes environnementales peuvent être divisées principalement en trois groupes selon leur nature: la composition en éléments minéraux du sol (stress salin), le contenu hydrique du sol et de l'air (stress hydrique), et les chocs thermiques (**Chahbar, 2008**).

La sécheresse est définie par tout manque d'eau qui ne permet pas aux plantes cultivées d'exprime le rendement qui serait attendu en situation favorable qui peut affecter la qualité des produits récoltés, qui conduit à la diminution des rendements et la croissance de plantes cultivées (**Meftah, 2012**).

Chez le blé, le déficit hydrique agit sur les trois principales composantes du rendement : nombre d'épi, nombre des grains par épis et le poids de 1000 grains (**Assem et al., 2006**). L'effet sur ces composantes, et par conséquent sur le rendement, dépend du stade au cours duquel ce déficit survient (**Debaeke et al., 1996**).

La tolérance à la sécheresse est un phénomène complexe, faisant intervenir de nombreux mécanismes interagissant entre eux et à déterminisme génétique complexe. Les

Introduction

combinaisons de ces mécanismes définissent des stratégies d'adaptations de la plante vis-à-vis du stress (Mekliche et *al.*, 2003).

L'objectif de ce travail est axé sur l'étude de l'influence des stress hydrique sur les comportements de blé tendre et les différents mécanismes de réponse et d'adaptation morphologique, phynologique et physiologiques que déclenchent ce stress.

L'étude comptera trois chapitres essentiels qui seront précédés par une introduction et se terminant par une conclusion.

-Le 1er chapitre, sera consacré à des généralités sur le blé tendre pour présenter de l'espèce étudiée.

-Le 2ème chapitre, présentera l'influence du stress hydrique sur la plante

-Le 3ème chapitre, la discussion de quelques travaux réalisés sur le blé tendre



Chapitre 01
Généralités sur le blé
tendre

1- Généralités sur les céréales

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins (Djermoun, 2009).

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Les céréales sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale (Slama et al., 2005). La plupart des céréales appartiennent à la famille des graminées (Poacées). Ce sont : le blé, l'orge, le seigle, le maïs, le riz, le millet, le sorgho (Moule, 1971).

Les deux espèces de blé les plus cultivées au monde sont le blé tendre (*Triticum aestivum L.*) qui représente plus de 90% de la production mondiale et le blé dur (*Triticum durum Desf.*) qui constitue 5% de celle-ci et qui est traditionnellement cultivé dans le bassin méditerranéen (Ghennai et al., 2017).

La céréaliculture pluviale en régions semi-arides d'Algérie, évolue sous une pluviométrie annuelle moyenne variant de 300 à 630 mm/an. Bien que ces lames d'eaux reflètent des quantités théoriquement suffisantes pour combler les besoins des céréales (Smadhi et Zella, 2009).

2- La production céréalière

Les prévisions du mois de mars de la FAO concernant la production de céréales dans le monde en 2020 ont été révisées à la hausse (+9,3 millions de tonnes) ce mois. Elle s'établissent désormais à après de 2790 millions de tonnes et la production mondiale devrait dépasser de 3% (81,3 millions de tonnes) le record atteint en 2019 (Figure 01) [1].



Figure 1 : Production mondiale des céréales [2].

3- Importance et production des céréales en Algérie

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette caractéristique est perçue d'une manière claire à travers toutes les phases de la filière (Djermoun, 2009).

La filiale des céréales en Algérie a enregistré en 2017 une production nationale de 34.702.520 quintaux, soit l'équivalent de 135,3 de DA, a appris L'APS auprès du ministère de l'agriculture, du développement rural et de pêche. (Figure 02). [3]

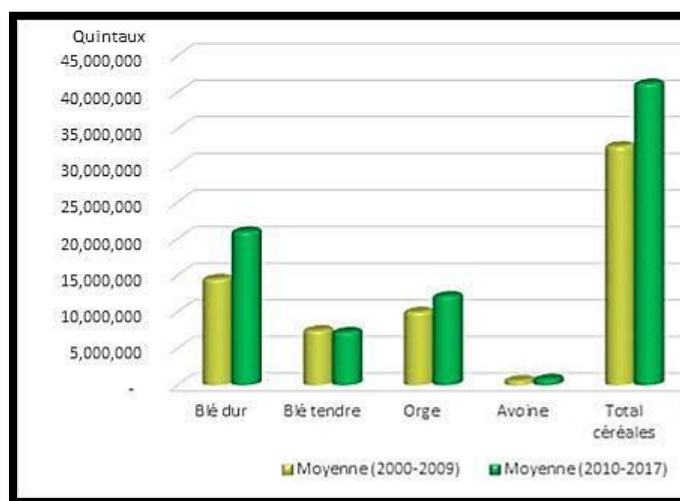


Figure 2 : La production des céréales en Algérie (2000-2017) [4].

4-Généralité sur blé tendre

Le blé tendre appartient au genre *Triticum* espèce *aestivum* L. (syn. *Triticum vulgare*, Villars.). Le genre *Triticum* comporte de nombreuses autres espèces, chacune d'elles étant composée d'un grand nombre de variétés botaniques (Moule, 1971).

La production de blé tendre en Algérie a atteint, quant à elle, seulement 7,9 millions de quintaux. La productivité par hectare, toutes espèces confondues, est passée de 15 quintaux par hectare en 2016-2017 à 19 quintaux par hectare en 2017-2018. [5]

5-Origin et répartition géographique du blé tendre

Le blé tendre a pris naissance dans le couloir qui s'étend de l'Arménie en Transcaucasie, en jusqu'aux zones côtière du sud-ouest de la mer Caspienne en Iran. C'est l'hybridation d'une espèce sauvage d'*Aegilops taushii* Coss. de génome D) avec l'amidonnier, un type ancien de blé cultivé appartenant à *Triticum turgidum*, qui a donné naissance aux blés hexaploïde, mais on ignore si le premier à apparaître a été le blé tendre ou

l'épeautre (*Triticum spelta* L.). Les restes archéologiques les plus anciens d'épeautre proviennent du sud de la Caspienne vers 5000 avant J-C. Les restes de blé tendre sont difficiles à distinguer de ceux du blé dur (*Triticum turgidum*), mais on pense que ceux trouvés dans le Caucase, dans le plateau anatolien (Turquie), en Europe centrale et en Asie centrale à partir du cinquième millénaire sont bien du blé tendre. Le génome D a en effet apporté au blé tendre et à l'épeautre une adaptation aux hivers froids de conquérir l'Eurasie tempérée, alors que la Méditerranée restait acquise à l'amidonier et au blé dur. Vers le troisième millénaire avant J-C.

En 1525 les Espagnols l'introduisirent dans le nouveau monde. Son introduction en Afrique tropicale est le fait de négociants arabes, de missionnaires et de colons. L'époque à laquelle il est parvenu en Ethiopie reste incertaine. Du nord de l'Afrique, il fut apporté en Afrique de l'Ouest, où il était déjà

Connu vers 1000 après J-C n'est qu'au début du XXe siècle qu'il a été introduit au Kenya et à l'est de la R.D du Congo.

De nos jours, le blé tendre est cultivé dans presque toutes les régions du monde. En Afrique que tropicale, il est surtout produit au Nigeria, au sudan, en Ethiopie, au Kenya, en Tanzanie, en Zambie et au Zimbabwe (**Anonyme, 2006**).

6-Description de la plante

Graminée annuelle, en touffe, atteignant 150 cm de haut, à 2-5 talles ; tige cylindrique, lisse, creuse sauf aux nœuds. Feuilles alternes distique, simples et entières ; gaine arrondie, auriculée ; ligule membraneuse ; limbe linéaire, de 15-10 cm × 1-2 cm, à nervures parallèles, plat. Epi terminal distique de 4-18 cm de long, à épillets sessiles, solitaires sur un rachis en zigzag. Epillet de 10-15 mm de long, comprimé latéralement, à 3-9 fleurs bisexuées dont les 1-2 supérieures sont généralement rudimentaires. Fruit caryopse (grain) ellipsoïde, muni d'un sillon central sur l'une des faces, brune rougeâtre à jaune ou blanc (Céréale et les légumineuses). Les enveloppes sont épaisses sans transparences. Lors de passage entre les cylindriques, se prêtent particulièrement bien à la mouture (**Feillet, 2000**).

7-Composition de grain de la plante

Un grain de blé est formé de trois régions (**Figure 03**):

-**l'albumen** : constitué de l'album en amylacé (au sien duquel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois cellulose sont peu visible) et de la couche à aleurone (80-85% du grain).

-**Les enveloppes du grain** : formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe du grain), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe (13-17%).

-**Le germe** : (3%), composé d'un embryon (lui-même formé de coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum.

Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéine (10à15%) et de pentosanes (8à10%) ; les autres constituants pondéralement mineurs (quelque % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (**Fillet, 2000**).

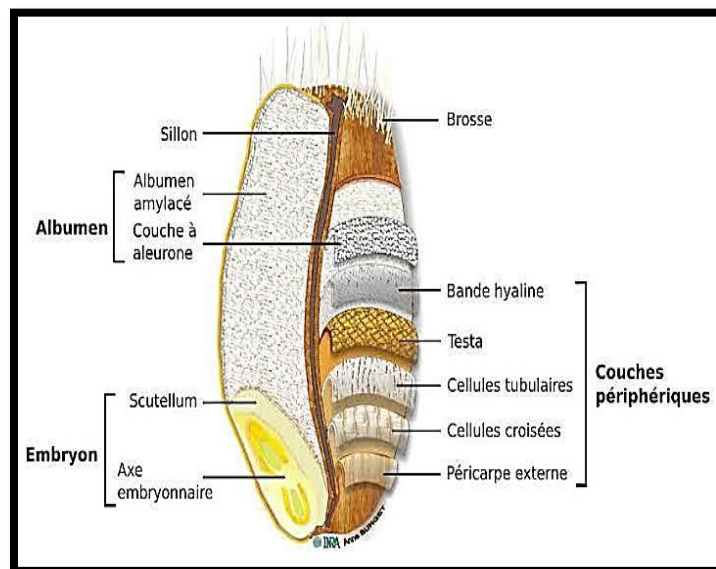


Figure 3 : Anatomie du grain de blé tendre [6].

8- Classification botanique

Le blé tendre est une plante annuelle monocotylédone qui appartient à la famille des graminées, dont la classification botanique suivante : (**Feillet, 2000**).

Règne :	Plantae (Règne végétale)
Division :	Magnoliophyta (Angiospermes)
Classe :	Liliopsida (Monocotylédones)
S/Classe :	<i>Commelinidae</i>
Ordre :	Poales
Famille :	Poaceae (ex Graminées)
S/Famille :	Triticeae
Tribu :	Triticeae (Triticées)
S/Tribu :	Triticinae
Genre :	<i>Triticum</i>
Espèce :	<i>Triticum aestivum L</i>

9- Caractères généraux de la plante

9-1- grain :

Est un caryopse nu, blanchâtre ou plus ou moins roux, de forme ovoïde, pesant de 40 à 50 mg. Sa radicule est plus ou moins externe (caractère variétal); l'extrémité distale est velue (brosse).

9-2- La plantule :

possède au stade 4 feuilles :

- Un système de 5 racines séminales, parfois complété par une racine d'épi blaste.
- Un rhizome formé d'un seul entre-nœud (épi cotyle).
- Un plateau de tallage où se sont déjà différenciées, à la base des 3 premières feuilles, des bourgeons de talle.
- Une coléoptile en voie de dépérissement, ayant parfois à son aisselle, une talle en voie de croissance.
- 4 feuilles visibles.

9-3- La plante adulte :

Présente :

- Un système racinaire fasciculé, peu développé (55 % du poids des racines entre 0 et 25 cm de profondeur).
- des chaumes d'abord remplis d'un parenchyme médullaire, devenant plus ou moins creux en vieillissant, porteur de 7 à 8 feuilles.
- Des feuilles dont les limbes portent à leur jonction avec la gaine, des oreillettes velues et une ligule.
- Un épi blanc, parfois roux, dont le rachis porte alternativement à droite et à gauche un épillet, 12 à 15 en général (grande culture) ou plus 18-22 (pépinière).
- Chaque épillet, parfois aristé, comporte 2 à 3 fleurs fertiles, autogames : la fécondation a lieu avant l'apparition des anthères à l'extérieur. A ces trois stades de la vie de la plante de nombreux « petits caractères » (forme du bec de glume, de glumelle, pilosités, port au tallage, etc.) permettent de distinguer les variétés (**Moule, 1971**).

10- Ecologie de blé tendre

Le blé tendre exige au moins 250 mm d'eau pendant la saison de croissance : on peut le cultiver dans des régions recevant entre 250-270 mm de pluies par ans. La sensibilité à la longueur des jours défère d'un génotype à l'autre, mais la plus part sont des plante de jour longs à réaction quantitative ; la floraison est plus précoce on jour long, mais aucun longueur de jour spécifique n'est recuise pour l'initiation florale (**Anonyme, 2006**).

11-Les stades de développement du blé tendre

Le cycle de développement d'un blé comprend trois grandes périodes (**Figure 03**) :

- la période végétative qui va de la germination aux premières manifestations de l'allongement de la tige principale, c'est-à-dire au début de la montée.
- la période reproductrice allant du début de la montée à la fécondation.
- la période de maturation allant de la fécondation à la maturité complète du grain. (**Moule, 1971**).

11-1 La période végétative :**11-1-1 La phase semis-levée.**

La germination d'une céréale se traduit par la sortie des racines séminales de la coléorhize et, à l'opposé, par la croissance d'une feuille, la coléoptile. Celui-ci sert de manchon protecteur et perforateur du sol pour la première feuille qui sera fonctionnelle et percera le sommet de la coléoptile peu après l'apparition de ce dernier au niveau du sol (**Moule, 1971**).

11-1-2 Phase levée – tallage

On peut distinguer pendant cette phase à travers la coléoptile, un filament ou rhizome terminé par un renflement qui va se gonfler de plus en plus pour former le plateau de tallage qui se forme presque au niveau de la surface du sol. Le plateau de tallage s'épaissit et des racines secondaires se développent très vite. Des nouvelles feuilles apparaissent et à chacune correspond l'apparition d'une talle. La place des épillets fait par un simple étranglement sur la partie supérieure du végétal (**Clément et Prats, 1970**).

11-1-3 Phase tallage-Montaison

La différenciation des épillets se poursuit par étranglements successifs du cône formateur de l'épi. Les talles herbacées se forment activement (**Clément et Prats, 1970**).

11.2 La période reproductrice

Allant du début de la montée à la fécondation. Elle débute par la différenciation et l'élongation des entre-nœuds de la tige principales. L'inflorescence sort de la gaine de dernière feuille : c'est l'épiaison notée au stade 50% d'épis sortis (**Moule, 1971**). Selon Babba(2011), l'épiaison débute quand la gaine éclate laisse apparaître l'épi qui va se dégager peu à peu de celle-ci. À ce stade, on parle de gonflement, le nombre total d'épi est défini, de même que le nombre total de fleur par épi.

11.3 La 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 trois phases principales ; une phase de multiplication cellulaire intense durant laquelle il y a accroissement du poids d'eau et de matière sèche 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 pâle, 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. Le grain devient alors successivement demi dur ; puis dur ; à sur maturité, il est devenu cassant, c'est le stade propice au battage immédiat (Moule, 1971) (Figure 04).

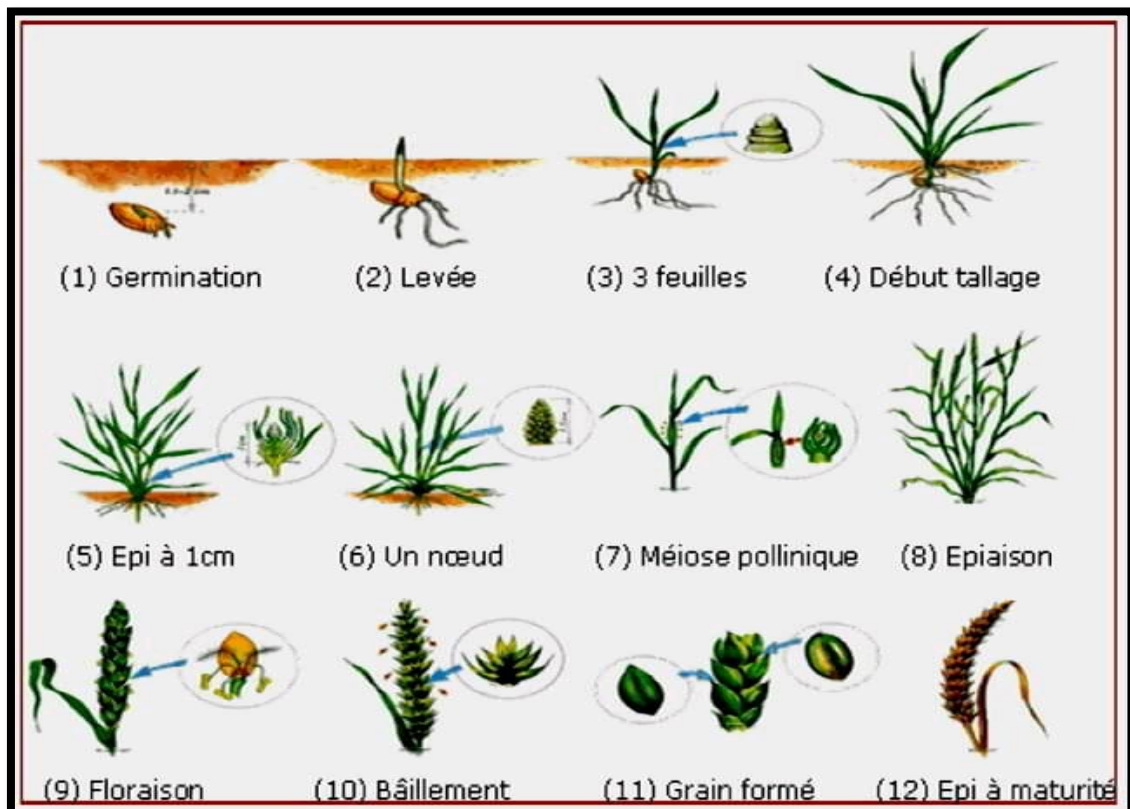


Figure 4 : Les stades de développement de blé [7].

12. Utilisation de blé tendre

La farine de blé tendre entre dans la fabrication de nombreux produits, notamment du pain (levé ou non ; cuit au four, à la vapeur ou en friture), mais aussi des pâtisseries, des biscuits sucrés et salés, des bretzels, des pâtes de l'amidon, des céréales pour déjeuner, des aliments pour bébés et des agents épaississants (**Anonyme, 2006**) (**figure05**).

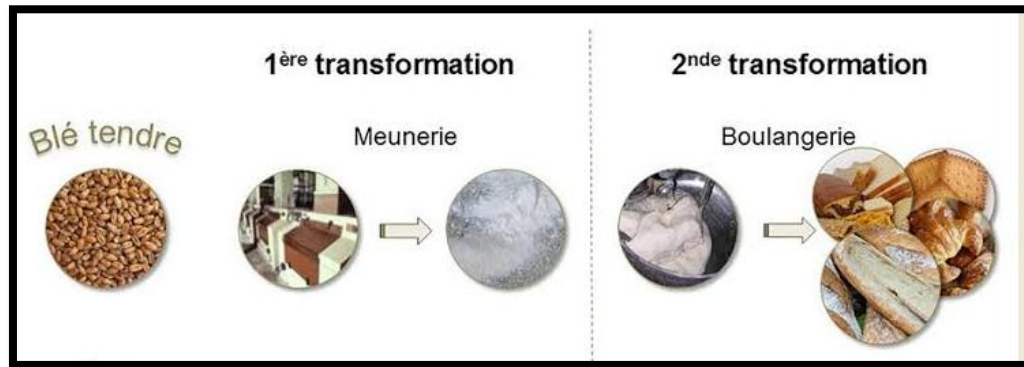


Figure 5 : Utilisation de blé tendre [8].

13- Les exigences de blé

13-1 Exigences climatiques

13-1-1 Température

Une température de 5°C est exigée pour la germination, la température journalière moyenne nécessaire à la croissance optimale au tallage se situe entre 18 et 20°C. Il est sensible à la haute température surtout à la phase de maturité (**cité in Akdif et Goudjil, 2001**).

13-1-2 L'eau

Dès la germination, l'eau peut constituer un facteur limitant important de la croissance du blé. Pour germer, le grain de blé doit absorber une certaine quantité d'eau. Bien que sa capacité d'absorption puisse atteindre 40 à 60 % de son propre poids, la germination commence lorsqu'il absorbe 25 %. Par la suite, à partir de la phase reproductrice, l'eau peut encore constituer un facteur limitant.

Sur le plan cultural, on peut donc considérer que le blé traverse en cours de végétation, deux périodes critiques principales :

- L'une se situant dans les 20 jours qui précèdent l'épiaison.

- L'autre se situant au moment de la maturation, tout particulièrement pendant le palier hydrique (Moule, 1971).

13-1-3 La lumière

Est un paramètre climatique indispensable qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé, le bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement (Soltner, 1988).

13-2 Exigences agrologiques

13-2-Type du sol

Les meilleures terres à blé sont les terres de limon argilo-calcaires et argilo- siliceuses en raison de leur structure généralement bonne, de leur profondeur, de leur bon pouvoir absorbant, de leur réaction voisine de la neutralité. Les terres très riches en humus (tels les tchernozem ukrainiens), noires, bien aérées, nitrifiant régulièrement, sont les meilleures terres à blé du monde (Moule, 1971).

13-2-2 Besoins en éléments fertilisants.

Bien que les chiffres varient selon les auteurs, en raison de l'influence des conditions de milieu (de l'alimentation en eau en particulier) sur la composition des grains et des pailles, on peut estimer les besoins par quintal de récolte fraîche totale (grain + paille) à : 2,1 à 2,7 kg d'azote

2,2 à 4,8 kg de K₂O

1,0 à 1,6 kg de P₂O₅

0,5 à 1,0 kg de CaO (Moule, 1971).

14-Les maladies de blé tendre

Le blé tendre susceptible d'être confronté à différent maladie cryptogamique qui peut pénaliser le rendement et/ou la qualité (Le stum, 2017).

14-1 Les rouilles (rouille brune et rouille jaune)

Les rouilles sont des parasites biotrophes obligatoires et endophytes causées par des champignons Basidiomycètes de l'ordre des Urédinales.

Les rouilles peuvent causer des dégâts très important, notamment la rouille jaune qui peut facilement amputer le rendement de 50% et parfois plus. La cause principale de

développement de ces maladies est les spores très légères peuvent être véhiculées sur de très grandes distances. Il s'agit donc des maladies à développement pandémique, susceptibles de contaminer le blé sur toute une région (Le stum, 2017) (Figure 06).



Figure 6 : Symptômes des rouilles (brune et jaune) [9].

14-2 La septoriose

Septoria tritici se développe sur le blé au cours des hivers doux. Il développe sur les feuilles des taches jaunes, puis brun-clair, devenant coalescentes, jusqu'à dessèchement des feuilles.

Septoriano dorum s'attaque aux nœuds de la tige qui deviennent mous, puis à l'épi et au bec de glumes (brun-noirâtre) (Mouille, 1971) (Figure 07).



Figure 7 : Symptôme de Septoriose [10].

14-3 Carie

La carie du blé, provoquée par des champignons basidiomycètes de la famille des Tillétiacées (**Bruyere, 2011**). Les symptômes n'apparaissent qu'au moment du remplissage des grains. Seul le contenu de grain est transformé en une masse poudreuse noirâtre alors que les glumes et les glumelles sont épargnées. Les épis cariés sont difficiles à détecter avant le battage. Parmi les signes indiquant la présence des épis cariés dans un champ au moment du remplissage des grains, on peut citer la couleur vert foncée des glumes et des glumelles et les épillets qui s'écartent du rachis (**Ezzahiri, 2001**) (**Figure 08**).



Figure 8 : Carie de blé tendre [11].

14-4 L'oidium (*Erysiphe graminis* DC.)

C'est un feutrage mycélien grisâtre qui apparaît d'abord sur les feuilles de base (face inférieure généralement) puis les feuilles et gaines des parties moyennes et supérieures de la plante. Il est fréquent en printemps chaud et humide, en semis également dense sur un sol riche en azote (**Figure 09**).



Figure 9 : Symptômes de l'oïdium de blé tendre [12].

14-5 Fusarioses

Fusarium nivale Ces. Est l'agent de la « pourriture nivale » c'est-à-dire de la fonte des semis de fin d'hiver. Cette maladie est commune dans les régions froides du nord de l'Europe. En France elle se rencontre fréquemment encore dans l'Ouest et le Nord. Le parasite provoque des lésions sur coléoptile et sur la première feuille des jeunes plantules, entraînant des courbures plus ou moins fortes et finalement la non-levée (Moule, 1971) (Figure10).








Figure 10 : Fusariose de blé [13]

15- Les ravageurs de blé tendre

La mouche mineuse, cicadelle, pucerons, criquet...etc. : ravageurs de blé tendre sont présents tout au long cycle de la culture. Ils peuvent provoquer jusqu'à 30 q/ha de perte de rendement (Tableau 1) [14].

Tableau 1 : Principaux insectes ravageurs du blé tendre (Ayadi, 2019).

Nom commun	Nom scientifique	Parties attaquées	Figures
La mouche de Hesse	<i>Mayetiola destructor</i>	Grains	
Vers blancs (Hanneton européen)	<i>Geotro gusdeserticol</i>	Racines	
Puceron	-Sitobion <i>Rhopalosiphum pad</i>	Feuille et jeunes épi	
Punaise	<i>Eurygasterb sp</i>	Epis	
Criquet	<i>Ocneridia volxemi</i>	Feuilles et tiges	



Chapitre 2
Types de Stress

1-Notion de stress

Selon les définitions, Un stress désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé, une force qui tend à inhiber les systèmes normaux. Le stress chez les plantes apparaît avec des significations différentes en biologie, qui convergent principalement en attribuant le stress à n'importe quel facteur environnemental défavorable pour une plante (**Levitt, 1982**). D'autre part, les stress environnementaux nés de la fluctuation du facteur abiotique (sécheresse, salinité, température) affectent les conditions de croissance, le développement et le rendement des plantes (**Madhava et al., 2006**).

2-types de stress

On distingue deux grandes catégories de stress :

- ✓ **Stress Biotique** : imposé par les organismes vivants (insectes, herbivores....etc.).
- ✓ **Stress Abiotique** : provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physicochimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité (**Hopkins, 2003**).

2-1 Stress salin

La salinité est définie comme une accumulation excessive de sel dans les sols ou dans les eaux à un seuil pouvant avoir un impact sur les activités des plantes, des animaux, des écosystèmes aquatiques et sur l'agriculture. Il est défini comme une concentration excessive en sel, ce terme s'applique surtout à un excès des ions, en particulier Na^+ et Cl^- (**Hopkins, 2003**).

2-3 Stress thermique

La température est l'un des principaux facteurs qui conditionne la productivité des plantes. Les plantes qui poussent dans des régions désertiques et dans des régions cultivées semi-arides sont soumises à des températures élevées en même temps qu'à des niveaux de radiations élevées, à des faibles taux d'humidité du sol et effet de stress hydrique (**Boyer, 1982**).

D'une manière générale, une augmentation modérée de la température accélère le développement de la plante, ce qui conduit à une réduction de sa phase photosynthétique et donc à une diminution du potentiel maximal d'apport des organes sources.

Le stress thermique influence généralement l'activité photosynthétique, et la réduction de la teneur en eau causée par la chaleur impacte négativement la division et la croissance cellulaire (**Hasanuzzaman et al.,2013**). Cependant, l'effet du stress thermique sur le développement et laphysiologie de la plante dépend de l'intensité, la durée et l'amplitude de variation de la température (**Wahid et al.,2007**).

2-4 Stress hydrique

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la productivité agricole autour du monde (**Boyer, 1987**). Le stress provoqué par un déficit hydrique est bien plus fréquent. Un déficit hydrique s'installe lorsque l'eau disponible pour la plante ne lui permet pas de répondre à la demande climatique (**Djebbar, 2012**). Il existe de nombreuses définitions du stress hydrique. En agriculture, il est défini comme un déficit marqué et ce compte tenu des précipitations qui réduisent significativement les productions agricoles par rapport à la normale pour une région de grande étendue .En effet, on assiste à un stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période ou lorsque sa mauvaise qualité en limite l'usage (**Madhava et al., 2006**).

3- L'eau dans la plante

L'eau et le constituant majeur de la cellule végétale, elle est localisé essentiellement dans la vacuole (entre et 90 du volume de la cellule adulte).Elle est responsable de la turgescence tissulaire qui est impliquées dans plusieurs processus tels que le port de la plante. La croissance, le fonctionnement des stomates et la circulation des éléments minéraux. L'eau est également essentielle à la réaction chimique du métabolisme. Tous les processus physiologiques vont être modifiés par le stress hydrique et ces changements vont faire graduellement en conditions de terrain (**Taiz et Zeiger ,2006**).

4- Définition de stress hydrique

Le stress hydrique a été définit 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 de facteurs ayant pour conséquence le stress. D'autres auteurs limitent la définition du stress aux seules conditions correspondant à une hydratation suboptimale des tissus (**Figure 11**) (**Lamaze et al., 1994**).

Hulse (1989) définit deux types de sécheresse : la sécheresse météorologique et la sécheresse agricole:

- il y a sécheresse météorologique quand les précipitations chutent significativement en dessous d'une moyenne défini à long terme sur une superficie étendue et durant une longue période.
- on parle de sécheresse agricole quand la quantité (et la distribution) des précipitations est assez basse pour causer de sérieuse chutes de rendement des cultures.



Figure 11 : Blé tendre sous stress hydrique [15]

5- Effets du stress hydrique sur la plante

Les effets du stress hydrique touchent toutes les fonctions de la plante. Une réduction de la quantité d'eau disponible influe sur le métabolisme et les processus physiologiques qui contrôlent la croissance et le développement de la plante. Ces effets se répercutent par la suite sur le rendement et les composantes de rendement ainsi que sur la qualité. Le stress influe sur divers processus biochimiques du fonctionnement de la plante, ainsi que sur le potentiel foliaire, la résistance stomatique, la transpiration et la photosynthèse nette. Le point critique du potentiel foliaire qui correspond au début de l'augmentation de la résistance stomatique est souvent pris comme repère de l'apparition d'un stress hydrique. Le stress influe aussi sur les caractéristiques physiques de la plante telles que le diamètre de la tige, la température de surface des feuilles, ou encore la structure du couvert: variations diurnes de la surface foliaire par modification de la position des feuilles (enroulement des limbes) dans le cas de céréales (Aidaoui et Hartani, 2000).

5-1 Effet sur les échanges gazeux et la transpiration

De nombreux facteurs endogènes et environnementaux influencent l'état d'ouverture des stomates. L'intégrité de différents signaux par les cellules de garde permet de réguler le degré d'ouverture stomatique afin d'optimiser l'assimilation de CO₂ en fonction des conditions environnementales et de l'état physiologique de la plante. Dans le cas d'un stress hydrique, par exemple, ce système de régulation permet de limiter la perte d'eau qui pourrait être fatale à la plante en inhibant l'ouverture des stomates par la lumière au début de journée. Ceci diminue l'assimilation du CO₂, et ralentit, donc, le métabolisme et le développement, mais permet à la plante de survivre. Le stress hydrique influence l'état de turgescence des cellules de garde essentiellement par l'intermédiaire d'une phytohormone : l'acide abscissique (Belin, 2006).

5-2 Effet sur 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 (Hopkins, 2003).

5-3 Effet sur la turgescence

Le maintien de la turgescence cellulaire est une condition nécessaire pour que les métabolismes de la plante soient préservés quand le potentiel hydrique diminue (Zamboni et Iacano, 1988).

5-4 Effet sur la croissance

Un déficit hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa production par rapport au potentiel du génotype. Un déficit hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (Slama et al., 2005).

5-5 Effet sur le rendement

Selon leur intensité et leur positionnement dans le cycle de développement, le stress hydrique influence les rendements ainsi que la composition des graines. Un déficit hydrique après la fécondation réduit la taille des organes et si elle se poursuit pendant la phase de remplissage, elle affecte leur composition. Les différents métabolismes étant inégalement affectés par le déficit hydrique, les concentrations relatives des différents composés sont

modifiées : un manque d'eau induit généralement une baisse des teneurs en amidon et en huile des graines, et une augmentation des teneurs en protéines (**Hireche, 2006**).

5-6 Effet sur la photosynthèse

L'effet dépressif d'un déficit hydrique sur la photosynthèse résulte d'une baisse de la conductance stomatique, d'une altération de l'appareil photosynthétique et/ou d'une diminution de la surface foliaire. La photosynthèse est réduite en raison de la fermeture des stomates, puis elle est affectée par suite de l'altération de l'appareil photosynthétique (réduction de l'assimilation chlorophyllienne, inactivation de l'enzyme fixatrice du CO₂, ...). Cela conduit à une limitation du transfert des assimilât des feuilles vers les épis et réduit, en conséquences, le remplissage des grains (**M'bareketal., 1994**).

6-Adaptation à la sécheresse

L'adaptation se définit comme la capacité d'une plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans des zones sujettes à des stress de périodicités connues (**Bensemene, 2004**). Plusieurs études ont montré que, lors d'un déficit hydrique, les plantes adoptent des stratégies d'adaptation qui diffèrent d'une espèce à une autre et qui font intervenir une large combinaison de facteurs morphologiques, physiologiques et phénologiques. (**tableau 2**).

6-1 Adaptations phénologiques

Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse de fin de cycle (**Slama et al., 2005**).

6-2 Adaptations morphologiques

L'effet de la sécheresse peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilât. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine : réduction de la surface foliaire et du nombre de talles, enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire (**Slama et al., 2005**).

6-2-1 Surface foliaire

La diminution de la surface de la feuille sous stress hydrique est considérée comme une réaction de résistance moyenne ou d'adaptation au manque d'eau (**Blum, 1996**). Un autre type d'adaptation foliaire développé par la plante face à un manque d'eau est l'enroulement de la feuille qui peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation (**Amokrane et al., 2002**).

6-2-2 Système racinaire

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol est un trait essentiel pour la résistance à la sécheresse (**Subbarao et al., 1995**).

6-2- 3 Longueur des barbes

La longueur des barbes est un paramètre morphologique qui semble être étroitement lié à la tolérance au déficit hydrique terminal, tout au moins chez le blé dur (**Hadjichristodoulou, 1985**).

6-2-4 La longueur de l'épicotyle

Cette longueur est considérée comme un critère de sélection très important de la tolérance au déficit hydrique (**Aoudjegout, 1996**).

La longueur est mesurée à partir de la couronne ou premier nœud jusqu'à la sortie de la première vraie feuille.

7-Adaptations physiologiques**7-1 État hydrique de la plante**

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante. 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. 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 (**Slama et al., 2005**).

7-1-1 Teneur relative en eau (TRE%)

La teneur en eau est la perte en masse d'eau après séchage, exprimée en pourcentage, subie par le produit dans les conditions décrites dans des normes que nous utilisons pour sa détermination (**Melki, 2008**).

7-2 Fonctionnement stomatique

Les stomates jouent un rôle fondamental dans la régulation des pertes en eau de l'appareil foliaire. La régulation de l'ouverture-fermeture des stomates dépend, du potentiel hydrique foliaire et de l'humidité de l'air au champ (**Turner, 1997**) Le degré de fermeture des stomates est déterminé par la mesure de la conductance stomatique (**Grieu et al., 2008**). Une faible conductance conduit à une fermeture des stomates rapide en conditions de déficit hydrique. Les génotypes à faible conductance sont plus sensibles au déficit de vapeur et à la baisse du potentiel hydrique foliaire que les génotypes à forte conductance. Une faible conductance est généralement proposée comme un trait favorable à l'adaptation à la sécheresse (**Jones et Rawson, 1979**).

7-3 Ajustement osmotique

De nombreuses plantes réagissent au stress hydrique par une diminution du potentiel osmotique, provoqué par l'accumulation de soluté. Ce processus est appelé ajustement osmotique (**William et Hopkins, 2003**). Cette réponse permet éventuellement de maintenir la turgescence foliaire à une valeur positive, en dépit d'un abaissement du potentiel hydrique du milieu (**Winkel et Do, 1992**). L'ajustement osmotique est réalisé grâce à une accumulation des solutés principalement vacuolaire conduisant à un maintien du potentiel de turgescence (**Blum, 1989**).

7-3-1 Les sucres

Sont considérés par plusieurs auteurs comme de bons osmorégulateurs qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (**Slama et al., 2005**).

7-3-2 L'accumulation de la proline

Accumulation de proline est une réaction de la plante vis-à-vis du stress, elle est nécessaire comme ajustement osmotique (osmoticum) dans l'alimentation hydrique des plantes et pourrait être considérée comme un critère approprié de la tolérance (**Cheikh et al., 2008**).

7-4 La teneur en chlorophylle :

Chlorophylle est le pigment vert qui permet aux plantes de photo synthétiser, à travers la photosynthèse, qui utilise l'énergie lumineuse pour convertir le dioxyde de carbone et l'eau en composants de bases pour les plantes (**Temagoult, 2009**).

La sécheresse est un facteur écologique qui perturbe également le mécanisme photosynthétique de transfert d'électrons (**Havaux et al., 1988**).

Tableau 2 : Paramètres phénologiques et morpho physiologiques d'adaptation au déficit hydrique (**Monnoveux, 1991**).

Paramètres d'adaptation	Exemples
Paramètres phénologique	Précocité
Paramètres morphologiques paramètres macromorphologiques paramètres micro morphologiques	<ul style="list-style-type: none"> - extension du système racinaire - port et surface des feuilles - taille du chaume - longueur des barbes - enroulement des feuilles - densité du trichome - glaucescence et couleur des familles - présence de cires - densité et taille des stomates - compaction du mésophile - épaisseur de la cuticule - nombre et diamètre des vaisseaux au xylème racinaire
Paramètres physiologique	<ul style="list-style-type: none"> -effets stomatiques et non stomatiques du déficit hydrique sur la photosynthèse -réduction de la transpiration par fermeture des stomates - maintien d'un potentiel hydrique élevé -osmorégulation (accumulation d'ions minéraux, de proline, de sucres solubles)

8- Stratégies de la réponse des plantes au stress hydrique

Afin de surmonter la contrainte hydrique, les plantes ont recours à des comportements qui leur permettent de survivre par des mécanismes d'adaptation en préservant de leurs fonctions physiologiques (Meftah, 2012).

8-1 L'esquive

Est l'une des stratégies d'amélioration variétale qui consiste à raccourcir le cycle d'une variété afin de lui permettre de parvenir jusqu'à la maturité durant une période humide. FISHER et al ont montré dans une étude sur 53 cultivars de blé, d'orge et de Triticale, que chaque jour de précocité confère un gain de rendement compris entre 30 et 85 kg/ha. Toutefois la précocité à la floraison s'accompagne d'une réduction du potentiel de production. Par diminution du nombre de sites de remplissage). De plus les variétés précoces ont de faibles potentiels en année favorable (Mekliche et al., 2003).

8-2 L'évitement

Qui permet le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante. Ceci peut être obtenu par une réduction de la transpiration s'effectuant par la cuticule et les stomates incomplètement fermés. La glaucescence, la pilosité des feuilles ou des liges, la couleur claire des feuilles et la présence des cires qui est un caractère génétique et qui s'extériorise en conditions de stress hydrique induisent toute une augmentation de la réflectance qui conduit à une réduction des pertes d'eau. La couleur des organes de transpiration liée au rapport chlorophylle a/chlorophylle b et la présence de pigmentation (anthocyanes, caroténoïdes) ont un effet sur la proportion de la réflectance lumineuse de la feuille et par conséquent sur la température foliaire. La réduction de la surface foliaire tend à minimiser les pertes en eau en réduisant la transpiration mais peut aussi diminuer le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique (Mekliche et al., 2003).

8-3 Tolérance

La tolérance à la sécheresse est définie comme la capacité d'une plante de croître, fleurir et d'atteindre une production économique sous les conditions sub optimales en approvisionnement en eau. Cette stratégie est un abaissement du potentiel hydrique qui s'exprime par un maintien de la turgescence. Rendu possible grâce à l'ajustement osmotique. L'ajustement osmotique est réalisé grâce à une accumulation des solutés (principalement vacuolaire) conduisant à un maintien du potentiel de turgescence les solutés responsables de

l'osmorégulation sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés et des sucres. Certains constituants inorganiques peuvent être présents. Parmi les acides aminés, l'accumulation de la proline pourrait conduire à une osmorégulation plus efficace. L'ajustement osmotique peut être aisément évalué à partir des mesures de potentiel osmotique et de teneur relative en eau, l'accumulation des sucres solubles étant la cause essentielle de la baisse du potentiel osmotique (**Mekliche et al., 2003**).

Chapitre 3
Effet Du Stress Hydrique sur le
blé tendre
(Quelque Travaux)

1-Effets du stress hydrique sur le blé tendre (quelques travaux réalisés) :

Plusieurs travaux ont été réalisés sur la réponse des céréales vis-à-vis le stress hydrique.

Dans ce chapitre on va discuter les résultats de quelques travaux effectués sur le blé tendre.

1-1 Effets du stress hydrique sur la surface foliaire

Dans le travail de Bakha et Boudekhane (2019) réalisé sur dix génotypes de blé tendre saharien [Eskandaria(T1), Kedoura(T2), Chouitar(T5), Oum zhira(T6), Mansouri(T8), Fritici(T10), Chatar(T11), Sebage(T12), Bakli(T13), Bent mbarek(T14)]. La surface foliaire a été mesurée à l'aide de logiciel (version 1.46r) en Pixel.I. La quatrième feuille a été coupée et fixée sur un papier blanc. La feuille est ensuite photographiée et mesurer automatiquement par le logiciel.

Les résultats obtenus ont montré que la surface foliaire en Pixel est plus élevée chez les témoins par rapport au stressés. Ils ont observé une diminution variable de la surface foliaire chez les 10 génotypes étudiés. Ils ont constaté une véritable chute de la surface foliaire chez le génotype Chatar1, tandis que le génotype Fritici a présenté la plus faible diminution (**Figure12**).

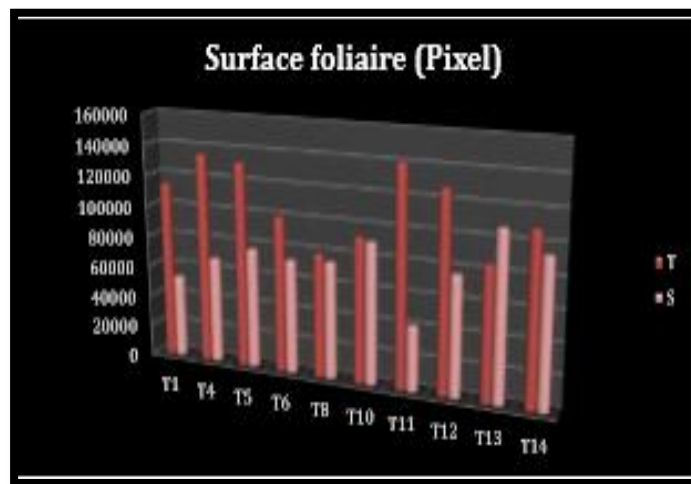


Figure 12 : variation de la surface foliaire des différents génotypes étudiés (Bakha et Boudekhane, 2019)

1-2 Effet sur la longueur des racines

Dans le même travail (Bakha et Boudekhane, 2019), la longueur des racines est déterminée comme étant la longueur de la racine la plus longue, les mesures ont été mesurées à l'aide d'une règle graduée et ce pour évaluer la croissance de la plante vis -à-vis du stress (**Figure13**).

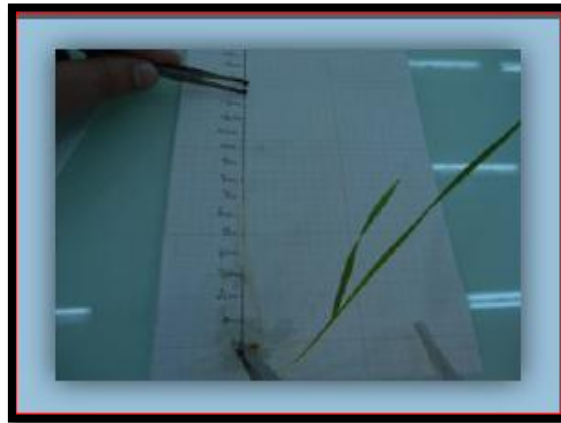


Figure 13 : La longueur des racines (Bakha et Boudekhane, 2019).

Résultats

Les résultats de ce paramètre ont montré une faible diminution de la longueur des racines principales chez les individus stressés pour les génotypes T1, T4 et T11. D'un autre côté les plantules des restes génotypes ont montrés une augmentation de la longueur des racines surtout au niveau de T5, T6, T8 et T14.

1-3 Effet sur le nombre des racines

Une variation très intéressante des valeurs de nombre des racines entre les témoins et les plantes stressés est enregistrée dans le travail de Bakha et Boudekhane (2019). Le comptage a été effectué sur les racines principales uniquement.

Résultats

Le comptage des racines a permis de distinguer deux classes de génotypes, la première où on a enregistré une augmentation du nombre chez les plantes stressées le cas de : T4, T6, T12 et T14. Par contre les génotypes T1, T5, T8, T10, T11 et T13 ont présentés un nombre inférieur par rapport aux témoins (**Figure 14**).

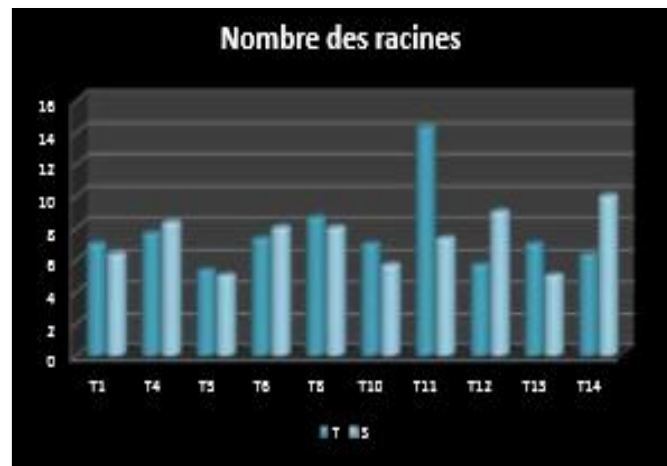


Figure 14 :variation du nombre moyen des racines des différentes variétés étudiées (**Bakha et Boudekhane, 2019**)

1-4Effet sur la longueur de l'épicotyle

Dans le travail de Brahim (2017) réalisé sur le blé tendre variétés (Ain Abid, Anza, ARZ, Mahon Démiás et Hiddab1220), la longueur est mesurée à partir de la couronne ou premier nœud jusqu'à la sortie de la première vraie feuille (**Figure15**).

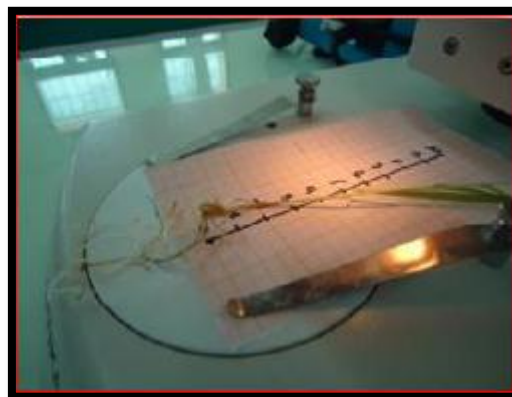


Figure 15 :La longueur de l'épicotyle

Résultats

Les résultats de ce travail ont montré qu'un effet variable du stress salin et hydrique sur la croissance de la partie aérienne de variété MD par rapport au témoin. D'après les résultats obtenus on a pu dire que la variété MD est sensible au stress salin et moyennement tolérant au stress hydrique.

1-5 Effet sur la teneur relative en eau (TRE%)

Une comparaison entre l'évolution de la teneur en eau des dix génotypes de blé tendre saharien étudié par Bakha et Boudekhane (2019) selon la méthode de Barrs (1968) (**Figure 16**).



Figure 16 : Etapes de mesure de la teneur relative en eau (**Bakha et Boudekhane, 2019**)

Résultats

Ont montré que la teneur relative en eau diminue au fur et à mesure que le déficit hydrique s'accroît. Les teneurs relatives en eau les plus élevées sont enregistrées chez les témoins irrigués, avec une valeur maximale observée chez les génotypes T12 et une valeur minimale de 55% enregistrée chez le génotype T5. Les bâtons montrent une diminution de la teneur relative en eau chez tous les génotypes étudiés en présence de stress hydrique, la valeur minimale a été notée chez le génotype T11 avec 20% et la valeur maximale (68%) enregistrée chez le génotype T1 (**Figure 17**).



Figure 17 : variation de la teneur relative en eau des génotypes de blés tendres étudiés (**Bakha et Boudekhane, 2019**)

1-6 Effets sur le fonctionnement stomatique

Ferrah et Ikhlef (2016) dans un travail réalisé sur le blé tendre variété (Hiddab1220), ont mesuré la conductance stomatique au niveau des feuilles, qui exprime le niveau de fermeture/ouverture des stomates à l'aide d'un prometteur type *Leaf porometer Model SC*.

Résultats

Les résultats de la mesure de la conductance stomatique indiquent que les stomates sont plus ouverts chez les plantules issues de grains ayant subi un traitement pré-germinatif et cela pour celles « arrosées » et « non arrosées » comparativement aux plantules issues de semences non durcies. Les valeurs de cette conductance stomatique varient selon la méthode d'amorçage appliquée.

1-7 Effet sur la teneur en sucres

Melki (2007) dans un travail réalisé sur le blé tendre variétés (Ain Abid, Anza, Mahon Démias, Hiddab1220), a dosé les sucres solubles par la méthode au phénol de Dubois et *al.* (1956) (**Figure 18**).



Figure 18 : Dosage des sucres solubles (Melki, 2007).

D'après les résultats obtenus, il a remarqué que le taux des sucres solubles est diminué dans les variétés MD, ANZA, Ain Abid stressées par rapport aux variétés témoins. Par contre chez la variété HD, il y a une augmentation de taux de sucres par rapport à la même variété témoin. Un déficit hydrique moyen amplifie davantage l'augmentation du taux des sucres. Sur

Chapitre 3 Effet du Stress Hydrique sur le blé tendre (Quelque travaux)

le plan variétal, les valeurs moyennes des 03 répétitions indiquent que les feuilles des variétés HD sont plus riches en sucres que celles des autres variétés (**Figure19**).

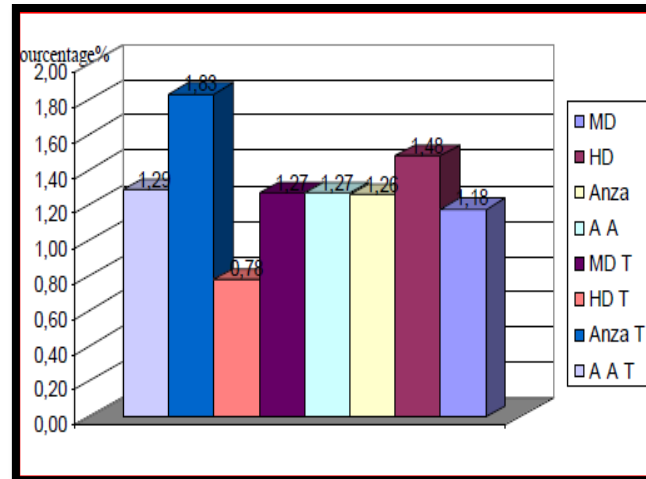


Figure 19 :L'effet du stress hydrique sur le taux des sucres solubles (**Melki, 2007**)

1-8 Effet sur l'accumulation de la proline

La proline a été dosée par la méthode de Troll et Lindsley (1955) dans le travail de Brahim (2017) réalisé sur le blé tendre (Ain Abid, Anza, ARZ, Mahon Démiat, Hiddab1220) (**Figure20**).



Figure 20 :Dosage de proline (**Brahimi, 2017**).

Les résultats obtenus indiquent que les contenus en proline des feuilles des plantules soumises au stress hydrique sont plus élevés par rapport aux témoins chez les variétés Ain Abid et ANZA. L'accumulation de cet acide aminé peut en effet jouer un rôle dans

Chapitre 3 Effet du Stress Hydrique sur le blé tendre (Quelque travaux)

l'osmorégulation des cellules en cas de déficit hydrique et servir comme indicateur de la sécheresse et/ou un détecteur de stress (**Figure 21**).

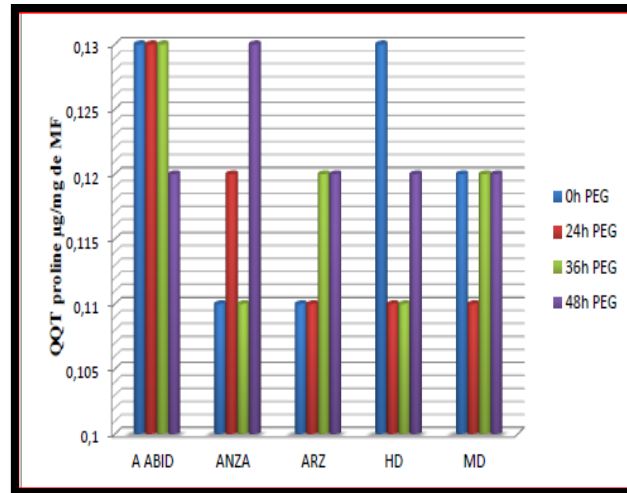


Figure 21: Variation de la teneur en proline chez les variétés étudiées en fonction de la durée du stress hydrique (**Brahimi, 2017**).

1-9 Effet sur la teneur en chlorophylle :

Melki (2007) dans un travail réalisé sur le blé tendre (Ain Abid, Anza, Mahon Démias, Hiddab1220) a déterminé la teneur en chlorophylle par la méthode de Mackiney (1941).

Résultats

Il a observé une diminution de taux de chlorophylle des variétés stressées par rapport aux variétés témoins.



Conclusion

Conclusion

Conclusion

Au terme de ce travail de recherche sur l'effet du stress hydrique sur le blé tendre, les résultats de quelques travaux réalisés sur plusieurs variétés de blé tendre ont été discutés.

Les résultats obtenus par les travaux antérieurs nous permettent de constater que :

- Le stress hydrique diminue la surface foliaire
- diminution de la longueur des racines principales chez les individus stressés
- Le stress hydrique a un effet sur le nombre des racines chez quelques variétés de blé tendre
- Le stress hydrique a un effet sur la longueur des barbes et ainsi sur le rendement
- La croissance de la partie aérienne est sensible chez quelques variétés
- La teneur relative en eau diminue au fur et à mesure que le déficit hydrique s'accroît.
- Le taux des sucres solubles est diminué chez quelques variétés (MD, ANZA, Ain Abid)
- Diminution de taux de chlorophylle des variétés stressées (Ain Abid, Anza, Mahon Démiat, Hiddab1220).

En perspective, il serait intéressant de poursuivre cette étude par une étude pratique sur plusieurs variétés pour déterminer leur sensibilité au déficit hydrique.



**Référence
Bibliographiques**

Référence Bibliographiques

1. **Aidaoui A. et Hartani T., 2000.** Gestion de l'irrigation du blé dur par des indicateurs de l'état hydrique. CIHEAM. N° 40 P : 579-582
2. **Ait kiki Y., 1993.** Contribution à l'étude des mécanismes morphologique et biochimique de tolérance au stress hydrique sur cinq variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) .thèse de Magister Université de Annaba, 120p
3. **Akdif A.etGoudjil K., 2001.** Détermination des besoins en eau de quatre Variétés du blé dur de type tardif. Thèse. Ing en agronomie INRA El Harrach. pp36-4
4. **Al Hakimi A., 1992.** Evolution de la variabilité génétique des caractères d'adaptation à la sécheresse chez les espèces primitive (sauvages et cultivées) de blé tétraploïde. Thèse DEA Montpellier. 186p.
5. **Amokrane A. Bouzerzour H. Benmahammed A. et Djekoun A., 2002.** Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. Sciences et Technologie.Numéro spécial D. 33-38 p.
6. **Ayadi S., 2019.**Bioécologie des insectes ravageurs inféodés au blé dur et tendre (*triticum l*) dans la région de Constantine. Mémoire de master de biologie. Biologie et contrôle la population d'insectes. Université de frères Mentouri Constantine Alegria. 48p
7. **Anonyme., 2006.**Céréales et légume sec. Wageningen, Pays-Bas, 200p
8. **Bakha W et Boudekhane A., 2019.**Contribution à l'étude des paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques sous stress hydrique d'une collection de blé tendre saharien. Mémoire de Master. Biotechnologie végétale. Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi. 41p.
9. **Belin Ch., 2006.**Structure et fonction de la protéine Kinase OSI1 dans la cellule de garde d'*Arabidopsis Thaliana*. Université de paris-sud U-R-F scientifique d'Orsay. Paris, thèse de doctorat : 12p.
10. **Bensemene L., 2004.** Contribution à l'étude de la cinétique d'accumulation et répartition de la matière sèche chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. Mémoire de magister. Faculté des sciences. UFA Sétif. 80p.
11. **Blum A., 1989.**Osmoticadjustment and growth of barley genotypes under drought stress. CropSci. N°29 P: 230-233.

Référence Bibliographiques

12. **Boufenar F. et Yalloui N., 2006.** Productivité, production et performance des exploitations agricoles adhérentes au programme d'intensification céréalière, campagne agricole 2002/2003 et 2003/2004. Revue céréaliculture N°45.51p.
13. **Bouchelaghem S., 2012.** Contribution à l'étude de l'impact d'un engrais couramment utilisé en Algérie (NPK) sur la croissance le métabolisme et le développement racinaire d'un modèle Végétale blé dur. Thèse de doctorat. Université. Constantine.
14. **Boughedah N., 1999.** Contribution à l'étude de l'interaction grosseurs des graines stress hydrique pour quelques paramètres physiologiques chez le blé dur (*triticum durum*), P 35.
15. **Boyer JS., 1985.** Water transport. Ann Rev plant physiol. N° 36: 473-516.
16. **Brahimi H., 2016.** Variations phénotypiques pour la tolérance aux stress salin et hydrique chez le blé tendre (*Triticum aestivum L.*). Mémoire de Master Académique. Université Mohamed Boudiaf - M'SILA. 55p
17. **Chadefaud M. et Emberger L., 1996.** Traité de botanique. Systématique. Les végétaux vasculaires par L. Emberger. Fasciculé Masson et Cie. Tome II. 753p.
18. **Chahbar S., 2008.** Études des paramètres morphologiques et physiologiques de résistance à la sécheresse chez la fève (*Vicia faba L.*). Laboratoire de physiologie végétale. Oran. Mémoire de magister : 15-16p.
19. **Clement G. et Prats J., 1970 .** Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed. 351p
20. **Debaekea P. Cabelguenne M. Casals ML. et 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. Epic phase-blé. Agronomie. N°16 P: 25-46.
21. **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. 97p
22. **Djermoun A., 2009.** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. Revue Nature et Technologie. N° 01. P : 45-53
23. **Dubois M, Gilles K, Hamilton A, Ruberg A, et Smith F., 1956.** Colorime tric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry. vol 28 N°3 P:350-356.
24. **Ezzahiri B., 2001.** Les maladies du blé. Programme national de transfert de technologie en agriculture (PNTTA) N°77 IAVH II.
25. **Feillet P., 2000.** Le grain de blé composition et utilisation. Ed. INRA. Paris, 308 p.

Référence Bibliographiques

26. **Ferrah I et Ikhlef S., 2016.** Tolérance au stress hydrique de plantules de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) issues de grains ayant subi un hydropriming ou un osmopriming. Mémoire de Master. Sciences du Végétal et Biotechnologie. Université Houari Boumediene. 42p
27. **Geigenberger P. Reimholz R. Geiger M. Merlo L. Canale V., et Stitt M. 1997.** Barley yield in water stress conditions. The Influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crop Res.* N°62 P: 23 -34.
28. **Ghennai A. Zérafa Ch. et Benlaribi M., 2017.** Étude de la diversité génétique de quelques variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et de blé dur (*Triticum durum* Desf.) selon la base des caractères de l'U.P.O.V. vol 113 N° P : 11246-11256
29. **Grieu P. et Maury P. Debaeke P. et Sarrafi A., 2008.** Améliorer la tolérance à la sécheresse du tournesol : apports de l'écophysiologie et de la génétique. *Innovations Agronomiques.* N°2 P: 37-51.
30. **Hadjichristodoulou A., 1985.** Stability of Performance of Cereals in Low- Rain fall Areas as Related to Adaptive Traits. *Drought Tolerance in Winter Cereals Proceedings of an International Workshop.* Capri, Italy. pp : 191-199.
31. **Havaux M, Ernez M. et Lannoye R., 1988.** Sélection de variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) adaptées à la sécheresse par la mesure de l'extinction de la fluorescence de la chlorophylle in vivo. *Agronomie.* Vol 8, N°3 P : 193-199
32. **Hopkins L., 2003.** *Physiologie végétale.* Editions de Boeck. Université rue des minimes, Bruxelles : 451-464 p.
33. **Hulse J.V et Forword., 1989.** *Drought resistance in cereals* F.W.G Baker Ed, CAB international.
34. **INRAA., 2016.** Bilan de la campagne céréalière 2014/2015. Observatoire National des filières Agricoles et Agroalimentaires, 12 p.
35. **Jones M.M. et Rawson H.M., 1979.** Influence of rate of development of leaf water deficit upon photosynthesis, leaf conductance, water use efficiency, and osmotic potential in sorghum. *Physiologia Plantarum.* N°45 P: 103–111.
36. **Laala Z. Oulmi A. Saraoui T. Haddad L., Nouar H. Benmahammed A. et Bouzerzour H., 2009.** Effet de la sélection de la biomasse et des épis sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf) sous conditions semi-arides. 1 : Vol. 1 N° 4

Référence Bibliographiques

36. **Lamaze T. Tousch D. Sarda X. Grignon C. Depigny-This D. Monneveux P. et Belhassen E., 1994.**Résistance De Plantes à La Sécheresse: Mécanismes Physiologiques. Le Sélectionneur Français.N°45 P: 75-85.
37. **M'barek B. Mounir N. Et Mohsen S., 1994.** Effet d'un déficit hydrique, survenant a différents stades de développement du blé, sur l'humidité du sol, la physiologie de la plante et sur les composantes du rendement. Medit. N°2. P: 53-60
38. **Madhava Rao KV. Raghavendra AS.et JanardhanReddy K., 2006.** Printed in the Netherlands. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer. 1-14 p.
39. **Mefteh y., 2012.** Effet du stress sur le comportement de deux populations de niébé (*vigna unguiculata* L.) inoculées par quatre souches rhizobia autochtones. Mémoire de magistère en agronomie. Ecole nationale supérieure agronomique El Harrach-Alger. 97p
40. **Mefti M. Bouzerzour, H.Abdlguerfi A et Nouar H., (2008).** Morphological and growth characteristics of Perennial Grass, cultivars grown under semi-arid conditions of the Algerian highplateaus. Journal of agronomy, vol 7 N°2 P: 138 – 147.
41. **Mekliche A. Boukecha D. et Hanifi-Mekliche L., 2003.**Étude de la tolérance a la sècheresse de quelques variétés de blé dur (*triticum durum* desf). Effet de l'irrigation de complément sur les caractères phenologique, morphologiques et physiologique. Annales de l'institut national agronomique.vol1.24. N°1 P: 93-107
42. **Melki M., 2008.** Comportement Différentiel De Quelques Variétés De Blé Tendre (*Triticum aestivum* L.) Vis-A-Vis Le Stress Hydrique. Mémoire Des Etudes Supérieures En Biologie.Université Mohamed Boudiaf – M'sila. 26p
43. **Moule C., 1971.** Céréales Tom 2. La Maison Rustique –Paris. 95p
44. **Monneveux Ph., 1991.** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ?. N°14 P : 165-186.
45. **Mouellef A., 2010.** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire de magistère. Université Mentouri. Constantine.
46. **Smadhi D. Zella L. et Bachir H., 2017.**Droughts in semi-arid cereal regions of Alegria. J fundamappl sc. vol 9, N°2 P: 1063-1073
47. **Slama A. Bensalem M. BenNaceur M et Zid E., 2005.** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sècheresse et mécanismes de résistance. Sécheresse, vol 16, N°3 P: 225-229

Référence Bibliographiques

- 48. Soltner D., 1988.** Les grandes productions végétales céréales plantent sarclées. 16ème édition, collection sciences et techniques agricole. P : 466-229
- 49. Stum H., 2017.** Le blé. édition France agrocole. Production végétale et grandes cultures. 269 p.
- 50. Subbarao GV. Johansen C. Slinkard AE. Nageswara RC. Saxena NP. et Chauhan S., 1995.** Strategies for improving drought resistance in grain legume. Crit Rev Plant Sci. N°14 P: 469-523.
- 52. Temagout M., 2009.** Analyse de la variabilité de la réponse au stress hydrique chez des lignées recombinantes de Tournesol (*Helianthus annuus* L.) Thèse de Magistère Université Mentouri Constantine.
- 53. Turner N.C., 1997.** Further progress in crop water relations. Adv Agron. N°58 P: 293-338
- 54. Wahid A, Gelani S, Ashraf M, et Foolad M. 2007.** Heat tolerance in plants: An overview. Environmental and Experimental Botany. Vol 61 N°3 P: 199- 223.
- 55. William G. et Hopkins. 2003.** Physiologie végétale. Edition de boeck université .Paris. 453 p.
- 56. Winkel T., 1992.** Caractères morphologiques et physiologiques de résistance du mil (*Peiznise tirm glaiiciirn* (L.) R. Br.) À la sécheresse L'agronomie Tropicale. Vol : 46 N°4P: 339-351.
- 57. Zamboni M. et Icano F., 1988.** Etude des variations du potentiel Osmotique et de l'élasticité cellulaire dans des vignes soumise à un stress hydrique(1). connaissance vigne- vin. 22, N°04 P : 241-249.

Référence Bibliographiques

Site Web

1. www.fao.org/worldfoodsituation/csdlb/fr/(consulter le 25/03/2020)
2. <https://www.planetoscope.com/cereales/190-production-mondial-de-cereales.html>(consulter le 25/04/2020)
3. www.aps.dz/76925-cereales-laproduction-nationale(consulter le 12/05/2020)
4. Mardp.gov.dz/agriculture/statistiques-agricoles/(consulter le 20/05/2020)
5. <https://www.elwatan.com/edition/economie/cereales-lalgerie-a-produit-plus-de-60-millions-de-quintaux-01-09-2018>(consulter le 30/05/2020)
6. www.researchgate.net/figure/Anatomie-du-ble-tendre-le-grain-de-ble-est-constitue-de-trois-parties-fig7-317814710(consulter le 14/06/2020)
7. www.unctad.org/infoomm/Francais/ble/culture.htm(consulter le 10/04/2020)
8. www.femmeactuelle.fr/cuisine/guide-cuisine/quelle-farine-utiliser-pour-les-crepes-20102-1976139(consulter le 18/06/2020)
9. <https://www.syngenta.fr/traitements/rouille-jaune-du-ble>(consulter le 20/07/2020)
10. <https://www.arvalis-infos.fr/la-septoriose-une-maladie-propagee-par-les-eclaboussures-de-pluie-@/amp.html>(consulter le 28/07/2020)
11. https://www.bayer-agri.fr/culture/la-carie-du-ble-une-maladie-de-la-semence-enrecrudescence_3966/(consulter le 11/06/2020)
12. https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/maladies_du_ble/oidium_du_ble.html(consulter le 20/08/2020)
13. www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/maladies-du-ble/fusariose-du-ble.html(consulter le 25/08/2020)
14. https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/protection-insecticide_ble/(consulter le 27/08/2020)
15. https://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accidents.php/(consulter le 30/08/2020)

Résumé

Cette étude a pour objet de comprendre l'effet de stress hydrique sur la plante et d'étudier quelques travaux réalisés sur le blé tendre. L'ensemble des résultats de ces travaux ont montré que le stress hydrique a un effet sur les différents paramètres physiologiques, morphologiques et biochimiques des différentes variétés étudiées.

Mots clés : Blé tendre, stress hydrique, paramètres morphologique, physiologique et biochimique.

Abstract

The aim of this study is to analyze and discuss some studies done over soft wheat. Most of the results show that water stress has affected various physiological, morphological and chemical criteria of the different studied species.

Key words: soft wheat, water stress, morphological, physiological and chemical characteristics.

المخلص

الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير الإجهاد المائي على النبات و تحليل ومناقشة بعض الدراسات التي أجريت على القمح اللين. اغلب النتائج أظهرت أن الإجهاد المائي اثر على مختلف المعايير الفسيولوجية والمورفولوجية و الكيميائية لمختلف الأنواع المدروسة

الكلمات المفتاحية : القمح اللين ,الإجهاد المائي ,الخصائص المرفولوجية ,الفسيولوجية,الكيميائية