

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTER DE L'ENSIENEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE IBN KHALDOUN TIARET
FACULTÈ DE SCIENCE DE LA NATURE ET DE LA VIE



Mémoire de Master académique

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

Spécialité : BIODIVERSITE ET ECOLOGIE VEGETALE

Thème

**Effet du génotype et de l'alimentation hydrique sur la
qualité du grain du blé tendre (*Triticum aestivum* L.)**

Présente par

BENELHADJ HAFIDHA

Soutenu le :07/07/2022

Devant le jury :

Président Mr ADDA. M'hamed Univ.Tiaret

Examineur Mr Boubekour Mabdelaiziz Univ.Tiaret

Promoteur Mr ADDA. Ahmed Univ.Tiaret

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer toute mes reconnaissances et remerciements à

notre professeur Mr. ADDA Ahmed, qui a fait preuve d'une grande patience et a été d'un grand apport pour la réalisation de ce travail. Ses conseils, ses orientations ainsi que son soutien moral et scientifique qui nous ont permis de mener à terminé ce travail. Son encadrement était des plus exemplaires, qu'il trouve ici, le témoignage d'une profonde gratitude.

Aux membres de jury,

MR ADDA Mohamed., qui nous a fait l'honneur de présider le jury de ce travail. Qu'il soit ici remercié pour avoir accepté cette tâche et pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail.

Mr. BOUBEKEUR. A. qui a bien voulu accepter d'examiner ce travail, et qui nous a fait l'honneur par sa présence ;qu'il trouve ici mes sincères et mes vifs remerciements.

A Mr AchirHbib pour son aide ces précieuses orientations .dont je suis très reconnaissante.

Dédicace

Je tiens à dédier cette thèse :

A ma très chère Mère et à mon cher Père, à ma petite famille ;

A mes chères filles Nafissa .fairouz et Malika

A mon petit garçon Sidahmedcherif A mon époux Belarbi Mustafa

En témoignage et en gratitude de leur dévouement, de leur soutien permanent

durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leur réconfort moral,

, mes affections sans limite.

A mes frères et sœurs :

A mes nièces et neveux

Je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de réussite.

Liste des tableaux :

N°	titre	page
01	Composition chimique du grain de blé	9
02	Le matériel végétal utilisé	23
03	Effet du génotype, de la situation hydrique et de leur interaction sur le poids du grain de blé tendre à maturité. Les effets sont exprimés par le test F d'analyse de la variance factoriel à deux facteurs.	27
04	Résultats moyens du poids de mille grains (g.) sous l'effet du génotype et de la situation hydrique	28
05	Effet du génotype, de la situation hydrique et de leur interaction sur les paramètres structuraux du grain de blé tendre à maturité. Les effets sont exprimés par le test F d'analyse de la variance factoriel à deux facteurs	29
06	Résultats moyens d'épaisseur de la couche d'amidon et du diamètre des grains d'amidon sous l'effet du génotype et de la situation hydrique	30
07	Résultats moyens des dimensions des cellules de la couche d'aleurone sous l'effet du génotype et de la situation hydrique	33
08	Effet du génotype, de la situation hydrique et de leur interaction sur les paramètres biochimiques du grain de blé tendre à maturité. Les effets sont exprimés par le test F d'analyse de la variance factoriel à deux facteurs	35
09	Résultats moyens de la teneur en amidon et des grains sous l'effet du génotype et de la situation hydrique	36

Liste des figures

N°	titre	page
01	Coupe d'un grain de blé	8
02	courbed'étalonnaged'amidon	25
03	Coupe transversale au niveau du grain de blé tendre de la variété V4 du lot SDH	30
04	Résultats moyens d'épaisseur de la couche chez les géotypes testées	31
05	Photo illustrant la structure des cellules de la couche d'aleurone (V5 ADH, Gr.x40)	33

Liste des variations

ADH	Avec déficit hydrique
SDH	Sans déficit hydrique
PMG	Pois de mille grain

Sommaire

REMERCIEMENTS	
Dédicace	
Introduction.....	1
Chap I :.....	3
Revue Bibliographique	3
1. Etude de l'espèce	4
1.1. Historique et génétique du blé tendre.....	4
1.2. Origine géographique.....	4
1.3. Morphologie du blé tendre	5
1.4. Cycle végétatif du blé	6
1.4.1 Période végétative.....	6
1.4.2. Période reproductrice	6
1.5. Morphologie et structure du grain de blé.....	7
1.5.1. Albumen	7
1.5.2. Enveloppes de la graine et du fruit	7
1.5.3. Germe.....	7
1.6. Composition chimique des différentes parties du grain de blé	8
1.6.1.Éléments principaux.....	9
1.6.2.Éléments secondaires.....	10
1.7. Caractéristiques d'appréciation de la qualité de la farine du blé	11
1.8. Le Déficit Hydrique	11
1.9. Notion de sécheresse et de stress hydrique	12
2. Impact du stress hydrique sur la production du blé	14
3. Sensibilité différentielle du blé au stress hydrique.....	14
4. Mécanismes d'adaptation du blé à la sécheresse.....	15
4.1. Réponses morphologiques au stress hydrique chez le blé	16
4.1.1. Surface foliaire.....	16
4.1.2. Croissance racinaire	17
4.2. Réponses physiologiques au stress hydrique chez le blé.....	17
4.2.1. Activité photosynthétique.....	18
4.2.2. Teneur en chlorophylle	18
4.2.3. Teneur relative en eau	19
4.2.4. Potentiel de turgescence.....	19

4.2.5. Fermeture des stomates	20
4.2.6. Ajustement osmotique.....	20
Chap II : Matériel et méthodes.....	22
1. Matériel et méthodes.....	23
1.1. Le matériel végétal utilisé	23
1.2. La conduite de l'essai	23
2. Les mesures effectuées	24
2.1. Le poids de mille grains	24
2.2. Détermination de la teneur en amidon des grains à maturité.....	24
2.3. La structure du grain à maturité.....	25
Chap III : RESULTATS ET DISCUSSIONS	26
1. Résultats	27
1.1. Le poids de mille grains	27
1.2. La structure du grain	28
1.2.1. L'épaisseur de la couche d'amidon	28
1.2.2. Le diamètre des grains d'amidon	29
1.2.3. Epaisseur de la couche d'aleurone.....	31
1.2.4. Les dimensions des cellules de la couche d'aleurone	32
2. Les paramètres biochimiques des grains	34
2.1. La teneur en amidon des grains	34
3. Discussion	36
Conclusion	39
References bibliographiques.....	40

Introduction

La céréaliculture et particulièrement la culture du blé constitue l'une des principales spéculations agricoles stratégiques. Son implication conditionne grandement la sécurité alimentaire dans de nombreux pays et pour lesquels elle constitue la principale source de calories et de protéines pour la population.

La céréaliculture en Algérie et particulièrement la culture du blé dur et tendre occupe une place prépondérante dans le schéma de la production agricole. La superficie réservée à ces spéculations représente plus de 50% de la surface agricole utile. Néanmoins la production demeure faible pour satisfaire les besoins croissants exprimés par la population locale. Les faibles productions des produits du blé tendre s'expliquent principalement par les faibles et irréguliers rendements enregistrés au fil des campagnes. Du fait que notre consommation en ces produits s'avère parmi les plus élevées dans le monde, on a toujours recours à leur importation massive des marchés mondiaux et créant ainsi une dépendance difficilement supportable par les ressources financières du pays.

La faible productivité du blé tendre en Algérie s'explique particulièrement par les contraintes imposées par les stress abiotiques, d'ordre climatique, où la sécheresse en détient une part importante (Adda *et al.*,2005; Monneveux *et al.*,2006; Zerradet *al.*,2008; Li *et al.*,2010). L'amélioration des niveaux des rendements des cultures du blé tendre est étroitement liée aux solutions décrétées pour lutter contre ces évènements environnementaux. La lutte contre la sécheresse impose le développement de deux stratégies que s'ils paraissent distinctes mais finalement leur efficacité réside dans leur complémentarité. La conduite des cultures du blé tendre sous la pratique d'irrigation constitue une alternative dans une logique d'accroître la productivité de cette espèce. Néanmoins, cette stratégie impose la disponibilité des ressources hydriques, mais qui sont difficilement accessibles par la plupart des exploitations agricoles. Conjointement avec cette pratique, la conduite des cultivars plus adaptés aux conditions climatique contraignantes définissant les aires céréalières en Algérie, constitue une autre stratégie de taille (Monneveux et Nemmar, 1986, El Hafid *et al.*,1998; Megherbiet *al.*,2012).

L'organisation des programmes d'amélioration des facultés de tolérance au déficit hydrique et la création des cultivars plus adaptés, impose des études préalables visant la recherche des critères impliqués et servant à la création de la variabilité et sa sélection. Il est actuellement admis que l'impact de la sécheresse sur la productivité des espèces végétales,

dépend de son intensité et l'époque de sa déclaration le long du cycle de développement de chaque espèce distinctement.

Le poids et la composition du grain qui représentent les paramètres de référence d'élaboration quantitative et qualitative du rendement (Gate, 1995) dépendent de la qualité d'alimentation hydrique de la plante durant les phases post-anthèse du cycle de développement de la céréale. Ainsi, toutes contraintes générées par le déficit hydrique durant cette période auront des effets délétères sur ces caractéristiques (Arous et al., 2020). La formation du grain chez le blé tendre implique les processus de différenciation des téguments, l'organisation des tissus de réserves et l'accumulation des réserves, principalement, amylacées et protéiques (Blum et al., 1991). Ces processus se trouvent conditionnés par l'activité photosynthétique des organes d'assimilation et la remobilisation des réserves stockées dans les différents organes de la plante. Il est évident alors, que ces activités physiologiques en dépendent de la qualité d'alimentation hydrique des plantes en place. En effet, la division cellulaire, la croissance cellulaire, l'activité photosynthétique, la migration et la transformation des assimilats en réserves au niveau du grain en formation se trouvent grandement conditionnées par la disponibilité des ressources hydriques.

L'étude des effets de la sécheresse et la tolérance de la plante constituent des critères indispensables pour la création de la variabilité génétique chez le blé tendre. On note que les principaux travaux réservés à cette problématique ont concerné principalement le blé dur. L'étude présentée concerne l'évaluation des effets d'une alimentation hydrique déficiente survenant à la fin du cycle de développement de la plante du blé tendre, sur l'élaboration de la qualité du grain. L'étude concerne également l'évaluation de la variabilité génétique intra-spécifique sur la tolérance du blé tendre au déficit hydrique terminal. Différents paramètres structuraux et biochimiques ont été concernés par cette étude, susceptibles être impliqués dans la quantification des effets du déficit hydrique sur l'élaboration de la qualité du grain à la maturité physiologique.

Le présent travail structuré en trois parties. Une synthèse bibliographique, la démarche expérimentale et les méthodes utilisées. Une dernière partie est consacrée à la présentation et la discussion des résultats obtenus.

Chap I :

Revue Bibliographique

Etude de l'espèce

Historique et génétique du blé tendre

Le mot céréale dérive de 'ceres', le nom de la déesse préromaine de la récolte et de l'agriculture. Les céréales peuvent être définies comme des grains ou des graines comestibles de la famille de l'herbe, *Gramineae* (Mc Kevith, 2004 in Issaou i Mhohamed, 2019). La saga du blé accompagne celle de l'homme et de l'agriculture ; sa culture précède l'histoire et caractérise l'agriculture néolithique, née il y a 9000 ans.

La grande révolution aura été l'apparition de plantes auxquelles les épis et les grains restaient attachés, ce qui devait permettre de les récolter et de les cultiver ; la chance de l'humanité sera que ces graines sont comestibles, riches en énergie, faciles à conserver et à transporter (Feillet, 2000). La saveur agréable, la longue durée de conservation et les caractéristiques uniques des produits du blé tendre comme les pâtes, les nouilles et principalement le pain, le rendent très attrayant parmi les autres céréales (Nelson, 1985).

1.2. Origine géographique

Le blé était originaire de la vallée de la Somalie, et des plaines Mésopotamiennes du Tigre et de l'Euphrate, dans la région connue sous le nom du Croissant Fertile (Smith et Wayne, 1995 in Issaoui Mhohamed 2019). L'ensemencement de graines provenant de graminées sauvages, la culture et la récolte répétées ont conduit à la domestication du blé. La sélection des formes mutantes avec des épis rigides qui restent intacts lors de la récolte, un nombre de grains plus important et une tendance pour les épillets à rester sur la tige jusqu'à la récolte était le déclenchement de l'agriculture moderne (Dubcovsky et al., 1997).

Le blé tendre, (*Triticum aestivum* L.), a surgi, loin du croissant fertile, dans la région s'étendant de l'Arménie à la Transcaucasie dans les zones côtières du sud-ouest de la mer Caspienne en Iran (Duvorak et al., 1998). Il comprend un nombre de sous-espèces ou d'autres taxons qui sont inter-fertiles et diffèrent les uns des autres par un seul ou plusieurs gènes majeurs (McKey, 1966).

Origine génétique

Le blé appartient à la tribu des *Triticeae* de la famille des *Poaceae*. Cette tribu est constituée de cinq genres ; *Aegilops*, *Elymus*, *Hordeum*, *Secale* et *Triticum*, dont les deux derniers forment la sous-tribu des *Triticineae* (Waines et Barnhart, 1992).

Quatre génomes de base, désignés par A, B, D et G, contribuent à la constitution du génome de toutes les espèces de *Triticum*. En effet, le nombre basique de chromosomes dans *Triticum* et les espèces apparentées est de $x=7$ (Haider, 2012).

Génétiquement, les espèces sauvages sont des diploïdes ($2n=2x=14$), tels que la désignation du génome AA (*Triticum monococcum*), DD (*Triticum tauschii*), ou des tétraploïdes ($2n=4x=28$) portant deux génomes tels que les génomes AABB (*Triticum turgidum*) ou AAGG (*Triticum timopheevi*) (Waines et Barnhart, 1992).

D'après Nevo et al. (2002), l'hybridation parmi les genres de Triticeae a donné lieu à des polyploïdes. Un bon exemple est présenté par l'hexaploïde des *Triticum aestivum*, le blé commun ou blé du pain qui est aujourd'hui le plus cultivé dans le monde.

Désigné par Kihara en 1924 sous la forme AABBDD ($2n=6x=42$), cette dernière dérive des trois génomes homologues, A, B et D, dont chacun apporte sept paires de chromosomes au génome total de cette espèce (Haider, 2012).

D'après Van Slageren (1994), *Triticum aestivum* est née suite à un ou plusieurs événements d'hybridation indépendants rares entre une espèce tétraploïde de sauvage ($2n=4x=28$, AABB) et une espèce diploïde ($2n=2x=14$, DD) du genre *Aegilops* L., qui est très proche de *Triticum*, pour générer un triploïde initial stérile (ABD). Un doublage chromosomique ultérieur pourrait avoir conduit à la production de l'hexaploïde (Kihara, 1944 ; McFadden and Sears, 1944) qui a été pour des décennies un exemple de l'évolution d'une espèce de culture majeure par polyploïdisation (Peterson, 2006).

1.3. Morphologie du blé tendre

Le blé tendre est une graminée annuelle qui fait partie de la classe botanique des Monocotylédones, et de la famille des *Poaceae*. C'est une espèce autogame dotée d'un appareil végétatif herbacée qui comprend un système racinaire fasciculée assez développé, une tige creuse appelée chaume dont les entre-nœuds ne se sont allongés qu'à la montaison, et porte des feuilles engainantes à nervure parallèles issues chacune d'un nœud (Ahmadi et al., 2002).

L'inflorescence est composée de 15 à 25 épillets constitués chacun de 3 à 4 fleurs hermaphrodites. Cette caractéristique fait que le blé est une plante autogame dont la fécondation a lieu à l'intérieur des glumelles avant que les étamines n'apparaissent à l'extérieur assurant une conservation parfaite de la pureté variétale d'une génération à l'autre (Soltner, 2012).

Chaque fleur est portée par un court pédicelle et enfermée entre deux bractées appelées glumelles. La fleur hermaphrodite possède trois étamines se terminant

chacune d'une anthère en X et le pistil qui comprend un seul ovaire et deux styles se terminant chacun par un stigmate plumeux (Ahmadi et *al.*, 2002).

Un fruit sec à la fois graine et fruit ; un caryopse nu, indéhiscent dont les parois sont soudées à celle de la graine. Le grain est composé en grande partie de l'albumen ou l'amande qui représente 83 à 85% de son poids. L'albumen est composé de 70% d'amidon et de 7% de gluten. Chez le blé tendre, l'albumen est farineux, et sa coupe facile présente un aspect blanc et mat (Soltner, 2012).

1.4. Cycle végétatif du blé

Le cycle biologique de la vie de la plante se répartit aux stades suivants :

1.4.1 Période végétative

Germination et levée : Au début de la germination, la semence de blé est sèche. Après humidification, il sort une radicule, puis un coléoptile. Une première feuille parait au sommet du coléoptile. La germination est uniquement déterminée par une somme de température 30C° base 0C° la levée commence quand la plantule sort de terre et que la première feuille pointe au grand jour son limbe (Gate, 1995).

Stade 3 feuilles : Le stade 3 feuilles est une phase repérée pour le développement du blé.

Des bourgeons se forment à l'aisselle des feuilles et donnent des pousses appelées talles apparaissent alors, à partir de la base du plateau de tallage, des racines secondaires ou adventives, qui seront à l'origine de l'augmentation du nombre d'épis.

Tallage : c'est l'apparition d'une tige secondaire, une talle.

Montaison : le bourgeon terminal se produit le début du développement de l'épi. Parallèlement, on observe un l'allongement des entrenœuds (Hadria, 2006; Bada, 2009).

1.4.2. Période reproductrice

Épiaison : Quand la graine éclatée l'épi qui va s'en dégager peu à peu, on peut voir un gonflement de la graine. À ce moment, le nombre total d'épis est défini, de même que le nombre total de fleurs par épi. Chaque fleur peut potentiellement donner un grain par exemple 25 grains par épi.

Floraison : C'est à partir du moment où quelques étamines sont visibles dans le tiers, en dehors des glumelles (Hadria, 2006; Bada, 2007).

Grossissement du grain : Cette phase marque la modification du fonctionnement de la plante qui sera alors orientée vers le remplissage des grains à partir de la biomasse produite. Au début, le grain s'organise, les cellules se multiplient. Les besoins des grains sont inférieurs à ce que fournissent les parties aériennes (plus de $\frac{3}{4}$ de la matière sèche sont stockés au niveau des tiges et des feuilles.). Par la suite, les besoins augmentent et le poids des grains dans l'épi

s'élève, lorsque la matière sèche des parties aériennes diminue progressivement. Seulement 10% à 15% de l'amidon du grain peuvent provenir de réserves antérieures à la floraison. À l'issue de cette phase, 40 à 50% des réserves se sont accumulées dans le grain qui, bien qu'il ait atteint sa taille définitive, se trouve encore dans vert et mou, c'est le stade (grain laiteux). L'autre partie des réserves se trouve encore dans les tiges et les feuilles qui commencent à jaunir. Les réserves du grain proviennent en faible partie de la photosynthèse nette qui persiste dans les dernières feuilles vertes. Chez les variétés tardives, cette quantité est de 12% contre 25% chez les précoces. La majeure partie des réserves accumulées vient des tiges et les feuilles jaunissantes, mais desséchées (Gate, 1995).

Maturation du grain : La phase de maturation succède au stade pâteux (45% d'humidité). Elle correspond à la phase au cours de laquelle le grain va perdre progressivement son humidité en passant par divers stades. Elle débute à la fin du palier hydrique marqué par la stabilité de la teneur en eau du grain pendant 10 à 15 jours. Au-delà de cette période, le grain ne perd que l'excès d'eau qu'il contient et passera progressivement aux stades (payable à l'angle) (20% d'humidité) puis (cassant sous la dent) (15-16% d'humidité). (Gates, 1995).

Composition histologique : Le grain de blé est de forme ovoïde plus ou moins allongée, son examen révèle les caractéristiques suivantes: une face dorsale plus ou moins bombée, une face ventrale, comportant un sillon profond et à sa partie supérieure, de courts poils forment la brosse, à sa partie inférieure ; le germe est visible sur la face dorsale ; La couleur des blés varie du roux au blanc, en rapport avec le pays d'origine, le sol, la culture, et le climat. (Leslie Jacquemin, 2012).

Morphologie et structure du grain de blé

Un grain de blé est formé de trois régions :

1.5.1. Albumen

Il est constitué de l'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois cellulaires sont peu visibles) et de la couche à aleurone (80-85% du grain).

1.5.2. Enveloppes de la graine et du fruit

Elles sont formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (13-7%).

1.5.3. Germe

Il est composé d'un embryon (lui-même formé du coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du *coléorhize* et de la coiffe) et du *scutellum*. Comparativement à d'autres céréales, du maïs et du riz en particulier, le grain de blé possède un sillon résultant d'une invagination des téguments vers l'intérieur du grain, sur toute sa longueur et du côté du germe ; les

faisceaux nourriciers de la graine au cours de son développement sont localisés au fond de ce sillon. Sa présence détermine la manière dont s'opère la séparation de l'albumen et des enveloppes pour extraire les farines ; il rend en effet impossible, comme en rizerie, l'élimination progressive des téguments par abrasion des parties périphériques.

L'extraction des farines nécessite de fragmenter les grains, puis d'isoler progressivement l'albumen à partir des zones les plus internes du grain, du centre vers la périphérie ; pour cette raison, les premières farines sont les plus purifiées.

La longueur du grain (plus grande dimension) est comprise entre 5 et 8 mm, sa largeur entre 2 et 4 mm, son épaisseur entre 2,5 et 3,5 mm, sa section longitudinale entre 10 et 16 mm², sa section transversale entre 4 et 7,5 mm², son poids entre 20 et 50 mg et sa densité entre 1,3 et 1,4. (Feillet, 2000)

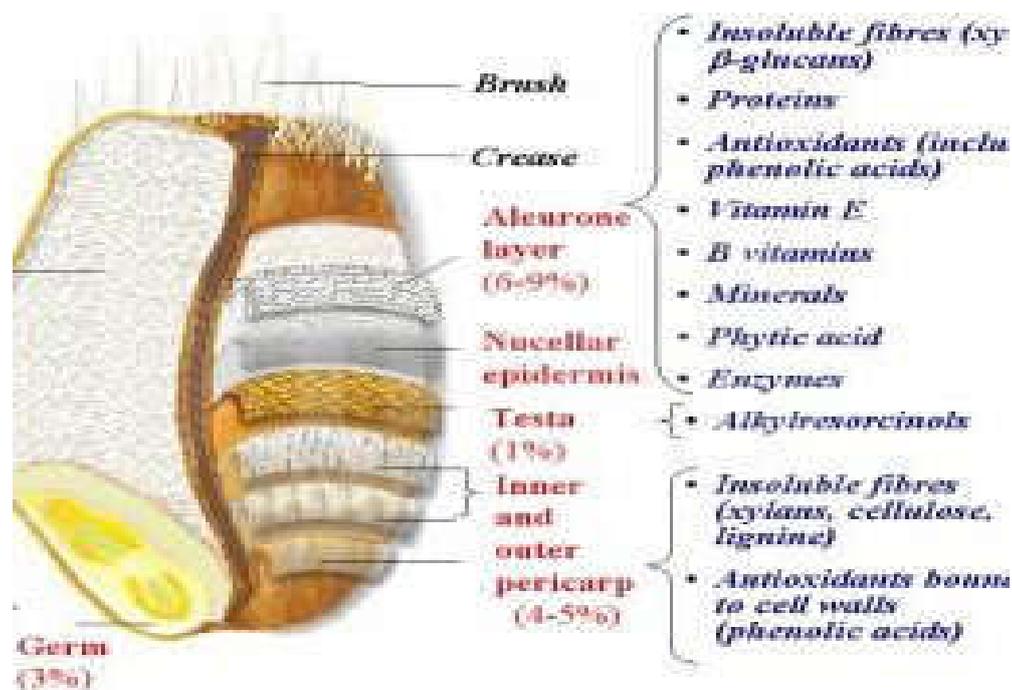


Figure 01 : Coupe d'un grain de blé (Feillet, 2000)

1.6. Composition chimique des différentes parties du grain de blé

Le grain est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (10 à 15%) selon les variétés et les conditions de culture), les autres constituants, pondéralement mineurs (quelques% seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (tableau 02) (Feillet, 2000).

Tableau 01:Composition chimique du grain de blé

	% grain	% péricarpe	% aleurone	% albumen	% germe
Amidon	69	0	0	82	0
Protéines	13.7	10	30	12	31
Lipides	2.7	0	9	2	12
Sucres réducteurs	2.4	0	0	1.8	30
Pentosanes	7.4	43	46	1.6	7
Cellulose	2.8	40	3	0.1	2
Minéraux	1.9	7	12	0.5	6

(Feillet, 2000)

1.6.1.Éléments principaux

Les glucides, surtout sous forme d'amidon, de très loin le constituant le plus important descéréales, et les lipides ou matières grasses, constituants majeurs des oléagineux, sont composés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Les protides présents sous forme de protéines contiennent en plus de l'azote. D'une manière générale, les céréales sont peu riches en protéines, contrairement aux protéagineux (pois, féverole) et aux oléo protéagineux (colza, tournesol, soja) (Feillet, 2000).

a) Glucides

Les glucides ou sucres se présentent sous la forme de quelques sucres simples, mais surtout de composés plus ou moins complexes de ces mêmes sucres simples tels que le glucose et le fructose, facilement digestible. C'est le constituant majeur des céréales: 60 à 65 % du poids pour le blé et 70 à 73 % pour le maïs .La cellulose qui entre dans la composition du péricarpe est un glucide complexe, difficilement digestible par les monogastriques. Le plus important est l'amidon qui est la substance énergétique par excellence.

b) Gluten (protides ou protéines)

Le gluten est un matériel viscoélastique obtenu par lixiviation (lavage par l'eau) d'une pâte de blé tendre ou de blé dur. Principalement constitué de protéines (75à85% ms selon les conditions de fabrication), il contient également de l'amidon (8à10% ms), des sucres réducteurs (1à 2% ms), des lipides (5à 10% ms), et des matières minérales (1%ms). (Feillet, 2000).

c) Amidon (glucides)

L'amidon est le principal polysaccharide de réserve des végétaux supérieurs, représente 60 à 72 % à l'état naturel, dans l'amande, il se présente sous forme d'une poudre composée de granulés de tailles différentes. C'est l'un des polymères fonctionnels les plus importants des aliments en raison de son pouvoir gélifiant, viscosifiant et fixateur d'eau. (Feillet, 2000).

Protides et Protéines

Ce sont des composés azotés que l'on rencontre sous forme simple (acides aminés) et sous forme plus complexe (protéines). La teneur en protéines des céréales et des protéagineux varie suivant les espèces, elle est en moyenne de 43 % pour le soja, 12 % pour le blé, 11 % pour l'orge et seulement 10 % pour le maïs. Certains de ces acides aminés, telle la lysine, sont indispensables pour l'alimentation animale (substance nécessaire à la croissance). (Feillet, 2000).

d) Lipides

Ce sont les matières grasses. Dans les céréales elles sont fortement concentrées dans le germe. Le blé en contient 1 à 2 % et le maïs 5 %. Dans les oléoprotéagineux elles sont également présentes dans l'endosperme et en quantité plus importante : 22 % pour le soja, 45 % pour le colza et 50 % pour le tournesol (Feillet, 2000).

1.6.2.Éléments secondaires

a) Pigments et les vitamines

Ce sont des composés chimiques complexes, surtout concentrés dans le péricarpe et le germe à des teneurs très faibles. Les pigments sont spécifiques à chaque espèce et même à chaque variété. Ils sont parfois associés à des vitamines (pigments caroténoïdes) (Feillet, 2000).

b) Enzymes

Ce sont aussi des substances complexes présentes en quantité négligeable, mais dont le rôle est très important : ils sont responsables des transformations que subissent les autres substances (hydrolyse de l'amidon et des protéines, destruction des sucres simples et des acides aminés). (Feillet, 2000).

Amylase : Les deux enzymes qui contrôlent la fermentation panariaire sont la α amylase et β amylase la présence de la α amylase étant généralement constante et suffisante seule l'action de l'amylase a besoin d'être contrôlé soigneusement.

Lipases : Les lipases distribuent les caroténoïdes sous une réaction d'oxydation et entraînent une décoloration du pain qui devient blanc.

Protéases : Enzymes agissant sur la structure des protéines ; leur présence dans la farine est liée à la germination du grain qui n'est pas souhaitable.

Lipoxydases : Les lipoxydases agissent sur les caroténoïdes par une réaction d'oxydation et entraînent une décoloration du pain qui devient blanc.

L'eau

L'eau est toujours présente dans le grain, à une teneur plus ou moins grande. Du point de vue chimique et physique, son action solvant favorise les réactions enzymatiques et les attaques microbiennes lorsque sa teneur dans le grain dépasse un certain seuil. Le rôle de l'eau et les problèmes qu'elle engendre pour la conservation sont étudiés plus loin (Feillet, 2000).

1.7. Caractéristiques d'appréciation de la qualité de la farine de blé

Jusqu'à aujourd'hui, le blé tendre est considéré comme la culture privilégiée pour le pain et d'autres produits à base de farine en raison de ses performances de cuisson supérieures par rapport aux autres céréales comme l'orge et le seigle (Dewettinck et al., 2008). En effet, la qualité du grain de blé est une combinaison de certaines caractéristiques physiques, chimiques et technologiques. Leur expression dépend de leur nature génétique ainsi que de l'influence de l'environnement (Johansson, 2002 ; Johansson et al., 2004).

Bien que la disponibilité optimale de l'eau du sol améliore le rendement en grains et le poids des grains, elle dévalue, en revanche, la qualité technologique de la farine en réduisant la teneur en protéines, la teneur en cendres, le volume des sédimentations et la teneur en gluten humide (Ozturk et Aydin, 2004 ; Erekul et al., 2012). En plein accord sur ce point, Rao et al. (1993) et Malik (2009) ont rapporté que le rendement en grains élevé et la bonne qualité du pain de blé sont des critères opposés et sont influencés par les conditions environnementales ainsi que par la variété, le sol, la fertilisation azotée et les interactions entre ces facteurs. De ce fait, le rendement en grains et les paramètres de qualité sont négativement corrélés (Debaeke et al., 1996 ; Feillet, 1997).

1.8. Le Déficit Hydrique

L'eau est un élément de la composante biotique de la biosphère. Il est essentiel à la production d'aliments et d'énergie, à la santé des écosystèmes et à la survie de l'humanité. Depuis la dernière décennie, un déficit prolongé de cette ressource a été enregistré. Ce qui a entraîné par conséquent la sécheresse. L'eau constitue le principal facteur de production. Elle constitue à la fois le milieu originel fondamental de tous les processus biologiques (HERMEZ, 1996). Elle constitue d'une part, le milieu dans lequel s'effectuent les réactions biochimiques vitales ; elle sert de véhicule des substances nutritives, déchets et hormones

d'une cellule à une autre (HELLER et al., 1998). A l'échelle cellulaire, elle participe au maintien des structures et permet le déroulement du métabolisme (HELLER et al., 1998).

Le stress hydrique ou sécheresse se définit par une insuffisance de la quantité d'eau disponible par rapport à la quantité nécessaire à la croissance de la plante (Mouellef, 2010, Kara et Zerguine, 2016). La baisse du potentiel hydrique de la plante se traduit principalement par une diminution de la pression de turgescence et par suite à une perte des fonctions vitales (Benkolli et Bouzeghaia 2016). L'installation d'une sécheresse chez la plante peut se traduire par une baisse du contenu en eau au niveau des tissus, une réduction de la vitesse de croissance, une perturbation au niveau hormonal et une modification du métabolisme glucidique, protéique et lipidique (Ali et al., 2017).

Le manque d'eau affecte principalement la régulation stomatique par la fermeture des stomates, qui ralentit le phénomène de la photosynthèse et de la transpiration (Issad, 2013 ; Hamla, 2016). Ce stress limite par conséquent la taille de la plante, le nombre de feuilles et la surface foliaire (Attia, 2007). De même, il réduit le développement des organes reproducteurs et la croissance des racines (Neffar, 2013). Il affecte donc non seulement la croissance mais aussi la reproduction de la plante (Bouakaz, Hamadouche, 2015). En conclusion, le déficit hydrique est une contrainte abiotique majeure de la production agricole, qui impacte négativement le rendement et la qualité de la production agricole (Benkhellef, 2016).

Chez les céréales, le stress hydrique affecte la composition de la graine. Les concentrations relatives des différents composés sont modifiées : une augmentation des teneurs en protéines et une baisse des teneurs en amidon et en huile des graines (Hireche, 2006). Un stress hydrique pendant la phase de maturation aura comme conséquence la réduction de la taille et le nombre des grains (Osakabe et al., 2014).

1.9. Notion de sécheresse et de stress hydrique

En Agriculture, la sécheresse est définie comme un déficit marqué et soutenu des précipitations qui réduit significativement les productions agricoles (MCKAY, 1986 ; WMO, 1990). Un déficit hydrique négatif caractérise la sécheresse ; chez le blé dur, la sécheresse est l'écart du bilan hydrique à sa valeur habituelle au cours de la période considérée (ZAIR, 1991)

Un stress biologique n'est pas facile à définir, mais il implique des effets hostiles s'exerçant sur un organisme, en effet, Jones et Jones (1989) ont défini le stress biologique comme étant une force ou une influence qui tend à empêcher un

système normal de fonctionner, il désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé.

Passioura (2007) considère que le stress a une signification relative avec un contrôle comme état de référence, il explique le stress comme une déviation du contrôle à une contrainte. En effet, les stress environnementaux naissent de la fluctuation des facteurs abiotiques (sécheresse, salinité, basse température, manque ou excès de nutriments) qui affectent les conditions de croissance, le développement et le rendement des plantes. (Madhava Rao et al., 2006).

Le stress hydrique est l'un des plus importants stress environnementaux qui affecte la productivité agricole autour du monde. C'est un phénomène dramatique dans beaucoup d'environnements arides et semi-arides, où les précipitations changent d'une année à une autre et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique (Madhava Rao et al., 2006). En effet, le stress hydrique apparaît lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible durant une certaine période. Cela s'applique également lorsqu'une qualité médiocre de l'eau (saline, saumâtre) en limite l'usage. Dans une telle situation, l'eau est bien plus qu'une ressource naturelle: elle devient un enjeu (Passioura, 2007).

Le stress hydrique a, en premier lieu, un impact sur la végétation. Face à une telle situation, la plante met en place des mécanismes d'adaptation pour rééquilibrer son statut hydrique. En fonction de l'intensité et de la durée du déficit hydrique, la croissance de la plante pourra en être affectée. Ces symptômes peuvent ainsi avoir des conséquences inconvenantes sur la croissance et le développement des céréales (Nezhadahmadi et al., 2013). Le stress hydrique entraîne également une dégradation des ressources en eau douce. En termes de quantité (surexploitation des eaux souterraines, assèchement des ruisseaux et des rivières) et de qualité (pollution par les matières organiques, risques d'intrusions salines) (Madhava Rao et al., 2006). Il existe de nombreuses définitions du stress hydrique. En agriculture, il est défini comme un déficit marqué de précipitations qui réduisent significativement les productions agricoles sur une région de grande étendue (Oweis, 1994). Le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la réserve en eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible à son système racinaire. (Passioura, 2007). La demande en eau de la plante est quant à elle déterminée par le niveau de transpiration ou évapotranspiration,

ce qui inclut les pertes d'eau tant au niveau des feuilles qu'au niveau du sol (Laberche, 2004).

2. Impact du stress hydrique sur la production du blé

L'impact du stress hydrique sur la production du blé à travers les régions semi-arides du monde peut être discuté à plusieurs échelles. Dans la plupart des pays en développement, le blé est cultivé sous des conditions pluviales ou d'irrigation restreintes où la culture affronte périodiquement des épisodes de pénurie d'eau pendant un ou plusieurs stades de sa croissance entraînant une diminution importante de son rendement en grains (Pokharelet Pandey, 2012). Sous de telles conditions, la perte de rendement perturbe l'équilibre de l'offre et de la demande, entraînant des problèmes de sécurité alimentaire (Hellin et al., 2012).

D'autres contraintes tels que la diminution de l'absorption des nutriments, la floraison entravée, la réduction du nombre et de la taille des épis, le raccourcissement de la période de remplissage du grain et la réduction du nombre et du poids des grains sont également des caractéristiques associées au stress hydrique (Taiz et Zeiger, 2006 ; Hussain et al., 2008 ; Saleem et al., 2016a).

Le potentiel de rendement, la stabilité du rendement et la tolérance à la sécheresse sont des caractères quantitatifs complexes affectés par l'interaction génotype × environnement. Un matériel végétal moins sensible aux changements climatiques, flexible et bien adapté à un environnement varié et qui pourraient mieux fonctionner sous disponibilité en eau limitée, peut aider à résoudre le problème du stress hydrique (Taiz et Zeiger, 2006; Hellin et al., 2012).

Les risques climatiques tels que les faibles taux d'humidité de l'air (air sec), les vents chauds et les températures élevées génèrent l'avortement en masses des épillets et les taux élevés de dessèchement (échaudage), engendrant des pertes dépassant les 50% de la récolte (Belaid et al., 2005 ; Bouthiba et al., 2008 ; Merouche et al., 2014).

3. Sensibilité différentielle du blé au stress hydrique

D'après Nezhadahmadi et al. (2013), la tolérance du blé au stress dépend plus particulièrement du stade de développement de la plante.

Chez le blé, la germination, le tallage et les stades de reproduction sont considérés comme les plus sensibles à la sécheresse (Passioura, 2007).

Selon Afroz et al. (2014), il existe d'énormes différences entre les différents génotypes de blé, qui sont généralement la base de performance du rendement. En effet, le rendement en grains

peut être évalué en termes de trois composantes ; le nombre d'épis par unité de surface, nombre de grains par épi et le poids des grains (Soltner, 2012).

Le stress causé par la sécheresse peut provoquer la réduction des traits liés au rendement, notamment, le nombre d'épis par unité de surface (Assem et al., 2006) et le nombre de grains par épi (Abayomi et Wright 1999), tandis que le poids des grains est fortement affecté par le stress hydrique pendant la période de remplissage du grain (Chmielewski et Kohn 2000 ; Afrooz et al. 2014). Golparvar et al. (2002).

Innes et Blackwell (1981) ont reporté que des pertes importantes dans le rendement en grains sont causées par le manque d'eau selon le stade de développement auquel le stress hydrique s'était produit.

Selon El Hafid et al. (1998b), le stress hydrique au stade tallage stoppe l'émission de talles et réduit la croissance des talles déjà formées. Au même stade, un stress hydrique sévère diminue la longueur et le volume des racines séminales, principalement dans les couches plus profondes du sol, réduisant ainsi l'eau disponible pour le blé pendant la deuxième partie de son cycle de croissance (Soltner, 2012).

Zhang et Oweis (1999) ont montré que les périodes de sensibilité maximale du blé dur à la sécheresse se situent entre le début de la montaison et le gonflement qui correspond à la formation des organes reproducteurs, puis de l'anthèse au remplissage-grain pâteux, d'où l'importance d'assurer une bonne alimentation en eau pendant ces deux périodes.

De son côté, Merouche et al. (2014) ont rapporté que la sécheresse, survenant au cours des deux semaines précédant l'épiaison, pourrait réduire le nombre de grains par épillet, alors que le manque d'eau en fin de saison réduisait le poids individuel des grains (Kobata et al., 1992).

4. Mécanismes d'adaptation du blé à la sécheresse

La sécheresse est le facteur environnemental le plus répandu et le plus limitant de la productivité des cultures à travers le monde (Bray, 1997). Les réponses des plantes à la sécheresse sont complexes et différents mécanismes sont adoptés par les plantes lorsqu'elles sont confrontées à la sécheresse (Izanloo et al., 2008).

La résistance à la sécheresse est un terme aussi large appliqué aux espèces végétales dotées de caractéristiques adaptatives leur permettant d'échapper, d'éviter ou de tolérer le stress hydrique (Levitt, 1980 ; Tardieu, 2005).

L'échappement à la sécheresse est la capacité d'une espèce végétale à compléter son cycle de vie avant le début de la sécheresse. Ainsi, les plantes ne connaissent pas de stress, car elles sont en mesure de moduler leur croissance végétative et reproductrice en fonction de la disponibilité en eau (Tardieu, 2005).

L'évitement de la sécheresse est la capacité d'une espèce végétale à maintenir une teneur en eau tissulaire relativement plus élevée malgré une teneur en eau réduite dans le sol (Levitt, 1980). Ceci est réalisé grâce à une variété de traits adaptatifs impliquant la minimisation de la perte d'eau en réduisant le taux de transpiration, la conductance stomatique et la surface foliaire (espèces économes en eau), et l'optimisation de l'absorption d'eau par le maintien d'une bonne absorption d'eau grâce à la croissance racinaire (espèces dépendantes en eau) (Tardieu, 2005).

La tolérance à la sécheresse est la capacité des espèces végétales à supporter une teneur en eau tissulaire faible pendant le stress hydrique grâce à des caractères adaptatifs. Ces traits adaptatifs impliquent le maintien de la turgescence tissulaire par ajustement osmotique, l'élasticité cellulaire et l'augmentation de la résistance protoplasmique (Basu et al., 2016).

Dans la nature, un autre mécanisme qui n'est généralement pas pertinent pour l'agriculture est la résistance à la sécheresse extrême (stress sévère). Ce mécanisme s'aperçoit chez les plantes reviviscentes qui possèdent de forts mécanismes d'évitement de la sécheresse. Les plantes reviviscentes peuvent être exposées à une sécheresse sévère pour des mois, se prolongeant jusqu'à des années, les obligeant à optimiser leur croissance pour la survie, mais pas pour la production de grains, à long terme (Gaff, 1987 ; Porembski, 2000). Malheureusement, ces mécanismes de résistance à la sécheresse qui permettent aux plantes de survivre plus longtemps conduisent à un rendement de subsistance, beaucoup plus faible que celui des conditions normales (Basu et al., 2016).

4.1. Réponses morphologiques au stress hydrique chez le blé

D'après Dencic et al. (2000), le blé dispose d'une attention particulière en phase de stress hydrique en raison de ses traits morphologiques, comprenant principalement la feuille (forme, expansion, surface, taille, sénescence, pubescence, ciriosité et tolérance de la cuticule) et la racine (poids sec, densité et longueur). Shiet al. (2010) ont rapporté que la sécheresse peut affecter les stades végétatifs et reproductifs. Par conséquent, comprendre les réponses des plantes à la sécheresse à chaque stade du cycle de développement est crucial pour progresser dans le génie génétique et la sélection.

4.1.1. Surface foliaire

D'après Roupheal et al. (2010), la surface foliaire est une importante caractéristique pour les études de croissance, d'interception de l'énergie lumineuse, d'efficacité photosynthétique, de transpiration, d'évaporation et de réponse à la fertilisation et à la disponibilité de l'eau. En effet, la surface foliaire est largement utilisée dans les modèles de prévision de la croissance et du développement de la plante.

L'importance de la surface foliaire dans le rendement en grains est un facteur primordial, les meilleurs rendements chez le blé étaient obtenus avec des indices foliaires de 8 à 10, à condition que le couvert végétal ne verse pas (Boyeldieu, 1980).

L'interaction "génotype × environnement" sur blé dur, engendre la réduction de la surface foliaire, à travers, une diminution de la taille et du nombre des feuilles en plus de l'enroulement foliaire (Nachit et al. 1992)

Par ailleurs, l'allongement (extension) de la feuille peut également être limité sous stress hydrique Passioura (1996).

En outre, le stress hydrique, accélère la sénescence des feuilles et peut augmenter la remobilisation des réserves de carbone des tissus foliaires aux grains, ce qui entraîne un accroissement du taux de remplissage des grains (Yang et al., 2004). D'une autre part, la sécheresse peut réduire la surface des feuilles et, par conséquent, diminuer la photosynthèse (Passioura, 1996).

Ce phénomène affecte, non seulement le nombre des feuilles par plante et leur taille, mais aussi leur longévité (Shao et al., 2008).

4.1.2. Croissance racinaire

La racine est un organe important capable de se déplacer pour extraire l'eau. C'est le premier organe à être induit par le stress hydrique (Shimazaki et al., 2005). Sous condition de stress hydrique, les racines continuent de croître pour atteindre l'eau, par contre, les organes aériens ralentissent leur développement. Cette différente réponse de croissance des pousses et des racines vis-à-vis la sécheresse est une adaptation aux conditions arides (Sharp et Davis, 1989 ; Spollen et al., 1993).

Sous des conditions de sécheresse, le rapport racine/pousse augmente pour faciliter l'absorption de l'eau (Morgan, 1984 ; Nicholas, 1998 ; Hopkins, 2008) cela est lié à la teneur en acide abscissique (ABA) des racines et des pousses (Rane et Maheshwari, 2001).

En effet, les racines sont moins sensibles au stress hydrique que les parties aériennes. Il semble que l'ajustement osmotique soit suffisant pour maintenir l'absorption de l'eau et la croissance des racines à des valeurs de potentiel hydrique inférieures à celle que les feuilles peuvent en supporter (Hopkins, 2008).

Le taux de croissance des racines de blé a été diminuée sous conditions de sécheresse modérées et sévères, alors qu'il ne l'était pas nettement en période de sécheresse courte et légère (Rao et al., 1993).

4.2. Réponses physiologiques au stress hydrique chez le blé

Les caractères physiologiques sont importants pour la compréhension globale de la réponse complexe des plantes au stress hydrique et, par conséquent, leur utilisation pour l'amélioration variétale (Arjenaki et al., 2012 ; Rad et al., 2013 ; Gupta and Thind, 2015 ; Saleem et al., 2016b). En effet, un génotype qui est physiologiquement actif dans des conditions de sécheresse devrait être utilisé dans les programmes de sélection pour développer des variétés à haut rendement et tolérantes à la sécheresse (Saleem et al., 2017).

La compréhension des réponses physiologiques des cultures en période de sécheresse et le contrôle génétique complexe (Izanloo et al., 2008).

D'après Bray (2002), les réponses physiologiques aux conditions de sécheresse sont nombreuses et comprennent divers aspects physiologiques tels que la fermeture des stomates, la diminution de l'activité photosynthétique, l'altération de l'intégrité de la paroi cellulaire. A ceux-là s'ajoute la perte de turgescence et l'ajustement de l'osmose, la réduction du potentiel hydrique des feuilles, la diminution de la conductance des stomates au CO₂, la réduction de la concentration du CO₂ interne et la réduction du taux de croissance (Nezhadahmadi et al., 2013).

4.2.1. Activité photosynthétique

La photosynthèse de la feuille est la source la plus importante des rendements en grains de l'agriculture pluviale et/ou des terres arides en raison de l'extrême sensibilité de la phase reproductive et de la sénescence précoce sous stress hydrique en phase terminale (Gupta et Thind, 2015). La photosynthèse 'nette' de la feuille étandard du blé contribue de 30 à 50% en assimilats au remplissage des grains (Sylvester-Bradley et al., 1990).

Le dessèchement des feuilles de blé sous stress hydrique inhibe la photosynthèse en endommageant l'appareil photosynthétique et en réduisant la teneur en chlorophylle.

En revanche, l'excès d'eau permet aussi de réduire considérablement la teneur en chlorophylle totale dans les feuilles de blé. Richards et al. (2009).

La sécheresse entraîne une baisse rapide de la photosynthèse de la feuille drapeau pendant l'anthèse, limitant la contribution des assimilats au remplissage des grains et accélère la sénescence des feuilles et de la plante entière provoquant, en conséquence, une rigoureuse réduction de l'efficacité photosynthétique de la culture (Yang et al., 2003).

4.2.2. Teneur en chlorophylle

Selon Bahar et al. (2011), la durée de vie de la surface verte ou la stabilité de la chlorophylle est une caractéristique qui est utilisée en sélection pour la tolérance et l'adaptation du blé tendre au stress dû à la sécheresse.

La diminution de la teneur en chlorophylle affectée par le déficit hydrique, suite à la sécheresse ou au stress thermique, aurait provoqué la production des espèces réactives d'oxygène (ROS) tels que $O_2\cdot$ et H_2O_2 qui provoqueraient une peroxydation lipidique des membranes de chloroplastes causant une destruction de la chlorophylle (Mirnoff, 1993; Foyer *al.*, 1994).

En outre, les stress réduisent la teneur en chlorophylle du feuillage par suite de dessèchement. Ainsi les génotypes qui maintiennent une teneur en chlorophylle élevée sont plus tolérants que ceux qui réduisent fortement leur contenu en chlorophylle (Ristic *et al.* (2007).

Par ailleurs, Hamblin *et al.* (2014) rapportent qu'une faible teneur en chlorophylle est bénéfique pour la plante en conditions contraignantes et une teneur réduite en chlorophylle peut également réduire la charge thermique au dessus de la canopée, réduisant ainsi les besoins en eau pour refroidir les feuilles. De plus, le nombre réduit de chloroplastes peut augmenter les nutriments disponibles pour une croissance et un développement optimaux.

4.2.3. Teneur relative en eau

La teneur relative en eau (TRE) est un critère utile pour prévoir l'état de l'eau tissulaire, exprimant ainsi le potentiel hydrique de la plante.

En effet, la TRE à travers sa relation avec le volume cellulaire peut indiquer avec précision l'équilibre entre l'eau absorbée par la plante et celle consommée à travers la transpiration (Clark et McCaig 1982 ; Ritchie *et al.*, 1990).

La teneur relative en eau fournit des informations utiles concernant le dépistage de la tolérance des génotypes de blé à la sécheresse (Jalaludine *et al.*, 2009 ; Arjenaki *et al.*, 2012, Rad *et al.*, 2013 ; Saleem *et al.*, 2016), de ce fait, les rendements en grains des cultivars de blé sensibles aux conditions déficientes en eau diminuent considérablement par rapport aux cultivars tolérants la sécheresse (Saeedipour, 2011).

4.2.4. Potentiel de turgescence

Selon Saleem *et al.* (2016a), la plupart des activités physiologiques et morphologiques telles que l'élongation des feuilles, l'ouverture des stomates et les activités photosynthétiques sont directement affectées par le potentiel de turgescence sous conditions de stress hydrique. A l'échelle de la plante, le potentiel de turgescence assure l'assimilation des solutés présents dans le sol et leur migration vers les parties aériennes de la plante, tout en assurant une régulation thermique des tissus exposés aux rayons du soleil (Hopkins, 2008).

Toutes ses fonctions ne vont pas être affectées de la même manière lorsque le statut hydrique de la plante sera déficitaire.).

A cet effet, En phase de stress hydrique, le potentiel hydrique des cellules s'abaisse et la plante se trouve obligée de mettre en place des mécanismes d'adaptation pour rééquilibrer son statut hydrique en raison de la faible pression de turgescence (Bouthier et al., 2012).

D'autre part, le stress hydrique ralentit l'expansion des cellules ; une moindre turgescence contraint les cellules à réduire leur taille ce qui est traduit par une plus faible taille des feuilles. Cette réaction peut être considérée comme un moyen rapide pour réduire la surface évaporante (Jaleel et al., 2007 ; Bouthier et al., 2012).

4.2.5. Fermeture des stomates

L'ouverture et la fermeture des stomates répondent à l'humidité ambiante. La régulation stomatique permet à la plante de régler sa perte d'eau par transpiration des feuilles par rapport à la vitesse de son absorption par les racines (Hopkins, 2008). La fermeture des stomates, provoquée par une baisse de turgescence des cellules de garde et en réaction aux signaux hormonaux émis par les racines, tel que l'acide abscissique (ABA), limite les pertes d'eau de manière à les équilibrer avec l'absorption racinaire.

Lorsque les feuilles commencent à jaunir, l'appareil photosynthétique se décompose. Ainsi, la sénescence associée au déclin de la capacité photosynthétique des feuilles se trouve aggravée sous stress hydrique (Yang et al., 2003a, b), alors que sous conditions de sécheresse légère, Lopes et Araus, (2006) ont rapporté que la fermeture stomatique est le facteur principal qui réduit la photosynthèse des feuilles de blé.

4.2.6. Ajustement osmotique

L'ajustement osmotique est l'un des principaux mécanismes de maintien de la pression de turgescence dans la plupart des espèces végétales pour contrôler la perte d'eau, permettant à la plante, sous conditions de sécheresse, de poursuivre l'absorption de l'eau et de maintenir plus longtemps ses activités métaboliques (Gunasekera et Berkowiz, 1992 ; Izanloo et al., 2008).

Les plantes perdent le potentiel de turgescence en période de sécheresse jusqu'à un point limitant l'expansion cellulaire, c'est pourquoi les plantes restent érigées (rabougries) et leurs feuilles sont de taille plus petite que celles qui poussent sous conditions hydriques non stressantes (Farooq et al., 2009).

L'ajustement osmotique permet à la plante d'accroître la pression osmotique présente dans ses cellules, ceci lui permet d'une part de réduire les pertes par transpiration et d'autre part d'accroître son pouvoir de succion vis-à-vis l'eau du sol consiste (Bouthier et al., 2012).

L'ajustement osmotique se rapporte spécifiquement à une augmentation nette de la concentration de solutés provoqués par des processus métaboliques déclenchés par le stress hydrique. Cela fait diminuer le potentiel hydrique qui devient donc plus négatif, permettent ainsi de maintenir le mouvement d'eau vers les feuilles et par conséquent leur turgescence (Hopkins, 2008).

Chap II : Matériel et méthodes

1. Matériel et méthodes

Le matériel végétal utilisé

Le matériel végétal utilisé est constitué de cinq génotypes d'origine et de comportement vis-à-vis de la sécheresse différents et fournis par l'institut technique des grandes cultures (ITGC) de Tiaret. La collection intègre un génotype sélectionné d'une population locale, Florence x Aurore qui a constitué un cultivar largement utilisé dans la culture du blé tendre.

Tableau2 : Le matériel végétal utilisé

Symbole	Nom du génotype
V1	Hidhab
V2	Cal /NH
V3	SOKOLL*2/ ROLF07
V4	CN079
V5	Florence xAurore

La conduite de l'essai

Les grains désinfectés ont été semés directement dans des cylindres de 150cm de profondeur et 20cm de diamètre, remplis d'un substrat composé de sol, sable et compost à des proportions respectives de 3: 3: 1. L'essai a été installé dans une serre à conditions contrôlées au niveau de la faculté des sciences de la nature et la vie de l'université Ibn Khladoun de Tiaret. Après levée, les cylindres au nombre de 50 ont été divisés en deux lots avec et sans déficit hydrique. Au niveau de chaque lot, chaque génotype est répété 5 fois. Les cylindres ont été irrigués à 100% de la capacité au champ avec de l'eau et qui a été substitué chaque semaine par une solution nutritive commerciale de type ACTIVEG. Au stade épiaison, le régime d'irrigation a été modifié pour les deux traitements hydriques. Le traitement SDH, les cylindres ont été maintenus à la capacité au champ par apport quotidien de la quantité d'eau évapo-transpirée. Au niveau du traitement ADH, les cylindres étaient maintenus à 50%CC. Ces régimes d'irrigation ont été maintenus de la sorte jusqu'à la maturité physiologique des grains.

2. Les mesures effectuées

2.1. Le poids de mille grains

A la maturité physiologique, les grains ont été récupérés et le poids de mille grains exprimés en grammes a été déterminé. L'évolution du poids de mille grains a été évalué selon la méthode suivante:

$$\text{Evolution (\%)} = ((\text{PMG.SDH} - \text{PGM.ADH}) / \text{PMG.SDH}) \times 100$$

Avec:

PMG.SDH: poids de mille grains du lot conduit à 100%CC

PMG.ADH: poids de mille grains du lot conduit à 50%CC.

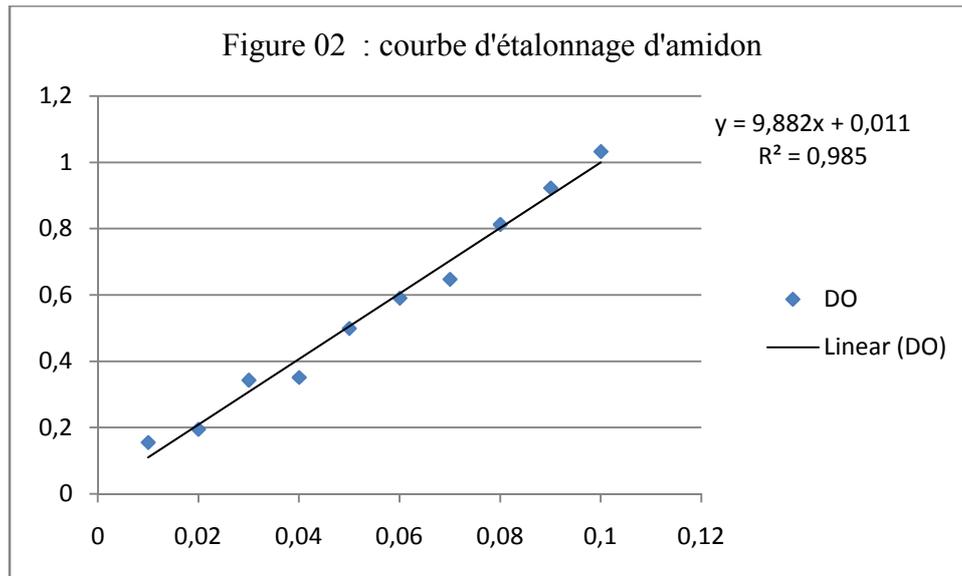
2.2. Détermination de la teneur en amidon des grains à maturité

A la maturité physiologique, une quantité de grains a été broyée avec un vibro-broyeur. 100mg de chaque génotype ont été additionnés de 5ml de KOH 1N. La solution a été neutralisé ensuite par ajout de 5ml de HCl 1N. Les tubes contenant cette solution sont placés dans de l'eau bouillante pendant 15mn. Après refroidissement, la solution est centrifugée à une vitesse de 3000tr/mn pendant 10mn. Le surnageant contenant l'amidon est récupéré. Les solutions de dosage d'amidon ont été préparées par un mélange selon la méthode suivante:

- Prendre 0.05ml du surnageant récupéré
- Ajouter 4.85ml d'eau distillée
- Ajouter 0.1ml de réactif constitué d'une solution de tri-iodure de potassium I₂KI

La solution obtenue a été mélangée et la lecture de son absorbance a été déterminée par un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 580nm.

Les teneurs en amidon des échantillons ont été déterminées en se référant à une courbe d'étalonnage préparée à cette opération (Fig02).



2.3. La structure du grain à maturité

La structure du grain a été effectuée sur des coupes histologiques à main levée pratiquées au niveau des grains à maturité. Les grains ont été trempés dans de l'eau distillée pendant 12 heures. Les grains ont été coupés sous un binoculaire à une mince épaisseur et les coupes ont été colorées avec un double colorant (vert d'iode et carmin aluné) et enfin surmontées d'une lamelle. Les lames préparées ont été immédiatement observées par un microscope de type LEICA muni d'un logiciel de mesure. Les mesures ont porté sur :

- Epaisseur de la couche d'amidon (μm)
- Epaisseur de la couche d'aleurone
- Le diamètre des grains d'amidon
- La longueur des cellules de la couche d'aleurone
- Le diamètre des cellules de la couche d'aleurone.

Traitement statistique des données

Les données ont été traitées statistiquement selon la méthode ANOVA à deux facteurs par STATISTICA Statsoft V.08. La signification des différences a été exprimée par le test F.

Chap III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Résultats

1.1. Le poids de mille grains

L'analyse des résultats issus de la détermination du poids de mille grains (Tab.) indique qu'il est significativement influencé par la nature du génotype et de la situation hydrique adoptée. L'application du déficit hydrique s'est soldée par une nette diminution du poids du grain chez l'ensemble des génotypes testés. Toutefois l'importance de régression du poids de mille grains dépend de la nature du génotype, ce qui est justifiée par une influence significative de l'interaction entre le génotype et la situation hydrique sur cette composante du rendement.

Les résultats moyens (Tab.) illustrent que dans le traitement SDH, le poids de mille grains varie dans l'intervalle délimité par des valeurs extrêmes de $48,66g \pm 0.53$ et $34,86g \pm 0.92$, enregistrées respectivement par les génotypes V4 et V2. Dans le traitement ADH hydrique le poids de mille grains fluctue entre $16,90g \pm 0.44$ et $31,39g \pm 1.21$ relevées dans l'ordre chez les génotypes V5 et V2.

Concernant les taux de réduction du poids de mille grains imposés par le déficit hydrique (Tab.04), on note que le génotype V2 s'avère le moins affecté en inscrivant un taux de - 9.97%. A l'opposé, le génotype V5 se distingue par la plus importante réduction avec un taux de 58.14%.

Tableau 03 : Effet du génotype, de la situation hydrique et de leur interaction sur le poids du grain de blé tendre à maturité. Les effets sont exprimés par le test F d'analyse de la variance factoriel à deux facteurs

Source de variation	Génotype	Situation hydrique	Génotype x situation hydrique
Poids de mille grains	16.507***	539.905***	24.972***

*** significatif au seuil de 0.1%

Tableau04 : Résultats moyens du poids de mille grains (g.) sous l'effet du génotype et de la situation hydrique

Génotypes	Teneurs en amidon des grains (mg/gMS)		
	SDH	ADH	Evolution
V1	41,60±1.4	26,52±1.05	36,25
V2	34,86±0.92	31,39±1.21	9,97
V3	43,46±0.19	23,78±1.58	45,27
V4	48,66±0.53	26,92±1.35	44,69
V5	40,36±1.63	16,90±0.44	58,14

1.2. La structure du grain

Les paramètres anatomiques du grain à la maturité concernent la structure des différents tissus de réserve. Ils se rapportent à l'épaisseur de la couche d'amidon et de la couche d'aleurone, du diamètre du grain d'amidon et des dimensions des cellules d'accumulation des protéines de la couche d'aleurone.

1.2.1. L'épaisseur de la couche d'amidon

Les résultats montrent que l'importance de la couche d'amidon exprimée par son épaisseur est significativement influencée par la nature du génotype, de la situation hydrique et de leur interaction (Tab06). En effet, l'application du déficit hydrique a provoqué une nette réduction d'épaisseur de la couche d'amidon ($r=-0.768^{***}$). Toutefois, cette influence reste tributaire de la nature du génotype et ce qui a été justifiée par une influence significative de l'interaction du génotype et la situation hydrique sur ce paramètre. Cette action démontre des comportements divergents des génotypes expérimentés vis-à-vis des variations d'alimentation hydrique sur l'élaboration de cette caractéristique.

Les résultats moyens (Tab.06) indique que l'épaisseur moyenne génotypique au niveau du lot conduit à la capacité au champ est de l'ordre de 1253.17 μ m, tandis qu'au niveau du lot conduit à 50% de la capacité au champ est équivalent à 877.9 μ m, représentant ainsi une réduction de l'ordre de 29.95%. Les réductions d'épaisseur de la couche d'amidon les plus prononcées ont été enregistrées chez les génotypes V2 et V1 à des taux respectifs de 47.77 et 33.45%. Les génotypes V3 et V5 ont enregistré des taux de réduction moyens évalués dans

l'ordre à 26.73 et 25.46%. A l'opposé de ces constatations, le génotype V4 semble être le moins affecté par le déficit hydrique, où la réduction d'épaisseur de la couche d'amidon des grains fournis n'est que de l'ordre de 19.47%.

1.2.2. Le diamètre des grains d'amidon

L'élaboration de cette caractéristique est également influencée par les deux facteurs d'étude, le génotype et la situation hydrique ainsi que de leur interaction (Tab.06). L'application du déficit hydrique a eu un effet réducteur du diamètre des grains d'amidon. En effet, le diamètre moyen génotypique de ce paramètre au niveau du lot SDH est de l'ordre de 28.53µm et évolue à 21.46µm dans le lot ADH, représentant ainsi une réduction moyenne de l'ordre de 24.8%.

Les résultats moyens (Tab.06) indiquent que les valeurs du diamètre des grains d'amidon au niveau du traitement SDH sont délimitées par des extrêmes de 44.06µm et 19.54µm, enregistrés respectivement par les génotypes V1 et V4. Dans le traitement mené en conditions hydriques déficientes, les valeurs de cette caractéristique fluctuent dans un intervalle délimité par 27.52µm et 17.32µm extériorisées toujours respectivement par les génotypes V1 et V4.

Tableau 05 : Effet du génotype, de la situation hydrique et de leur interaction sur les paramètres structuraux du grain de blé tendre à maturité. Les effets sont exprimés par le test F d'analyse de la variance factoriel à deux facteurs

Source de variation	Génotype	Situation hydrique	Génotype x situation hydrique
Epaisseur de la couche d'amidon	530.4***	3368.7***	50.9***
Epaisseur de la couche d'aleurone	165.82***	85.65***	366.47***
Diamètre des grains d'amidon	2198.5***	3321.5***	462.4***
Longueur des cellules de la couche d'aleurone	27577***	528***	20210***
Diamètre des cellules de la couche d'aleurone	17746***	11285***	29968***

*** significatif au seuil de 0.1%

Tableau 06: Résultats moyens d'épaisseur de la couche d'amidon et du diamètre des grains d'amidon sous l'effet du génotype et de la situation hydrique

	Epaisseur de la couche d'amidon			Diamètre des grains d'amidon		
	SDH	ADH	Evolution	SDH	ADH	Evolution
V1	1397,08	929,74	33,45	44,06	27,52	37,53
V2	1028,92	537,40	47,77	24,78	22,73	8,29
V3	1351,99	990,58	26,73	26,68	20,21	24,26
V4	1290,82	1039,55	19,47	19,54	17,32	11,37
V5	1197,02	892,26	25,46	27,61	19,51	29,33

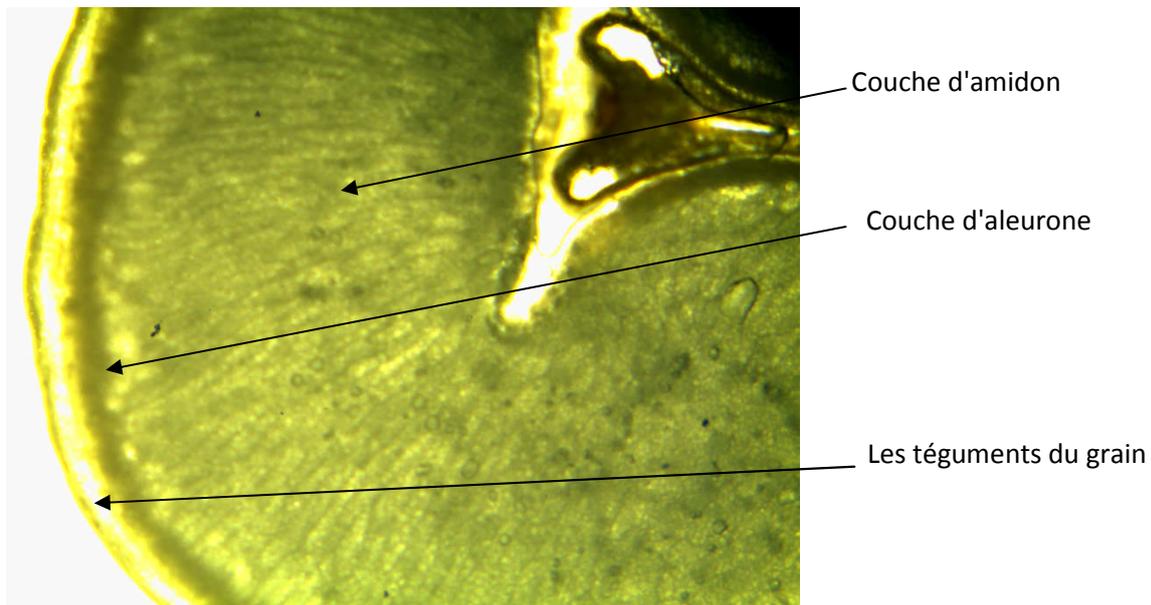


Figure 03 : Coupe transversale au niveau du grain de blé tendre de la variété V4 du lot SDH

1.2.3. Epaisseur de la couche d'aleurone

L'analyse des résultats (Tab.07) démontre que les variations d'épaisseur de la couche d'aleurone du grain sont significativement influencées par la nature du génotype, la situation hydrique adopté et de leur interaction ($p < 0.01$). En effet, l'application du déficit hydrique a provoqué des modifications d'épaisseur de la couche d'aleurone variables suivant la nature du génotype concerné. D'une manière générale, le déficit hydrique à provoqué une réduction de cette épaisseur, évaluée à 16.3%. Toutefois cette évolution s'avère distinctive parmi les génotypes.

Les résultats moyens (Fig.04) indiquent que l'application du déficit hydrique a provoqué des augmentations d'épaisseur de la couche d'aleurone chez les génotypes 2, 4 et 5 à des taux respectifs de l'ordre de 24.12, 47.24 et 116.39%. A l'opposé, le déficit hydrique à cette intensité (50%CC) a incité une réduction d'épaisseur de la couche d'aleurone chez les génotypes 1 et 3 à des taux respectifs de 71.56% et 62.44%.

Au niveau du lot conduit sous les conditions hydriques optimales, les valeurs de cette épaisseur varient entre $201.83\mu\text{m}$ et $51.69\mu\text{m}$, enregistrées dans l'ordre chez les génotypes 3 et 5. Dans le traitement conduit à 50%CC, les valeurs limites sont de l'ordre de $214.61\mu\text{m}$ et $50.2\mu\text{m}$, extériorisées respectivement par les génotypes 4 et 1.

Figure : Résultats moyens d'épaisseur de la couche chez les génotypes testés

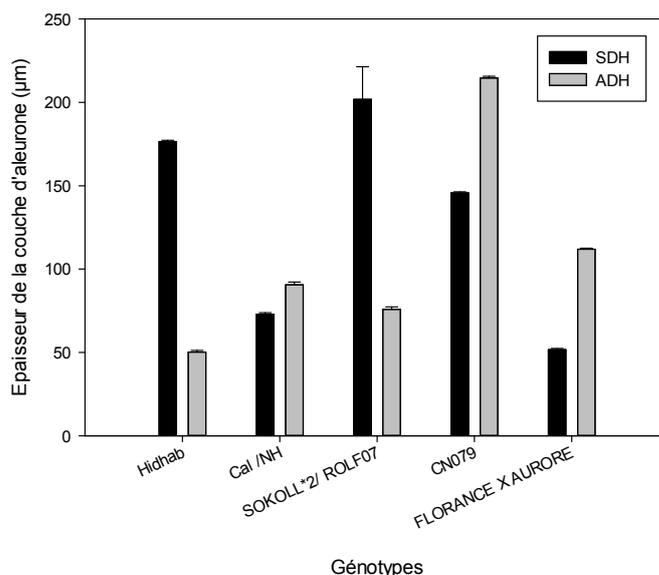


Figure 04

1.2.4. Les dimensions des cellules de la couche d'aleurone

Les paramètres retenus pour ces cellules se rapportent à la longueur et le diamètre (Fig.04). L'analyse des résultats (Tab07.) démontre que les dimensions des cellules de la couche d'aleurone sont grandement influencées par la nature des génotypes, de la situation hydrique et de leur interaction ($p < 0.01$). L'effet significatif d'interaction entre le génotype et la situation hydrique sur l'élaboration des dimensions de ces cellules illustre que les génotypes conduits se sont comportés de façons distinctes à l'égard des variations du régime hydrique adopté.

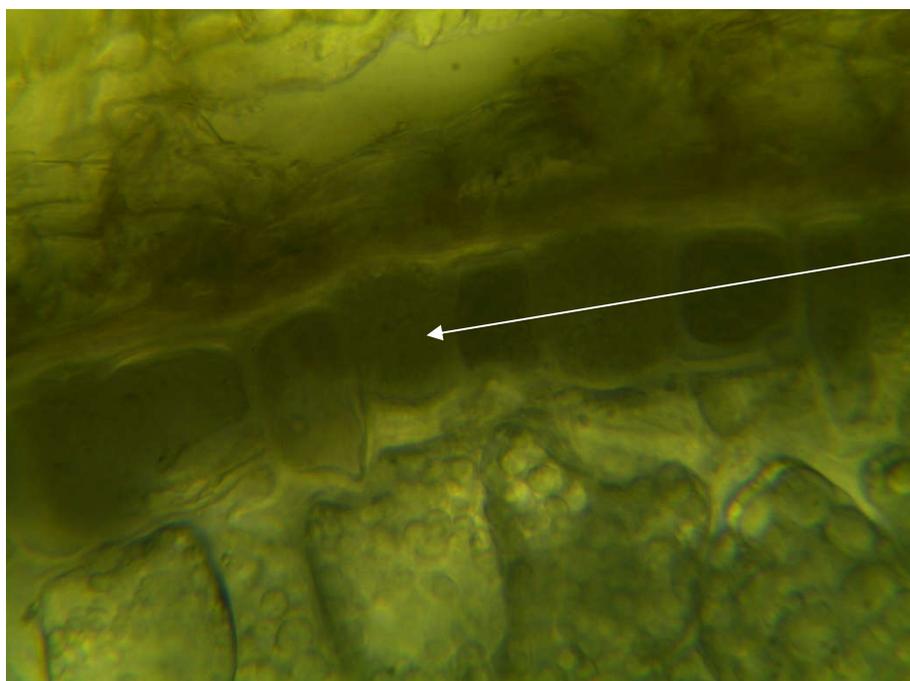
L'action de l'alimentation hydrique sur la longueur des cellules de la couche d'aleurone est contraste (Tab.07). Ainsi, le déficit hydrique a provoqué un accroissement de grandeur de cette caractéristique chez certains génotypes, alors que pour d'autres c'est une action inverse qu'a été constatée. Chez les génotypes V3 et V5, l'application de la situation hydrique déficiente (50%CC) s'est soldée par des régressions de la longueur des cellules à des taux respectifs de 27.64% et 15.83%. En effet, pour ces génotypes les valeurs de la longueur relevées dans le traitement SDH (100%CC) sont de l'ordre de 68.39 μ m (V3) et 52.78 μ m (V5), tandis qu'au niveau du traitement ADH, ces longueurs ont atteint des données de 49.48 (V3) et 44.42% (V5).

Chez les trois autres génotypes c'est une situation inverse qui s'est remarquée. Effectivement, les longueurs élaborées sous les conditions hydriques déficientes s'avèrent plus élevées que celles relevées dans les grains fournis par les plantes conduits sous un régime hydrique optimal (100%CC). Les taux d'accroissement de la longueur des cellules entre les deux situations hydriques ont atteint des valeurs de l'ordre de 7.14%, 34.71% et 6.9%, évaluées respectivement chez les génotypes V1, V2 et V4.

Des influences de tendances similaires ont résulté des variations des régimes hydriques sur l'élaboration du diamètre des cellules de la couche d'aleurone des grains des différents génotypes testés (Tab07.). Ainsi, chez les trois génotypes V2, V3 et V4, l'application du déficit hydrique a provoqué une réduction de ce diamètre à des taux de 25.9%, 52.79% et 21.56% relevés dans l'ordre au niveau des grains des génotypes V2, V3 et V4. Une situation inverse a été constatée au niveau des grains des génotypes V1 et V5, où l'application du déficit hydrique s'est accompagnée d'une augmentation des diamètres des cellules de la couche d'aleurone. Ces accroissements ont atteint des taux de 96.22% et 6.37% enregistré respectivement chez les génotypes V1 et V5.

Tableau 07 : Résultats moyens des dimensions des cellules de la couche d'aleurone sous l'effet du génotype et de la situation hydrique

	Longueur des cellules de la couche d'aleurone			Diamètre des cellules de la couche d'aleurone		
	SDH	ADH	Evolution	SDH	ADH	Evolution
V1	62,66	67,13	-7,14	22,77	44,67	-96,22
V2	43,04	57,98	-34,71	34,00	25,20	25,90
V3	68,39	49,48	27,64	56,04	26,46	52,79
V4	45,64	48,78	-6,90	53,61	42,05	21,56
V5	52,78	44,42	15,83	32,52	34,59	-6,37



Les cellules de la couche d'aleurone

Figure 05 : Photo illustrant la structure des cellules de la couche d'aleurone (V5 ADH, Gr.x40)

2. Les paramètres biochimiques des grains

Les traits retenus dans cette étude ont concerné la teneur en amidon des grains à maturité des génotypes expérimentés.

2.1. La teneur en amidon des grains

Les résultats obtenus indiquent que la nature du génotype et la situation hydrique étaient d'une influence très importante sur la synthèse et par conséquent la teneur d'amidon au niveau des grains (Tab08.). L'effet de leur interaction sur cette caractéristique est également significatif démontrant ainsi des comportements distinctifs des génotypes testés à l'égard des variations d'alimentation hydrique pour le dépôt d'amidon. Ce constituant qui s'avère déterminant dans l'élaboration de la qualité du grain du blé tendre, sa synthèse et son dépôt dépendent grandement des potentialités génétiques du matériel végétal conduit.

Les résultats moyens (Tab09.) indiquent la teneur en amidon des grains diminue avec l'application du déficit hydrique chez les génotypes V1 et V2. Cette diminution a atteint des taux de 14.17% et 39.64% respectivement chez les génotypes V1 et V2. A l'opposé, dans les grains des génotypes V3, V4 et V5, l'application du déficit hydrique s'est accompagnée d'une augmentation de la teneur en amidon particulièrement chez V4. On note dans ce contexte que les taux d'accroissement de ce composé a atteint des taux de 16.27%, 185.43% et 24.35% inscrits dans l'ordre chez V3, V4 et V5.

Au niveau du traitement SDH, les teneurs des grains en amidon vacillent dans un intervalle délimité par des extrêmes de 584.1mg/gMS et 65.67mg/gMS détenues respectivement par les génotypes V5 et V4. En conditions d'alimentation hydrique déficiente (ADH), les teneurs en amidon des grains varient entre 722.33mg/gMS et 132.66mg/gMS, enregistrées dans l'ordre chez les génotypes V5 et V2.

Tableau 08 : Effet du génotype, de la situation hydrique et de leur interaction sur les paramètres biochimiques du grain de blé tendre à maturité. Les effets sont exprimés par le test F d'analyse de la variance factoriel à deux facteurs

Source de variation	Génotype	Situation hydrique	Génotype x situation hydrique
Teneur en amidon	2113.21***	73.72***	119.94***

*** significatif au seuil de 0.1%

Tableau 09 : Résultats moyens de la teneur en amidon et des grains sous l'effet du génotype et de la situation hydrique

	Teneurs en amidon des grains (mg/gMS)		
	SDH	ADH	Evolution
V1	286,44	245,85	14,17
V2	219,78	132,66	39,64
V3	235,29	273,57	-16,27
V4	65,67	187,44	-185,43
V5	584,10	726,33	-24,35

3. Discussion

Le remplissage du grain constitue l'un des principaux paramètres conditionnant grandement l'élaboration du rendement chez le blé. C'est sur ce processus que se déterminent à la maturité physiologique, le poids et la qualité du grain (Adda, et All, 2005).

De nombreux travaux (Adda, et All, 2005; Monneveux et al, 2006; zerrad et all, 2002) ont démontré que le remplissage du grain est conditionné par la variabilité génétique cultivée et les facteurs environnementaux dans les quels elle s'exprime. En effet, l'alimentation hydrique des plantes s'annonce comme un facteur déterminant dans l'élaboration du grain. Toute déclaration de déficit hydrique durant les phases post-anthèse réduit significativement le poids final du grain et affecte sa qualité (Monneveux et Nemmar, 1986).

Ces résultats confirment ceux obtenus dans notre étude. En effet, l'application du déficit hydrique à une intensité de 50%CC s'est soldée d'une nette diminution du poids final du grain. Toutefois, la variabilité génétique manifeste des réactions distinctes consolidant la tendance à ce que l'effet du déficit hydrique sur l'élaboration du grain en dépend grandement.

L'effet du génotype et de l'alimentation hydrique est également exprimé sur l'élaboration de la qualité du grain du blé tendre. Les résultats obtenus reflètent ces actions, où la composition biochimique du grain à maturité s'est modifiée. L'action des variations d'alimentation hydrique sur la qualité du grain a été évoquée à travers de nombreux travaux (Blum, 1991 ; Arous et all, 2020). On note dans ce contexte que ces actions se soldent par une modification des teneurs en amidon et en protéines des grains. Egalement, la composition biochimique des ces constituants s'avère très sensible aux variations de l'alimentation hydrique de la plante.

En évoquant les résultats obtenus dans cette étude, il se démontre que la teneur en amidon de point de vue importance et la qualité des organisations qui le supportent (grains d'amidon) sont modifiées par le déficit hydrique terminal, mais reste tributaire de la nature du génotype concerné.

Le déficit hydrique s'est soldée par un accroissement et d'une façon générale des organisations d'accumulation des protéines (couche d'aleurone). Cette conséquence d'expliquerait par une synthèse protéique plus intense initiée suite à la déclaration du déficit hydrique et en englobant particulièrement les protéines de stress aux fonctions structurales et fonctionnelles.

Conclusion

Conclusion

La productivité des céréales d'hiver demeure faible pour élaborer une production satisfaisant les demandes croissantes de la population locale. Cette situation est générée par les faibles rendements enregistrés au fil des campagnes. Ces rendements expriment plusieurs contraintes où les conditions climatiques notamment les déficits hydriques en détiennent la part la plus importante.

Parmi les espèces céréalières, le blé tendre en occupe une place prépondérante. L'expression de la sécheresse sur l'élaboration du rendement en grains dépend de son intensité et l'époque de sa déclaration. Sa survenue à des stades tardifs du cycle de développement de la plante, dits post-anthèse, altère les paramètres quantitatifs et qualitatifs du grain de blé. En effet, toute alimentation hydrique déficiente durant ces phases réduit significativement le poids du grain et modifie sa composition biochimique. Les résultats obtenus de la réalisation de la présente étude confirment nettement ces effets. Le déficit hydrique appliqué, à la hauteur de 50% de la capacité au champ du substrat de culture a provoqué une importante réduction du poids final du grain. La réduction moyenne génotypique de ce poids a atteint un taux de 40%. Toutefois, l'influence du déficit hydrique sur cette composante reste grandement tributaire de la variabilité génétique cultivée. En effet, la nature du cultivar exprime spécifiquement les effets de la sécheresse. Ceci a été prouvé par les résultats obtenus qui démontrent que les cinq génotypes testés ont extériorisé des degrés de sensibilité à la sécheresse très divergents, avec des taux de réduction fluctuant entre 10% et 53%. Ces résultats imposent un choix orienté du matériel végétal destiné à la culture des espèces céréalières dans les zones des hauts plateaux Algériens.

Le déficit hydrique détient des effets variables sur les paramètres biochimiques, estimées à travers la structure du grain de blé tendre. Ainsi, il permet l'enrichissement du grain en amidon à travers l'augmentation d'épaisseur d'endosperme du grain. Toutefois, une réduction du diamètre des cellules accumulant l'amidon (grains d'amidon) a été constatée. L'importance de la couche d'aleurone, site d'accumulation des réserves protéiques s'avère insensible aux variations d'alimentation hydrique adoptée dans cette étude. Néanmoins, on constate une réduction des dimensions des cellules constituant cette couche d'aleurone.

Les résultats obtenus de cette étude informant que l'effet du déficit hydrique terminal sur la qualité du grain chez le blé tendre dépend grandement de la nature du matériel végétal conduit. Il est important de procéder par un choix variétal entre autres, pour accroître les potentialités de lutte contre le déficit hydrique.

References bibliographiques

1. Adda, H., Sahnoune, M., Kaid-Harch, M., & Merah, O., 2005. Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots. *Comptes Rendus - Biologies*, 328(10–11), 918–927. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2005.08.002>
2. AISSAOUI Mohamed Ridha Etude de l'effet de l'irrigation d'appoint sur l'amélioration de la production du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) dans la région de Sétif 2019
3. Ali Arous, Ahmed Adda, Moulay Belkhdja, Assia Bouzid and Othmane Merah, 2020. The contribution of green plant parts to grain filling of durum wheat under water deficit. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26 (No 4) 2020, 809–815.
4. Annicchiarico et al. 2006,
5. Assem et al., 2006 Assem, N., El Hafid, L., Haloui, B., and El Atman, K. 2006. Effets du stress hydrique appliqué au stade trois feuilles sur le rendement en grains de dix variétés de blé cultivées au Maroc oriental. *Sécheresse*, 17: 499-505.
6. BEKKA SELMA 1, 2 Amélioration de la tolérance du blé tendre aux stress hydrique par rapport de la proline revue *Agrobiologia.net*
7. Belaid et al., 2005 The antimicrobial peptide dermaseptin S4 inhibits HIV-1 infectivity in vitro.
8. Benkhellef, 2016 Stratégies génomiques pour une meilleure tolérance au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf)
9. Benkolli et Bouzeghaia 2016 Etude biochimique de dix variétés de ... Spécialité: Biologie et génomique végétale. Année: 2016 ...
10. Bonneuil et al., 2009 7 oct. 2009 — Gènes, pouvoirs et profits - Frédéric Thomas, Christophe Bonneuil - Éditions ... Cet ouvrage s'adresse à ceux que l'avenir des semences, ...
11. Bouakaz, Hamadouche, 2015 potentiel du génotype (Bouakaz et Hamadouche, 2015). L'un des premiers effets provoqués par le déficit hydrique est une réduction de la croissance ...
12. Bray - Trends in plant science, 1997 - Elsevier
13. C Lorin, H Saidi, A Belaid, A Zairi, F Baleux, H Hocini... - *Virology*, 2005
- Chmielewski et Kohn 2000 Impact of weather on yield components of winter rye over 30 years
14. De vita, P., Nicosia, O. L. D., Nigro, F., Platani, C., Riefolo, C., DI Fonzo, N. and Cattivelli, L. 2007. Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. In: *European Journal of Agronomy*, 26: 39–53. DOI:10.1016/j.eja.2006.08.00
15. Khan, A. A., Alam, M. A., Alam, M. K., Alam, M. J. and Sarker, Z. I. 2013. Genotypic and phenotypic correlation and path analysis in durum wheat. In *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 38(2): 219–225. DOI: 10.3329/bjar.v38i2.15885
16. Innes, P. and Blackwell, R. D. 1981. The effect of drought on the water use and yield of two spring wheat genotypes. *J. Agric. Sci., Camb.*, 96: 603—610
17. Dewettinck et al., 2008; Ebihara and Nakamoto, 2001; Goesart et al., ... kneading, proofing, shaping and baking (Dewettinck et al., 2008)
18. El Hafid, R., Smith, D.H., Karrou, M. and Samir, K. 1998. Morphological attributes associated with early season drought tolerance in spring durum wheat in a Mediterranean environment. *Euphytica*, 101: 273–282
19. erekul et al., 2012. effect of supplemental irrigation on yield and breadmaking quality of wheat (*triticumaestivum* l.) varieties under the mediterranean climatical conditions osman erekul* 1 klaus-peter gotz 2 talih gurbuz

20. Feillet, P. 2000. Le grain de blé, composition et utilisation. INRA Editions, Paris, France, 308p. ISBN: 9782738008961.
21. Nelson, 1985 First published: 01 January 1994
22. FM Chmielewski, W Köhn - Agricultural and Forest Meteorology, 2000
23. Food security in the Huang-Huai-Hai Plain of China is threatened by water shortages and the early senescence of wheat induced by water deficit. However, effective water-saving ...
24. Gate P., 1995. Ecophysiologie du blé, Edit. Lavoisier, Paris, Techniques et documentation, 429, p.
25. Hadria, 2006 Rachid Hadria is a researcher at the National Institute of the Agricultural Research in ... FORMOSAT image acquired 22 March 2006
26. Hafid, R. El, Smith, D. H., Karrou, M., & Samir, K., 1998. Morphological attributes associated with early-season drought tolerance in spring durum wheat in a mediterranean environment. *Euphytica*, 101(3), 273–282. <https://doi.org/10.1023/A:1018301721981>
27. Haider, N. 2012. Evidence for the Origin of the B Genome of Bread Wheat Based on Chloroplast DNA, *Turk. J. Agric. For.*, 36: 13–25. • Haider, N. 2013. The Origin of the B Genome of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) *Russian Journal of Genetics*, 49(3): 263–274
- Soltner, D. 2012. Phytotechnie spéciale : les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sciences et techniques agricoles, 21ème Edition. Angers. 472 p. (Collection Sciences et techniques agricoles).
28. HELLER et al., 1998 The democratisation of organisational life across all sectors is ably reviewed by *Heller et al (1998)* , who trace the evolutionary path that includes works ..
29. Hellin, J., Shiferaw, B., Cairns, J. E., Reynolds, M., Ortiz-Monasterio, I., Banziger, M., Sonder, K. and Rovere, L. R. 2012. Climate change and food security in the developing world: Potential of maize and wheat research to expand options for adaptation and mitigation. *J. Develop. Agric. Eco.*, 4(12): 311-321.
30. Hopkins, W. G. 2008. Introduction to Plant Physiology fourth edition. Published by John Wiley and Sons, New York, 512 pages Sharp et Davis, 1989
31. Izanloo et al., 2008, In the South Australian wheat belt, cyclic drought is a frequent ... and early-mature cultivar from Australia () .
32. Jairo A. Palta, Tohru Kobata, Neil C. Turner, Ian R. Fillery
33. Johansson, E., Nilsson, H., Mazhar, H., Skerritt, J., MacRitchie, F. and Svensson, G. 2002. Seasonal effects on storage proteins and gluten strength in four Swedish wheat cultivars. *J. Sci. Food Agr.* 82: 1305–
34. Johansson, E., Prieto-Linde, M. L. and Svensson, G. 2004. Influence of nitrogen application rate and timing on grain protein composition and gluten strength in Swedish wheat cultivars. *J. Plant Nutr. Soil Sc.* 167: 345-350.
- Ozturk, A. and Aydin, F. 2004. Effect of Water Stress at Various Growth Stages on Some Quality Characteristics of Winter Wheat. *J. Agronomy and Crop Science*, 190 : 93- 99.
35. Kara et Zerguine, 2016 Dosage des anthocyanes et de la glycine ... Métabolisme secondaire et molécules bioactives. Année: 2016 ...
36. Khamisi et Najaphy, 2012. alimentaires cultivée à grande échelle dans le monde (Comparé à d'autres céréales, Tayyar S. Variation in grain yield and quality of Romanian bread wheat varieties compared to local varieties in northwestern Turkey. *Romanian Biotechnological Letters*. 2010; 15: 5189-5196.

37. Khamssi, N. N. and Najaphy A. 2012. Agro-morphological and phenological attributes under irrigated and rain-fed conditions in bread wheat genotypes. *African Journal of Agricultural Research*, 7(1): 51-57.;
- Kobata et al., 1992. Remobilization of Carbon and Nitrogen in Wheat as Influenced by Postanthesis Water Deficits.
38. Levitt, J. (1980) Responses of Plant to Environmental Stress: Water, Radiation, Salt and Other Stresses. Academic Press, New York, 365. ... ABSTRACT: Drought is ..
39. Li, H., Jiang, D., Wollenweber, B., Dai, T., & Cao, W., 2010. Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 33(4), 267–275. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.07.002>.
40. Madhava Rao, K.V., Raghavendra, A.S. and Janardhan Reddy, K. (Eds.) 2006. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer Netherlands. p.337
- Nezhadahmadi, A., Prodhan, Z. H. and Faruq, G. 2013. Drought tolerance in wheat. *Scientific World Journal*., 2013:1-12..
41. Megherbi, A., Mehdadi, Z., Toumi, F., Moueddene, K., & Bouadjra, S. E. B., 2012. Tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et identification des paramètres morfo-physiologiques d'adaptation dans la région de Sidi Bel-Abbès (Algérie occidentale). *Acta Botanica Gallica*, 159(1), 137–143. <https://doi.org/10.1080/12538078.2012.673824>
42. Merouche, A., Debaeke, P., Messahel, M. and Kelkoui, M. 2014. Response of durum wheat varieties to water in semiarid Algeria. *African journal of agricultural research*, 9(38): 2879-2892. DOI: 10.5897/AJAR2013.7318
43. Bouthiba, A., Debaeke P. and Hamoudi, S. A. 2008. Varietal differences in the response of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) to irrigation strategies in a semi-arid region of Algeria. *Irrig. Sci.*, 26: 239-251.
44. Monneveux, P., & 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.) : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, 6(6), 583–590. <https://doi.org/10.1051/agro:19860611>
45. Monneveux, P., Rekika, D., Acevedo, E., & Merah, O., 2006. Effect of drought on leaf gas exchange, carbon isotope discrimination, transpiration efficiency and productivity in field grown durum wheat genotypes. *Plant Science*, 170(4), 867–872. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.12.008>.
46. Nachit, M., Picard, E., Monneveux, P., Labhilili, M., Baum, M. and Rivoal, R. 1998. Présentation d'un programme international d'amélioration du blé dur pour le bassin méditerranéen. *Cah. Agricultures*, 7: 510-515
- Debaeke, P., Aussenac, T., Fabre, J. L., Hilaire, A., Pujol, B. and Thuries, L. 1996. Grain nitrogen content of winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) as related to crop management and to the previous crop. *Eur. J. Agron.*, 5: 273- 286.
- Debaeke, P., Puech, J. and Casals, M. L. 1996. Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique : I. Etude en lysimètres. *Agronomie*, 16: 3-23.
47. Osakabe et al., 2014. Water stress responses in plants. View all 11 Articles ... 2010; Osakabe et al., 2011; Nishiyama et al., 2013; Ha et al., 2014).
48. Oweis et al., 2000 ; Ozturk and Aydin, 2004
- Guendouz, A, Guessoum, S., Maamari, K. and Hafsi, M. 2012. Effects of supplementary irrigation on grain yield, yield components and some morphological traits of durum wheat (*Triticum Durum* Desf.) cultivars. *Adv. Environ. Biol.*, 6(2): 564 – 572.

49. Oweis, T. 1994. Supplemental irrigation: An option for improved water use efficiency. p. 115–131. In Proc. Regional Seminar on the Optimization of Irrigation in Agriculture, Amman, Jordan. 21–24 Nov.
50. Oweis, T., Ziedan, H. and Taimeh, A. 1992. Modeling approach for optimizing supplemental irrigation management. Proc. Int. Conf. on Supplementary Irrigation and Drought Water Management, Valenzano, Italy. 27 Sept.–2 Oct. 1992. Inst. Medit. Agron., Valenzano, Bari, Italy
- Cooper, P. J. M., Gregory, P.J., Tully, D. and Harris, H.C. 1987b. Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of West Asia and North Africa. Exp. Agric., 23:113–158.,
- Perrier et Salkini, 1991 Supplemental Irrigation in the Near East and North ..., 1991 - Springer
51. Passioura, J. 2007. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. Exp. Bot., 581: 13-117.
52. Plant responses to water deficit are dependent on the amount of water lost, the rate of loss and the duration of the stressed condition. The characterization of a large number of genes
53. Pokharelet Pandey, 2012
54. ROUDAUT, H., et LEFRANCQ, E. (2005). Alimentation théorique. Edition. Sciences des Aliments. Doukani et al., 2013.) . Caractérisation physico-chimique du blé fermenté par Stockage Souterrain (Matmora
55. Saleem et al. (2016a,b) in characters studied here. ... Assessment of genetic effects of some physiological parameters in spring wheat undeMcKevith, 2004.
56. Saleem et al. 2016b in characters studied here. ... Assessment of genetic effects of some physiological parameters in spring wheat under ...
57. Sana KOUBAA Etude Structurale et Fonctionnelle d'une Protéine LEA du groupe 3 impliquée dans la tolérance au stress abiotiques et biotiques chez le blé dur 2019
58. SEMIANI M., '1997.- Etudes de l'effet du stress hydrique sur quelques processus physiologiques et de croissance de deux variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Recherche Agronomique, revue semestrte.ue, N°Q :23-32.
59. Shi et al., (2010
60. Sieling, C Stahl, C Winkelmann, O Christen - European Journal of ..., 2005 - Elsevier In this paper, the results of the period 1993/1994–
61. tetraploid, and hexaploid wheat. Theoretical and Applied Genetics, 95 : 1169- 1180. Duvorak et al., 1998.
62. The terms, laminar flow and purely viscous flow, are used synonymously to mean soil water movement which flows in laminas or layers
63. Wang et al., 2013 Merouche et al., 2014
64. Wang, Z Yu, PJ White - Field Crops Research, 2013 - Elsevier
65. Zerrad, W., Maataoui, B. S., Hilali, S., Biochimie, L. De, Mohammedia, T. De, & Settat, T. De., 2008. *Étude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress. Lebanese Science Journal*, 9(2), 27–36.
66. Zhang, H. and Oweis, T. (1999) Water-Yield Relations and Optimal Irrigation Scheduling of Wheat in the Mediterranean Region. Agricultural Water Management, 38, 195-211. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3774\(98\)00069-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00069-9).

Résumé :

La céréaliculture en Algérie et particulièrement la culture du blé dur et tendre occupe une place prépondérante dans le schéma de la production agricole. La superficie réservée à ces spéculations représente plus de 50% de la surface agricole utile. Néanmoins la production demeure faible pour satisfaire les besoins croissants exprimés par la population locale. Les faibles productions des produits du blé tendre s'expliquent principalement par les faibles et irréguliers rendements enregistrés au fil des campagnes. Du fait que notre consommation en ces produits s'avère parmi les plus élevées dans le monde, on a toujours recours à leur importation massive des marchés mondiaux et créant ainsi une dépendance difficilement supportable par les ressources financières du pays.

Les résultats obtenus de cette étude informe que l'effet du déficit hydrique terminal sur la qualité du grain chez le blé tendre dépend grandement de la nature du matériel végétal conduit. Il est important de procéder par un choix variétal entre autres, pour accroître les potentialités de lutte contre le déficit hydrique.

ملخص:

تحتل زراعة الحبوب في الجزائر، وخاصة زراعة القمح الصلب والقمح اللين، مكانة بارزة في مخطط الإنتاج الزراعي، تمثل المساحة المخصصة لهذه المضاربات أكثر من 50% من المساحة الزراعية المفيدة، ومع ذلك، لا يزال الإنتاج منخفضاً لتلبية الاحتياجات المتزايدة التي أعرب عنها السكان المحليون، يرجع انخفاض إنتاج منتجات القمح الشائع بشكل رئيسي إلى انخفاض الإنتاجية وعدم انتظامها خلال الحملات. نظراً لأن استهلاكنا لهذه المنتجات هو من بين أعلى المعدلات في العالم ، فإننا دائماً ما نلجأ إلى استيرادها على نطاق واسع من الأسواق العالمية، مما يخلق تبعية يصعب تحملها للموارد المالية للبلاد.

تشير النتائج التي تم الحصول عليها منذ هذه الدراسة الا ان تأثير العجز المائي النهائي على جودة الحبوب في القمح العادي يعتمد بشكل كبير على طبيعة المادة النباتية المستخدمو ، من المهم المضي قدما من خلال اختيار متنوع من بين . لزيادة امكانات مكافحة العجز المائي

Summary :

Cereal farming in Algeria and particularly the cultivation of durum and soft wheat occupies a prominent place in the scheme of agricultural production. The area reserved for these speculations represents more than 50% of the useful agricultural area. However, production remains low to meet the growing needs expressed by the local population. The low production of common wheat products is mainly explained by the low and irregular yields recorded over the campaigns. Because our consumption of these products is among the highest in the world, we always resort to their massive importation from world markets, thus creating a dependence that is difficult to bear for the country's financial resources.

The results obtained from this study indicate that the effect of terminal water deficit on grain quality in common wheat depends greatly on the nature of the plant material used. It is important to proceed by a varietal choice among others, to increase the potentialities of fight against the water deficit.