



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Biologie Végétale: قسم بيولوجيا النبات

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologies

Spécialité : Biotechnologie et Génomique Végétale

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

**Contribution à l'étude de la tolérance au stress hydrique chez le blé dur
(*Triticum durum* Desf.).**

Présenté par : BOUGUETTAYA Manar

Le : 28/06/2025

Jury d'évaluation :

Président: Pr. BOUSBA Ratiba (Prof., Université Constantine 1 frères Mentouri).

Encadrant : Dr. MOUELLEF Adra (MCB., Université Constantine 1 frères Mentouri).

Examineur: Dr. KHENAOUI Amina (MCB., Université Constantine 1 frères Mentouri).

**Année universitaire
2024 - 2025**



Dédicace

Il est difficile de trouver les mots justes pour exprimer toute la gratitude que je ressens aujourd'hui. Ce travail est l'aboutissement d'un parcours jalonné de doutes, d'efforts, mais surtout de belles rencontres et de soutiens inestimables.

À mes parents :

Vous qui avez toujours cru en moi, même lorsque la fatigue prenait le dessus. Merci pour votre amour inconditionnel, vos encouragements silencieux et vos sacrifices, que je mesure un peu plus chaque jour. Votre présence a été ma plus grande force.

Je remercie ma sœur et mon frère pour leurs mots rassurants, leurs gestes réconfortants et leur indéfectible soutien dans les moments de doute. Vous avez su rendre ce parcours plus doux.

À toute ma famille et à mes amis, pour leur soutien et leurs encouragements sincères, merci du fond du cœur.

Remerciements

Avant toute chose, je tiens à exprimer ma gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie sincèrement Dr MOUELLEF Adra, mon encadreur, pour sa disponibilité, sa patience, ses conseils avisés et son accompagnement tout au long de ce travail. Votre bienveillance et votre rigueur ont été précieuses et formatrices.

Je remercie également Pr BOUSBA Ratiba, présidente du jury, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant d'évaluer ce travail et pour l'attention portée à mon mémoire.

Ma reconnaissance va aussi à Dr KHENAOUI A., pour avoir accepté d'examiner ce mémoire et pour ses remarques pertinentes et constructives.

Je tiens à remercier l'ensemble du corps enseignant, pour la qualité de leur enseignement tout au long de mon parcours universitaire.

Enfin, je n'oublie pas mes parents, ma sœur, mon frère, ma famille et mes amis, pour leur soutien indéfectible, leur confiance et leurs encouragements constants. Votre présence à mes côtés a été une source de force et de motivation.

À toutes celles et ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont participé à cette aventure : merci du fond du cœur.

Contribution à l'étude de la tolérance au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.).

Résumé

Ce travail a pour objectif d'évaluer la réponse de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.), Bousselem et Waha, soumises à un stress hydrique induit par un arrêt d'irrigation de dix jours, appliqué au stade de trois feuilles, au début de l'apparition de la quatrième. L'étude porte sur plusieurs paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques : la surface foliaire, la teneur relative en eau (TRE), le taux de chlorophylle totale (TCT) et la teneur en proline. Les résultats révèlent que le stress hydrique entraîne une diminution notable de la surface foliaire, de la TRE et du TCT, accompagnée d'une augmentation significative de la teneur en proline. Bien que les deux variétés réagissent globalement de manière similaire à la contrainte hydrique, des différences dans l'intensité des réponses indiquent des capacités d'adaptation variables selon la variété.

Mots clés :

Blé dur, stress hydrique, paramètres morpho-physiologiques, biochimiques.

المساهمة في دراسة تحمل الإجهاد المائي عند القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.)

ملخص :

يهدف هذا العمل إلى دراسة سلوك صنفين من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) waha وBousselem في استجابتهما للإجهاد المائي المطبق من خلال إيقاف الري لمدة عشرة أيام، ويتم تطبيق الأخير في مرحلة الورقة الثالثة وبداية ظهور الورقة الرابعة. وتظهر النتائج المتحصل عليها أن الإجهاد المائي أدى، من ناحية، إلى تقلص مساحة سطح الورقة، وانخفاض المحتوى المائي النسبي، ومستوى الكلوروفيل الكلي. ومن جهة أخرى، زاد من محتوى البرولين في الأوراق. وأظهرت النتائج أن الإجهاد المائي يُسبب نفس الاستجابات في كلا الصنفين المختبرين، ولكن بدرجات متفاوتة.

كلمات المفتاحية:

القمح الصلب، الإجهاد المائي، المعايير المورفوفسيولوجية والكيميائية الحيوية

Contribution to the study of water stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.).

Abstract:

The objective of this work was to study the behavior of two durum wheat varieties (*Triticum durum* Desf.): Bousselem and Waha, in response to water stress applied by stopping irrigation for ten days, the latter being applied at the three-leaf stage, beginning the appearance of the fourth leaf. We analyzed several morphological, physiological, and biochemical parameters, namely leaf area, relative water content, total chlorophyll content, and proline content. The results obtained showed that the water stress involved, on the one hand, resulted in a reduction in leaf area, a decrease in relative water content, and total chlorophyll content. On the other hand, it increased proline content in the leaves. The results showed that water stress induced the same responses in both tested varieties, but to different degrees.

Keywords

Durum wheat, water stress, morpho-physiological and biochemical parameters.

Liste des abréviations

TRE : la teneur relative en eau

PROL : teneur en proline

Pf : poids frais

Ps : poids sec

FAO : Food and Agriculture Organization.

S: stressés.

T : témoin

°C : degré Celsius

CH₃COOH: acide acétique

U: Micro

SF : Surface foliaire.

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

TCT : taux de chlorophylle totale.

W : Waha.

Pi : poids initial de la feuille

P2h: poids de la feuille (trempée dans l'eau distillée 2h)

PS : poids sec de la feuille

ROS: Espèces Réactives d'Oxygène

%: Pourcentage

Fig: Figure.

H: Heure.

Liste figures

Figure 01 : Origine géographique du blé dur	04
Figure 02 : Origine génétique du blé dur	05
Figure 03 : Les différents stades de développement du blé	08
Figure04 : L'évaluation de la surface foliaire dans deux variétés de blé dur soumis à un stress hydrique.	21
Figure05 : Variation de la teneur relative en eau deux variétés de blé dur soumis à un stress hydrique.	23
Figure 06 : Variation du taux de la chlorophylle totale deux variétés de blé dur soumis à un stress hydrique.	25
Figure 07 : L'évaluation de la teneur en proline deux variétés de blé dur soumis à un stress hydrique.	27

Liste tableaux

Tableau 1 : Classification botanique du blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf)	06
Tableau 2 : Évolution de la production céréalière (données des rapports de l'ONS)	09
Tableau 3 : Principales caractéristiques des deux variétés de blé dur étudiées	17
Tableau 04 : Analyse de la variance ANOVA de la surface foliaire SF (cm ²):	22
Tableau 05 : Analyse de la variance ANOVA de la teneur relative en eau (%)	23
Tableau 06 : Analyse de la variance ANOVA du taux de la chlorophylle totale (unité de SPAD)	25
Tableau 07 : Analyse de la variance ANOVA de Variation de la teneur en proline (µg/100mg MF)	27

Sommaire

Sommaire

Introduction	1
CHAPITRE I : références bibliographiques	
I. Généralité sur le blé dur	3
1. Histoire de blé	3
2. Origine de blé	3
2.1. Origine géographique	3
2.2. Origine génétique	4
3. Description et classification botanique	5
3.1. Description de la plante	5
3.2. Classification botanique	6
4. Cycle de développement	7
5. Importance et production du blé dans le monde et en Algérie	8
5.1. Dans le monde	8
5.2. En Algérie	9
II. Nation de stress	10
1. Stress abiotique	10
1. Définition de stress hydrique	10
2. Influence du stress hydrique sur le rendement du blé dur	11
3. Mécanismes d'adaptation au déficit hydrique	11
4. Adaptation morphologique	12
4.1.1. Système racinaire	12
4.1.2. Surface foliaire	12
4.2. Adaptations physiologiques	12
4.2.1. La régulation stomatique	13
4.2.2. Ajustement osmotique	13
4.3. Adaptation biochimique	14
4.3.1. Rôle de la proline	14
4.3.2. Rôles des sucres solubles	15
CHAPITRE II : Matériel et méthodes	
1- Matériel Végétal	17
2- Mise en place de l'essai : Application du stress hydrique	17

a. Détermination et application de stress	18
3. Paramètres étudiés	18
3.1. Paramètres morphologiques	18
3.1.1. Surface foliaire (SF « cm ² »)	18
3.2. Paramètres physiologiques	18
3.2.1. Teneur relative en eau (TRE « % »)	18
3.2.2. Mesure du taux de chlorophylle totale (TCT« unité de SPAD »)	19
3.3. Paramètres biochimiques	19
3.3.1. Dosage de la proline (Prol « µg/100mg MF »)	19
Traitement des données et analyse statistique	20
CHAPITRE III : Résultats et discussion	
1. Variation de paramètre morphologique	21
1.1. Variation de la surface foliaire SF (cm ²)	21
2. Variation des paramètres physiologiques	22
2.1 Variation de la teneur relative en eau (%)	24
2. 2. Variation du taux de la chlorophylle totale (SPAD)	26
3. Variation des paramètres biochimiques	26
3.1 Variation de la teneur en proline (µg/100mg MF)	26
Conclusion	33
Références Bibliographiques	34

Introduction

Introduction

Introduction

Les céréales occupent une place primordiale dans le système agricole mondial. Elles constituent une part essentielle de l'alimentation humaine et animale. Parmi elles, le blé dur (*Triticum durum* Desf.) figure parmi les espèces les plus anciennes. Il représente une composante majeure de l'alimentation humaine, ce qui lui confère une importance économique considérable.

La culture du blé est principalement concentrée dans les pays méditerranéens, des régions caractérisées par un climat aride à semi-aride et confrontées à de grands défis agricoles, tels que l'augmentation des températures et la diminution des précipitations. La désertification et la sécheresse contribuent à la dégradation des sols, les rendant de plus en plus infertiles (Mouellef, 2010).

En Algérie, le blé constitue un aliment de base pour la population, notamment sous forme de semoule (utilisée pour le couscous, les galettes, les pâtes alimentaires). Cependant, face à une demande en constante augmentation, liée à la croissance continue de la population, les capacités de production nationale n'ont pas suivi. Cette stagnation s'explique en grande partie par les conditions climatiques défavorables, qui impactent directement la production agricole et ses rendements. La faiblesse de la production céréalière, et plus particulièrement celle du blé, a conduit l'Algérie à devenir l'un des plus grands importateurs mondiaux de blé (Agro, 2019).

Les stress environnementaux, causés par la fluctuation des facteurs abiotiques et biotiques, affectent gravement la productivité du blé. Parmi ces facteurs limitants, le stress hydrique est particulièrement préoccupant. Il compromet gravement la croissance, le développement des plantes et réduit leur productivité.

L'adaptation au déficit hydrique repose sur des processus physiologiques et biochimiques intégrés à différents niveaux d'organisation de la plante. Ces mécanismes permettent aux végétaux de retenir ou d'absorber l'eau tout en préservant leurs fonctions vitales. Ainsi, pour développer efficacement des programmes de sélection de variétés de blé tolérantes au stress hydrique, il est indispensable de mieux comprendre la physiologie de la tolérance chez cette espèce dans des conditions environnementales contraignantes.

Introduction

La recherche d'une meilleure adaptation du blé aux variations de l'environnement est devenue une priorité pour assurer la stabilité des rendements dans ces zones sensibles. Le rendement reste le critère de sélection le plus couramment utilisé. Toutefois, une sélection directe basée uniquement sur ce caractère s'est souvent révélée inefficace pour identifier des génotypes véritablement adaptés et tolérants aux différents types de stress (Benddaradji, 2013).

Pour répondre à cette problématique, le présent travail a pour objectif d'étudier l'effet du stress hydrique, induit par l'arrêt de l'irrigation, sur le comportement de deux génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.), à travers la mesure de certains paramètres physiologiques et morphologiques au stade juvénile.

Ce mémoire s'organise autour d'une introduction générale, suivie de trois chapitres principaux.

Le premier chapitre propose une revue bibliographique portant sur l'origine et l'importance du blé, le stress hydrique, ses effets sur les plantes, ainsi que les mécanismes adaptatifs.

Le deuxième chapitre, consacré aux matériels et méthodes, présente en détail le matériel végétal étudié, les conditions de culture expérimentales, ainsi que les paramètres mesurés.

Le troisième chapitre est dédié à la présentation des résultats, suivie de leur analyse et de leur discussion critique.

Enfin, ce travail se clôture par une conclusion générale mettant en lumière les principaux enseignements de l'étude, accompagnée de perspectives de recherche.

Chapitre I:

Revue

Bibliographiques

I. Généralité sur le blé dur

1. Histoire de blé

Le blé est l'une des premières espèces végétales à avoir marqué le début de la domestication de la nature et de la gestion de l'environnement par l'homme. Les premiers signes d'une pratique agricole organisée remontent à environ 9 000 ans avant J.-C., dans la région communément appelée le Croissant fertile.

Les formes sauvages identifiées de diverses espèces telles que l'amidonnier sauvage, le pois chiche sauvage ou encore la vesce sauvage seraient originaires du Proche-Orient et du Moyen-Orient. La céréaliculture s'est ensuite progressivement étendue vers l'Europe, l'Asie et la vallée du Nil. Le froment était déjà cultivé en Grèce il y a environ 6 000 ans avant J.-C., puis s'est diffusé via les routes de la Méditerranée et du Danube. Des traces de grains de blé ont d'ailleurs été découvertes en Bretagne, datant d'environ 5 000 ans avant J.-C. (Yves et Jacques, 2000).

Grâce à sa forte teneur en gluten, le blé s'est rapidement imposé dans les anciennes civilisations comme ingrédient de base pour la fabrication du pain. À travers les âges, il a conservé ses valeurs nutritives et gustatives, demeurant une céréale fondamentale de notre alimentation moderne et entrante dans la composition de nombreux produits de consommation courante.

2. Origine de blé

2.1. Origine géographique

La plupart des recherches archéologiques confirment que les origines du blé se situent dans la région du Croissant fertile, plus précisément au sud de l'Anatolie et au nord de la Syrie. C'est à partir de cette zone que le blé s'est diffusé progressivement vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe (figure 01).

À la fin du XVIII^e siècle, le blé est introduit en Amérique du Nord par les colons anglais. La voie de diffusion la plus ancienne vers les pays du Maghreb passait par la péninsule italienne et la Sicile (Bonjean, 2001). De manière générale, le blé dur, présent à travers de nombreuses périodes clés de l'histoire, constitue un indicateur pertinent de la situation socio-économique des nations où il est cultivé.



Figure 01 : Origine géographique du blé dur (d'après Zohary, 2000).

a. Origine génétique

Les premières découvertes sur l'origine des gènes du blé reposaient sur des analyses cellulaires. Puis, l'arrivée des techniques moléculaires a permis d'obtenir des détails plus précis et d'ajouter de nouvelles informations. Il est également crucial de noter que le processus d'allopolyploïdie a été un moteur majeur de l'évolution du blé.

En fonction du degré de ploïdie, on peut différencier les blés diploïdes (génome AA), les blés tétraploïdes (génome AA et BB) et les blés hexaploïdes (génome AA, BB, et DD) (Feillet, 2000). Le croisement naturel *Triticum monococcum* x *Aegilops Sitopsis* suivi des dédoublements chromosomiques a conduit à l'apparition du blé dur sauvage de type AABB (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*) qui a progressivement évolué vers *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccon* puis vers *Triticum durum* (blé dur cultivé) ($2n = 28 = AABB$) (Auriau, 1978) (figure 2). Le blé dur est allotétraploïde (deux génomes: AABB), comptant au total 28 chromosomes ($2n = 4x = 28$), contenant le complément diploïde complet des chromosomes de chacune des espèces souches. Comme telle, chaque paire de chromosomes du génome (A) a une paire de chromosomes homologues dans le génome (B), à laquelle elle est étroitement apparentée (Wall et

al.,1971). Cependant, pendant la méiose, l'association des chromosomes se limite uniquement aux paires homologues. Ce processus est contrôlé par des gènes inhibiteurs spécifiques.

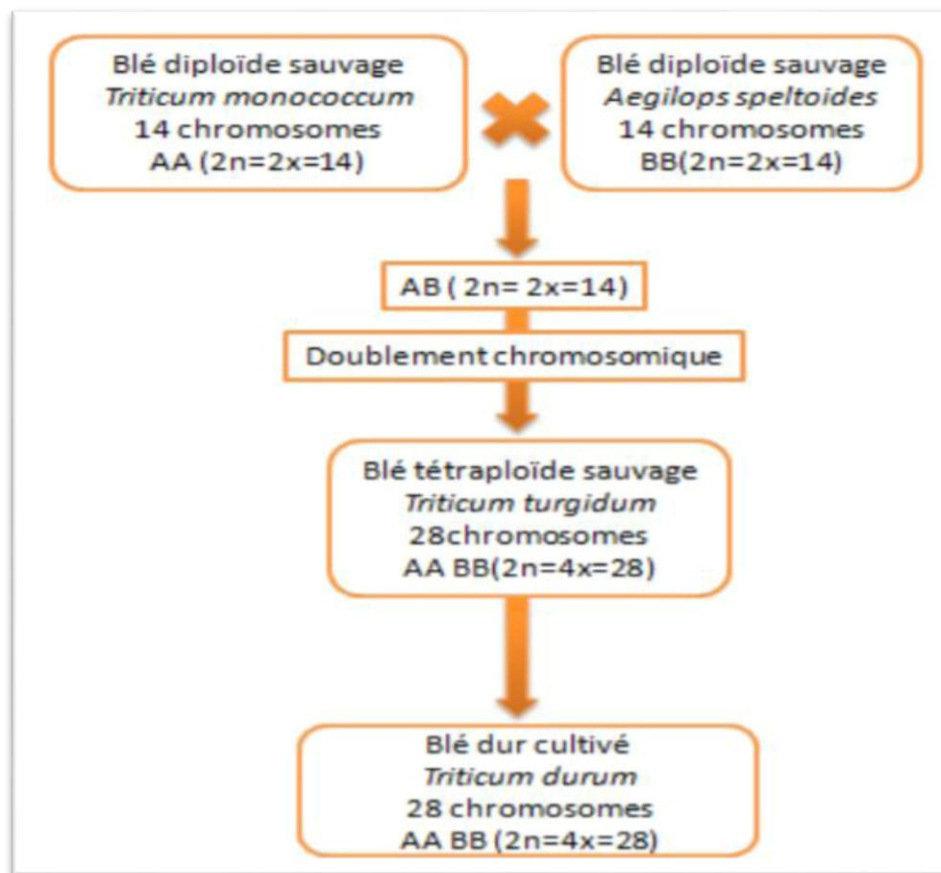


Figure 02 : Origine génétique du blé dur (Debiton, 2010)

3. Description et classification botanique

3.1. Description de la plante

Le blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) est une plante annuelle de la classe de monocotylédones de la famille des Graminées, de la tribu des Triticées et du genre *Triticum* (Feillet, 2000).

Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent (Bozzini, 1988).

Le blé dur possède une tige cylindrique, dressée, habituellement creuse et subdivisée en entre nœuds. Certaines variétés possèdent toutefois des tiges pleines. Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale (Bozzini, 1988). La tige principale et chaque brin portent une inflorescence en épi terminal. L'inflorescence du

blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entre nœuds (Soltner, 1998).

Les feuilles sont alternes, distiques, simples et entières. La gaine foliaire est arrondie et auriculée, la ligule est membraneuse, et le limbe est linéaire, mesurant environ 10 à 15 cm de long sur 1 à 2 cm de large, avec des nervures parallèles et une surface plane.

L'épi terminal, de type distique, mesure entre 4 et 18 cm de long. Il porte des épillets sessiles, solitaires, insérés sur un rachis en zigzag. Chaque épillet, long de 10 à 15 mm, est comprimé latéralement et comporte 3 à 9 fleurs bisexuées, dont les 1 à 2 supérieures sont généralement rudimentaires.

Le fruit, appelé caryopse, est de forme ellipsoïde, avec un sillon central sur l'une de ses faces. Sa couleur varie du brun rougeâtre au jaune ou blanc (Céréales et légumineuses).

Les enveloppes du grain, épaisses et opaques, présentent une bonne aptitude à la mouture, en particulier lors du passage entre les cylindres des moulins (Feillet, 2000).

3.2. Classification botanique

Le blé est une plante monocotylédone appartenant au genre *Triticum* de la famille des Poacées. Cette famille, particulièrement vaste, regroupe environ 9 500 espèces réparties dans près de 660 genres, ce qui en fait la quatrième plus grande famille parmi les plantes à fleurs en termes de diversité (Botineau, 2010). Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) se rattache à la classification suivante, telle qu'illustrée dans le tableau ci-dessous, selon Feillet (2000) : et Huang et al., (2002)

Tableau 1 : Classification botanique du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Embranchement :	Spermaphytes
Sous Embranchement :	Angiospermes
Classe :	Monocotylédones
Ordre :	Poales
Famille :	Poaceae
Sous-famille :	Festucoideae
Tribu :	Triticeae
Sou-Tribu :	Triticineae
Genre :	<i>Triticum</i>
Espèce :	<i>Triticum durum</i> Desf.

4. Cycle de développement

Les blés sont des monocotylédones, un caractère qui détermine notamment le type de germination, l'architecture et le mode de croissance de la plante. Au cours de la germination, la coléorhize s'épaissit en une masse blanche qui perce le tégument de la graine au niveau du germe : c'est le début de l'émission des racines primaires, garnies de poils absorbants (Figure 03). Simultanément, la coléoptile, qui enveloppe la première feuille, s'allonge vers la surface. Une fois émergé, il laisse percer cette première feuille, marquant ainsi le stade de la levée. La deuxième et la troisième feuille apparaissent ensuite. De nouvelles feuilles se forment alors le long de la tige principale, chacune à un point d'insertion spécifique appelé nœud. La montée de l'épi résulte de l'élongation des entre-nœuds, constituant ce qu'on appelle le chaume. À ce stade, les talles montantes (pousses secondaires susceptibles de former un épi) entrent en compétition avec les talles herbacées, qui n'arrivent pas à se développer pleinement. Ces dernières régressent progressivement et finissent par mourir (Masle, 1982). Ce phénomène se manifeste dès les premiers stades de croissance des jeunes talles par un ralentissement, puis un arrêt total de leur développement (Masle, 1981).

Lorsque l'épi émerge de la gaine de la feuille étendard, on entre dans le stade de l'épiaison, durant lequel la formation des organes floraux s'achève. La floraison débute généralement 4 à 5 jours plus tard. À ce moment-là, les fleurs restent souvent fermées, un phénomène appelé cléistogamie. Ce stade marque la fin du cycle végétatif et le début de la phase de remplissage des grains, dernière composante du rendement. Le poids final du grain dépend en grande partie de la migration des substances glucidiques, produites par la feuille étendard et stockées dans le péduncule de l'épi (Gate, 2003). Cette phase requiert des conditions chaudes et sèches pour se dérouler correctement. Elle comprend plusieurs étapes : la maturité laiteuse, durant laquelle le grain contient encore environ 50 % d'humidité et où le stockage des protéines s'achève ; la maturité physiologique, moment où l'amidon commence à s'accumuler et le grain perd progressivement son humidité ; enfin, la maturité complète, où l'humidité descend à environ 20 %, rendant le grain apte à la récolte. Cette dernière étape marque le début de la période des moissons.

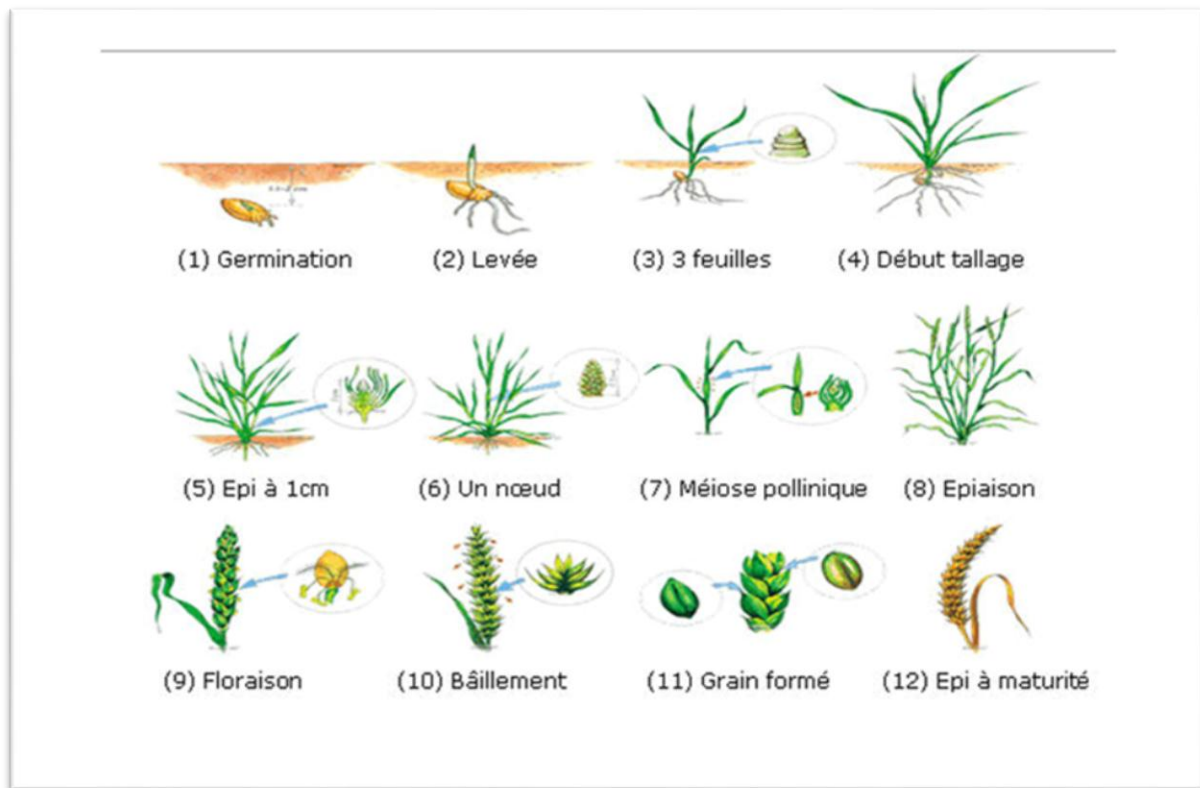


Figure 03 : Les différents stades de développement du blé.

5. Importance et production du blé dans le monde et en Algérie

5.1. Dans le monde

Le blé est la deuxième céréale au monde par les volumes produits, mais la première par les volumes échangés. Céréale historiquement consommée dans plusieurs aires géographiques (Bassin méditerranéen, Chine et Inde, Europe, Amérique du Nord), le blé l'est de plus en plus hors de ces régions, sous l'effet de la mondialisation et des stratégies des pays producteurs à la recherche de débouchés. Certains États dépendent intégralement des marchés internationaux pour leur approvisionnement en blé. Dans un contexte de forte augmentation du prix des denrées agricoles, c'est la sécurité alimentaire de régions entières qui est menacée. Bien moins médiatisé que le pétrole, le blé n'en est pas moins une ressource centrale pour la sécurité alimentaire de nombreuses populations dans le monde. La consommation de cette plante d'origine moyen-orientale s'est très largement mondialisée, que ce soit pour faire du pain (blé tendre), des pâtes, du couscous ou du boulghour (blé dur). S'il est moins consommé à l'échelle mondiale que le riz,

le blé est la céréale la plus exportée au monde avec, en 2020, 242 millions de tonnes (Mt) échangées sur la planète (contre 68 Mt pour le riz)(Denieulle, 2023).

5.2.En Algérie

Les produits céréaliers jouent un rôle stratégique fondamental au sein du système alimentaire et de l'économie nationale. Cette importance se manifeste clairement à travers toutes les étapes de la filière)le blé dur (*Triticum durum* Desf), est la première céréale cultivée dans le pays.Plusieurs types de contraintes expliquent cette faible productivité : les contraintes abiotiques, où la pluviométrie joue un rôle majeur ; les contraintes biotiques, avec une prédominance des adventices ; et les contraintes humaines, concernant les itinéraires techniques mis en œuvre, entre autres.

Tableau 2 : Évolution de la production céréalière (données des rapports de l'ONS, 2021)

	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021
Céréales d'hiver	34 322 742	34 702 520	60 568 040	56 259 903	43 895 460	27 648 258
Blé dur	19 376 173	19 909 570	31 780 207	32 087 678	25 785 832	18 341 617
Blé tendre	5 024 791	4 455 460	8 031 984	6 681 084	5 281 706	3 342 243
Orge	9 199 064	9 696 964	19 573 271	16 477 463	12 131 371	5 553 638
Avoine	721 209	640 175	1 180 178	1 013 052	693 855	404 611
Triticale	1 505	350	2 400	626	2 697	6 148
Céréales d'été	126 442	76 060	91 340	72 954	34 776	183 076
Maïs	36 865	26 335	55 125	63 683	32 212	179 212
Sorgho	89 577	49 725	36 215	9 271	2 564	3

II. Nation de stress

Le terme « stress » définit l'ensemble des perturbations biologiques provoquées par une agression quelconque sur un organisme. C'est un processus qui induit une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant. Le stress est un ensemble de conditions qui provoquent des changements de processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement (Menacer, 2007). Par ailleurs, la fluctuation des facteurs abiotiques comme la sécheresse, la salinité, les températures et le froid crée des stress environnementaux qui, à leur tour, impactent la croissance, le développement et le rendement des plantes.

1. Stress abiotique

Ce phénomène survient en raison d'un déséquilibre ou d'une augmentation des éléments physiques et chimiques de l'environnement. Parmi les types de stress que les plantes endurent durant leur cycle de vie, on trouve : la température (chaleur, froid et gel), le stress hydrique (inondation, sécheresse), la salinité et les produits chimiques (pesticides, polluants...). Les plantes ont développé des stratégies d'adaptation pour faire face aux chocs chimiques ou physiques causés par l'environnement. Pour survivre, elles doivent soit éviter, soit échapper au stress. Par exemple, les géophytes et les hémicryptophytes en hiver survivent grâce à leurs parties souterraines ou proches du sol, tandis que les thérophytes printanières évitent de croître pendant les saisons froides et chaudes (Laclerc, 1999; Belaadi, 2014).

2. Définition de stress hydrique

Le stress hydrique représente une contrainte environnementale majeure qui compromet significativement la productivité agricole à l'échelle globale. Son importance actuelle et future dans les analyses agro-économiques est indéniable. Le stress hydrique est toute restriction hydrique qui se traduit par une baisse de potentiel de la plante suite à une perturbation de son activité physiologique provoquée par un déficit de consommation en eau et communément appelé stress hydrique (Mouellef, 2010).

3. Influence du stress hydrique sur le rendement du blé dur

Un stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. Un stress hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (Debaeke et al., 1996). Le rendement en grains chez le blé dépend fortement du nombre de grains par épi, du poids de grains par épi et du nombre d'épis par m² (Triboï, 1990). L'effet du déficit hydrique sur ces composantes et par conséquent sur le rendement, dépend du stade au cours duquel le déficit survient (Debaeke et al., 1996). Ainsi, un déficit hydrique à la montaison se traduit par la chute du nombre d'épis, la régression intense des tiges et la baisse du nombre de grains par épi (Debaeke et al., 1996). À la fin de la montaison, 10 à 15 jours avant l'épiaison, la sécheresse réduit le nombre de fleurs fertiles par épillet (Debaeke et al., 1996). Le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et de la durée de remplissage (Triboï, 1990). Au cours du remplissage des grains, le manque d'eau a pour conséquence une réduction de la taille des grains (étalement), réduisant par conséquent le rendement (Gate et al., 1993). Ainsi que Le risque de stress hydrique est présent pendant la quasi-totalité du cycle biologique de la céréale. Qui plus est, pour se développer adéquatement, la plante doit être dotée de mécanismes d'adaptation qui lui confèrent la capacité de résister au stress hydrique. (Emploie des synonymes pour "presque" et "bien se développer").

4. Mécanismes d'adaptation au déficit hydrique

Afin de faire face au manque d'eau, les plantes mettent en place diverses stratégies d'adaptation qui diffèrent selon l'espèce et les conditions environnementales (Évitement et tolérance). La tolérance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à croître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (Slama et al., 2005). Il existe une large gamme de mécanismes de tolérances à la sécheresse qui ne sont pas exclusifs les uns des autres et qui peuvent même être complémentaires (Jones et al., 1980). Ces mécanismes sont d'ordre phénologiques, morphologiques et physiologiques. La tolérance du blé à la contrainte hydrique peut être associée à une précocité d'épiaison (Makhlouf et al., 2006), à un système racinaire abondant (Hurd, 1974 ; Passioura, 1983), à une fermeture rapide des stomates, à une grande efficacité d'utilisation de l'eau (Green et Read, 1983) ou au maintien d'un potentiel de turgescence élevé (Kreim et Kronstad, 1981) et (Morgan et Gordan, 1986).

4.1. Adaptation morphologique

L'effet du stress hydrique peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou génotype, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilats. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine (Bajji, 1999) réduction de la surface foliaire et du nombre de tiges, enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire (Slama *et al.*, 2005).

4.1.1. Système racinaire

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol est un facteur fondamental de la résistance à la sécheresse. Cette caractéristique est d'une importance particulière pour les cultures qui connaissent périodiquement des manques d'eau lors de leurs dernières phases de développement. L'efficacité des racines à accéder aux réserves hydriques souterraines en période de stress représente un mécanisme très performant pour la production de graines. L'efficacité de l'extraction de l'eau du sol par les racines figure parmi les types d'adaptation permettant à la plante d'éviter ou, plus exactement, de retarder la déshydratation de ses tissus (Turner *et al.*, 2001).

4.1.2. Surface foliaire

La réduction de la surface des feuilles est un mécanisme essentiel pour minimiser les besoins en eau des plantes soumises à un stress hydrique intense. D'après O'toole & Cruz (1980), montrent que l'enroulement des feuilles entraîne une diminution de 40% à 60% de la transpiration, le phénomène d'enroulement des feuilles peut se manifester quand la sévérité du stress est de -0,8 à -1,0 MPa et on observe l'enroulement complet vers -2,0 à -2,5 MPa, ce qui correspond à des conditions de déficit hydrique intense (Morgan, 1984).

4.2. Adaptations physiologiques

L'entretien d'un potentiel hydrique élevé est essentiel car il est lié à la capacité d'extraire l'eau du sol et de réduire les pertes d'eau par transpiration. Cependant, la diminution du taux de transpiration entraîne une baisse de la photosynthèse, ce qui se répercute négativement sur la productivité. Il est intéressant de noter que les génotypes dont la capacité intrinsèque de photosynthèse est moins affectée par le déficit hydrique présentent une meilleure efficacité dans l'utilisation des ressources. Le stress hydrique provoque la mise en place d'un état de régulation

hydrique de la plante qui se manifeste par la fermeture stomatique et un ajustement du potentiel osmotique (Brisson et Delecolle, 1992).

4.2.1. La régulation stomatique

Pour s'adapter au stress hydrique, les plantes réduisent leur perte d'eau en fermant leurs stomates. Bien que cette diminution de la transpiration puisse limiter la photosynthèse, les génotypes conservant une forte capacité photosynthétique intrinsèque sous stress hydrique utilisent l'eau plus efficacement (rapport photosynthèse/transpiration élevé) et survivent mieux. Chez les céréales, une densité stomatique accrue, couplée à une bonne activité physiologique, pourrait conférer une résistance au stress hydrique. En effet, une densité stomatique élevée peut augmenter l'absorption nette de CO₂ et diminuer la perte d'eau, potentiellement en engendrant des stomates petits et à fermeture rapide. Il a été observé que les variétés possédant une conductance et une densité stomatique importantes résistent mieux au stress hydrique et offrent un meilleur rendement en grains. La régulation de l'état hydrique des parties aériennes de la plante par la fermeture des stomates est notamment déclenchée par un signal chimique racinaire, la molécule signal est une phytohormone, l'acide abscissique (ABA), synthétisé par les racines soumises à un stress hydrique et qui est véhiculé jusqu'aux feuilles par la sève brute (Djekoun et Ykhlef, 1996). Cette régulation diffère d'ailleurs selon les espèces, leur capacité à maintenir un état hydrique presque constant étant variable. Si la fermeture des stomates permet à la plante de réduire la sortie d'eau, elle limite aussi l'entrée de CO₂ et donc la photosynthèse et la production de biomasse.

4.2.2. Ajustement osmotique

Le mécanisme d'ajustement osmotique joue un rôle crucial en permettant aux plantes de maintenir leur conductance stomatique et leur photosynthèse même lorsque le potentiel hydrique foliaire est bas. Cette adaptation se réalise par une modification du potentiel osmotique. De plus, ce mécanisme contribue à retarder le vieillissement des feuilles et à optimiser l'absorption d'eau par les racines. Face à une diminution du potentiel hydrique, la tolérance au stress hydrique se manifeste par le maintien de la turgescence cellulaire, un processus rendu possible par l'ajustement osmotique. Ce dernier repose sur la capacité de la plante à accumuler activement certains solutés au niveau du simplisme, assurant ainsi la protection des membranes et des systèmes enzymatiques, en particulier dans les jeunes organes. Parmi les osmorégulateurs dont l'accumulation permet la diminution du potentiel osmotique :

- Les ions inorganiques, tels que le potassium qui contribue à 40% environ de l'os molarité (Gaudillière et Barcelo, 1990); le nitrate pourrait également jouer, chez certaines espèces, un rôle important: sa teneur augmente considérablement, en cas de stress hydrique, dans les feuilles immatures du tournesol (Jones *et al.*, 1980).
- Les sucres solubles auraient un rôle majeur dans l'ajustement osmotique ; leur participation à l'abaissement du potentiel osmotique a été mise en évidence chez le sorgho (Jones *et al.*, 1980) et le blé (Johnson *et al.*, 1984).
- La teneur en acides aminés libres augmente significativement en situation de déficit hydrique chez le sorgho et le tournesol ; chez cette dernière espèce, cela explique 7% de la baisse du potentiel osmotique (Jones *et al.*, 1980). Parmi ces acides aminés, la proline semble jouer un rôle particulièrement important : on lui attribue un rôle d'osmoticum au niveau du cytosol et au niveau de la vacuole, mais aussi un rôle dans la protection des membranes et des systèmes enzymatiques et dans la régulation du pH (Venekamp & al., 1989).
- Les acides organiques : l'acide malique est quantitativement important chez la plupart des espèces cultivées (Clark, 1969) ; il contribuerait (pour une assez faible part toutefois) à l'abaissement du potentiel osmotique chez le sorgho (Newton & al., 1986) L'ajustement osmotique apparaît donc comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse : il permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance...); il peut intervenir à tous les stades du développement et son Synthèse caractère inductible suggère qu'il n'a pas (ou peu) d'incidence sur le rendement potentiel (Belhassen *et al.*, 1995)

4.3. Adaptation biochimique

4.3.1. Rôle de la proline

L'accumulation de la Proline constitue aussi un véritable mécanisme de tolérance au stress hydrique (Slama *et al.*, 2004). La présence d'une variabilité au sein des espèces céréalières concernant l'accumulation de proline en réponse au stress hydrique laisse entrevoir la possibilité de sélectionner, en se basant sur cette caractéristique, des génotypes qui présenteront une bonne aptitude à survivre et un rendement grainier stable dans des conditions de déficit hydrique

Pour cette raison, certains auteurs, Bellinger *et al.*, (1991) ont proposé l'accumulation de la proline comme technique de sélection. Tahri *et al.*, (1997) montrent que plusieurs

sélectionneurs et physiologistes ont utilisé la capacité de son accumulation dans le criblage de génotypes résistants au déficit hydrique [(Benlarabi et Monneveux, (1988) sur le blé dur ; Bellinger *et al.*, (1989) sur le maïs)], au froid [(Dorfling et Askman (1989) sur le blé tendre)] et à la salinité [(Hubac et Vieira Da Silva (1980) chez *Artemisia herba alba*)] L'origine de la proline accumulée sous stress n'est pas totalement éclaircie. Elle est soit synthétisée de nouveau à partir de l'acide glutamique (Glu) ou via l'ornithine (Orn), qui sont utilisés comme précurseurs (Samaras *et al.*, 1995). Les hydrates de carbone peuvent être des facteurs essentiels dans l'accumulation de la proline, car la synthèse des protéines est liée automatiquement au métabolisme des glucides et à la respiration (dans le cycle de Krebs) par l'intermédiaire l' α cétooglutarate qui forme le statut carbonique pour la synthèse de la proline (Venekamp *et al.*, (1988) in Chaib, 1998). L'addition de l'ornithine dans le milieu de culture augmente la source de la proline par l'intermédiaire de l'enzyme ornithineamino-transférase (Ledilly *et al.*, (1993) in Chaib, 1998). Savouré *et al.*, (1995) montrent chez *Arabidopsis* que l'augmentation de transcrits de la P5CR (Δ^1 -pyrroline-5- carboxylate synthétase) est corrélée à une augmentation de proline. L'auteur a également mis en évidence que cette augmentation était directement consécutive à l'imposition du stress. Effectivement, durant la phase de rétablissement suivant immédiatement l'application du stress, la concentration en proline diminue parallèlement à la quantité des transcrits correspondant à la P5CR (Δ^1 -pyrroline-5-carboxylate synthétase). L'activation de ce gène est donc directement associée à la régulation du niveau de proline dans les cellules en réponse au stress. D'après Ober et Sharp (1994) mentionnent que l'ABA est nécessaire pour l'accumulation de la proline sous faible potentiel

4.3.2.Rôles des sucres solubles

Afin de supporter un stress hydrique d'intensité faible à moyenne, le potentiel osmotique peut être conservé grâce à un ajustement osmotique. Les sucres peuvent alors intervenir comme des composés solubles compatibles, tout comme d'autres molécules telles que la proline, la glycine-bétaïne ou le pinitol. D'après Bensari *et al.*, (1990) lorsque la contrainte hydrique cesse, la feuille reconstitue les réserves d'amidon et si une nouvelle contrainte hydrique intervient, le temps d'adaptation est plus court. En effet, Hare et Cress, (1997) remarquent que les sucres glucose, fructose et le saccharose représentent des osmotocums beaucoup moins puissants que la proline, ils participent eux aussi au maintien de la balance de la force osmotique

En situation de stress hydrique, les réserves d'amidon sont progressivement épuisées en raison de leur rapide transformation en saccharose, ce qui pourrait être lié à un blocage de la synthèse de

l'amidon. Ainsi, les enzymes liés au métabolisme des sucres semblent avoir une importance majeure dans la tolérance au stress hydrique (Geigenberger *et al.*, 1997). L'implication des sucres dans la tolérance au stress hydrique a été mise en évidence par les corrélations observées entre le contenu en certains sucres et l'acquisition de la tolérance (Déjardin *et al.*, 1999). De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Une idée principale en ressort différents sucres solubles peuvent être présents dans des tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation (Déjardin *et al.*, 1999).

Chapitre II : matériel et méthodes

1. Matériel Végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf). Les semences de ces dernières ont été fournies par l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) d'EL-Khroub Constantine (Tableau 3).

Tableau 3 : Principales caractéristiques des deux variétés de blé dur étudiées :

	Waha	Boussalem
Caractéristique morphologique : ▪ Hauteur de la plante à la maturité	80-90 cm	120 cm
Caractéristiques culturales : ▪ Cycle végétatif ▪ Résistance : - Au froid - A la verse - A la sécheresse - Egrenage	Précoce Tolérante Résistante Sensible résistante	Mi-tardif Bonne Bonne Bonne résistante
Caractéristiques qualitative : ▪ Poids de mille grains (PMG) ▪ Qualité semoulière	Moyen assez bon	Elevé Blé correcteur
Pedigree	Plc/Ruff//Gta/Rtte	CroICD414BL CTR4AP (Heider/Marli/Heider)
Origine	Syrie CIMMT (introduite)	Algérie (locale)

2. Mise en place de l'essai : Application du stress hydrique

L'essai a été réalisé au niveau de laboratoire de Génétique Biochimie et Biotechnologie Végétale, (équipe IV : Physiologie Moléculaire et Biodiversité des Plantes) à Chaabat EL Rasses, Université Constantine1 frères Mentouri.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet d'un stress hydrique appliqué au stade juvénile du blé dur (*Triticum durum*). L'expérimentation a été conduite sous serre durant la campagne précédente. Les plants ont été cultivés en pots et irrigués régulièrement à raison de deux apports par semaine, jusqu'au stade de la quatrième feuille. À ce stade, deux régimes hydriques ont été instaurés, avec trois répétitions par traitement :

Traitement témoin : irrigation maintenant le sol à 100 % de la capacité au champ ;

Traitement soumis au stress hydrique : arrêt total de l'irrigation pendant 10 jours consécutifs.

3. Paramètres étudiés

3.1. Paramètres morphologiques

3.1.1. Surface foliaire (SF « cm² »)

La surface foliaire qui concerne la troisième feuille, est déterminée par la méthode de Paul *et al.*, (1979) qui consiste à prendre la feuille de blé dur sur papier calque et découper les contours de la feuille, ce dernier est pesé (Pf). Couper un carré de 1cm (S(1cm²)) de côté de ce même papier qui est également pesé(P(1cm²)). Déterminer la surface foliaire SF par la formule suivante :

$$SF (cm^2) = Pf. S (1cm^2) / P (1cm^2)$$

Les mesures ont été effectuées au cours de la campagne précédente.

3.2. Paramètres physiologiques

3.2.1. Teneur relative en eau (TRE « % »)

La teneur relative en eau de la feuille a été déterminée par la méthode décrite par Barrs, (1968). Selon cette méthode, les feuilles sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (PF). Ces feuilles sont mises par la suite dans des tubes à essai remplis d'eau distillée et placés à l'obscurité dans un endroit frais, après 24h les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées de nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (PT).

Les échantillons sont enfin mis à l'étuve régler à 80°C pendant 48h et pesés pour avoir leur poids sec (PS). La teneur relative en eau est calculée par la formule suivante (la formule de Clark et Mac-Caig, 1982) :

$$TRE (\%) = [(PF-PS) / (PT- PS)].100$$

Avec : Pi : poids initial de la feuille ;

P2h: poids de la feuille (trempée dans l'eau distillée 2h) ;

PS : poids sec de la feuille (48heure à 80°C°) ;

SF : la surface foliaire de la feuille.

Les mesures ont été effectuées au cours de la campagne précédente.

3.2.2. Mesure du taux de chlorophylle totale (TCT« unité de SPAD »)

Le taux de chlorophylle au niveau des feuilles a été mesuré à l'aide d'un chlorophylle mètre SPAD 502 de Minolta (Nouri, 2002). L'appareil a la forme d'une pince que l'on tient dans la main ; il est compact et léger et entre dans n'importe quelle poche. Il mémorise jusqu'à 30 mesures, qui peuvent être affichées une à une. Les valeurs classiquement retrouvées se situent entre 0 et 50 (unités SPAD). Le chlorophylle mètre est

utilisé pour évaluer la teneur en azote des feuilles puisque la majeure partie de l'azote est contenue dans la chlorophylle. Il suffit de fermer la pince vide sur elle-même pour étalonner l'instrument. Par la suite, trois prises de mesure sont effectuées au niveau de la feuille sur trois différents (sommet, milieu, et base). La moyenne des trois valeurs s'affiche sur l'écran à la fin (unité SPAD). Sachant que le temps de chaque mesure est de l'ordre de deux secondes.

Les mesures ont été effectuées au cours de la campagne précédente.

3.3. Paramètres biochimiques

3.3.1. Dosage de la proline (Prol « $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$ »)

La proline ou acide pyrrolidine 2-carboxylique est l'un des vingt principaux acides aminés qui entrent dans la constitution des protéines. La proline est facilement oxydée par la ninhydrine ou tricéthylindène. C'est sur cette réaction que se base le protocole de mise en évidence de la proline dans les échantillons foliaires (El Jaafari, 1993).

La méthode suivie est celle de Troll et Lindsley, (1955), simplifiée et mise au point par Rasio *et al.*, (1987). Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche dans des tubes à essai contenant 2ml de méthanol à 40%.

Le tout est chauffé à 85°C dans un bain-Marie pendant 60mn. (Les tubes sont recouverts de papier aluminium pendant le chauffage pour éviter la volatilisation de l'alcool.) Après refroidissement ; on prélève 1ml d'extrait auquel il faut, ajouter :

- 1 ml d'acide acétique (CH_3COOH) ;
- 25 mg de ninhydrine ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$) ;
- 1 ml de mélange contenant :
 - 120 ml d'eau distillée ;
 - 300 ml d'acide acétique ;
 - 80 ml d'acide ortho phosphorique (H_3PO_4 , $d=1.7$).

4. Traitement des données et analyse statistique

Toutes les mesures des paramètres étudiés (morphologiques, physiologiques et biochimiques) ont été répétées au moins trois fois. Les résultats, présentés sous forme d'histogrammes et des courbes, rejoignent le plus souvent des valeurs moyennes et leurs

écartypes, ces deux derniers ont été réalisés par le logiciel Excel 2010 pour Windows. L'analyse de variance à deux facteurs (facteur variété, facteur traitement et leur interaction) et les groupes homogènes ont été réalisés par l'utilisation d'un logiciel spécifique « Excel STAT 2014 » en utilisant le test de NEWMANKEULS.

CHAPITRE III : Résultats et discussion

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Variation de paramètre morphologique

1.1. Variation de la surface foliaire SF (cm²)

La figure n°4 montre une diminution significative de la taille des feuilles chez les deux variétés de blé dur en fonction du stress hydrique appliqué.

Dans toutes les conditions d'irrigation, la variété Waha présente la plus grande surface foliaire, tandis que la variété Bousselem affiche la plus petite. Les valeurs de surface foliaire (SF) mesurées chez les témoins varient de $13,33 \pm 2,60$ cm² pour Waha à $12,53 \pm 1,36$ cm² pour Bousselem (Fig. 4).

En conditions non irriguées, la réduction des apports en eau entraîne une diminution de la surface foliaire chez les deux variétés étudiées. Après 10 jours de déficit hydrique, Bousselem présente une réduction modérée, avec une surface foliaire moyenne de $10,32 \pm 0,65$ cm², tandis que Waha enregistre la diminution la plus marquée, atteignant une valeur de $6,92 \pm 1,51$ cm² (Fig. 4).

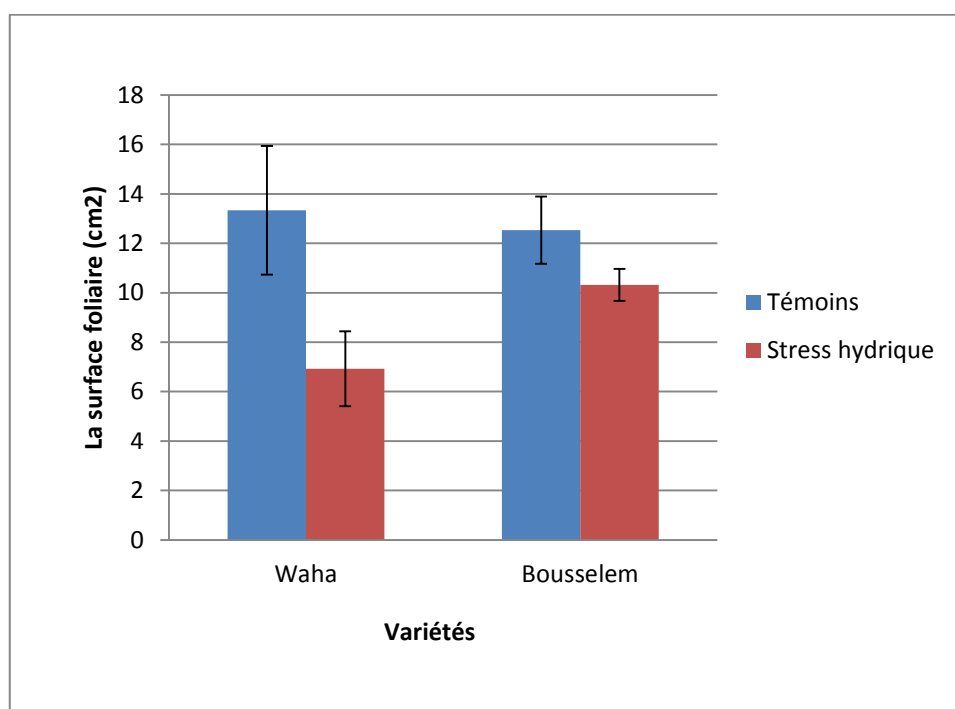


Figure 04: L'évaluation de la surface foliaire dans deux variétés de blé dur soumis à un stress hydrique.

La comparaison des moyennes de la surface foliaire (SF) ainsi que l'analyse de la variance révèlent une différence hautement significative pour le facteur traitement. En revanche, aucune différence significative n'a été observée pour le facteur variété, ni pour l'interaction variété × traitement (Tableau. 4).

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau 04: Analyse de la variance ANOVA de la surface foliaire SF (cm²):

Source	Ddl	Somme des carres	Carre moyen	F Fisher	de Pr>f
Variétés	1	5.023	5.023	1.772	0.220
Traitement	1	55.742	55.742	19.667	0.002
Variétés*traitement	1	13.191	13.191	4.654	0.063

* $p \leq 0,1$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,001$: respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; Ns : non significative.

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % appliqué au facteur traitement permet d'isoler deux groupes homogènes. Le traitement témoin, affichant la valeur moyenne la plus élevée (12,93 cm²), est classé dans le premier groupe (A). Le second groupe (B) correspond au traitement soumis au stress hydrique, avec une moyenne de 8,62 cm².

La surface foliaire constitue un déterminant essentiel de la transpiration. L'une des premières réactions des plantes face au déficit hydrique est la réduction de cette surface (Lebon *et al.*, 2004). Dans notre étude, la surface foliaire moyenne a réduit. Cette réduction a également été signalée par plusieurs auteurs, notamment Wang et Nil (2000). Ces résultats sont en accord avec ceux de Garcia-Legaz *et al.* (1993), qui ont indiqué que la diminution de la photosynthèse est principalement liée à la réduction de la surface foliaire ainsi qu'à la fermeture des stomates, conséquence de l'accumulation excessive de sodium dans les feuilles des génotypes soumis au stress. De même, Granier *et al.* (2000) ont rapporté que les feuilles des plantes soumises à un déficit hydrique atteignent généralement des tailles finales plus petites que celles des plantes témoins. Selon Wiegand *et al.* (1983), la réduction de la surface foliaire et de la couverture végétale due au stress hydrique peut avoir d'importantes répercussions économiques. Par ailleurs, une étude menée par Penuelas *et al.* (1992) sur la culture de la fraise en serre a montré que le déficit hydrique entraîne une diminution de l'indice foliaire, de la matière sèche produite, et affecte également l'orientation des feuilles.

2. Variation des paramètres physiologiques

2.1 Variation de la teneur relative en eau (%)

La comparaison de l'évolution de la teneur en eau entre les deux variétés de blé révèle une diminution progressive de la teneur relative en eau en réponse à l'intensification du stress hydrique.

Chapitre III : Résultats et discussion

D'après l'histogramme (Figure 5), on observe que la teneur relative en eau (TRE) diminue sous l'effet du stress hydrique, notamment après 10 jours d'arrêt d'irrigation. Les valeurs les plus élevées de TRE sont enregistrées chez les plantes témoins : un maximum de $91,99 \pm 1,34$ % chez la variété Waha et un minimum de $87,26 \pm 6,70$ % chez la variété Bousselem.

En condition de stress hydrique, la plus faible TRE est observée chez Bousselem, avec une moyenne de $56,88 \pm 3,64$ %, tandis que Waha présente la valeur la plus élevée, atteignant $70,31 \pm 9,39$ % (Figure 5).

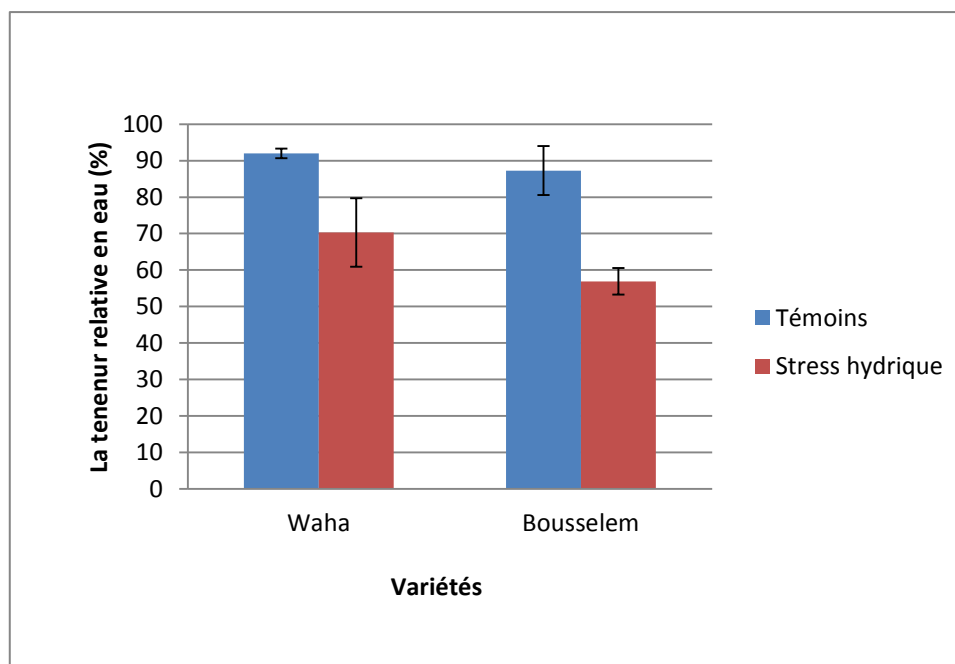


Figure 05 : Variation de la teneur relative en eau deux variétés de blé dur soumis à un stress hydrique.

L'analyse de la variance révèle une différence hautement significative entre les variétés, ainsi qu'une différence très hautement significative entre les traitements. En revanche, aucune différence significative n'a été observée pour l'interaction variété × traitement.

Tableau 05 : Analyse de la variance ANOVA de la teneur relative en eau (%) :

Source	ddl	Somme des carres	Carre moyen	F de Fisher	Pr>f
Variétés	1	247.432	247.432	6.678	0.032
Traitement	1	2033.098	2033.098	54.875	<0.0001
Variétés * traitement	1	56.728	56.728	1.531	0.251

Chapitre III : Résultats et discussion

* $p \leq 0,1$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,001$: respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; Ns : non significative.

Le test de Newman-Keuls classe le facteur variété en deux groupes distincts. Le premier groupe, A, regroupe la variété Waha avec une moyenne générale maximale de 81,15 %. Le deuxième groupe, B, comprend la variété Bousselem, avec une moyenne minimale de 72,07 %.

Le test de Newman-Keuls appliqué au facteur traitement distingue deux groupes. Le premier groupe, A, correspond au témoin avec une moyenne maximale de 89,63 %. Le deuxième groupe, B, regroupe les traitements de stress, avec une moyenne minimale de 63,60 %.

La teneur relative en eau (TRE) est un indicateur couramment utilisé pour évaluer l'état de la balance hydrique d'une plante. La baisse observée des teneurs en eau chez nos différentes variétés confirme que la teneur en eau des feuilles de blé dur diminue proportionnellement à la réduction de l'eau disponible dans le sol (Bajji *et al.*, 2001). Scofield *et al.* (1988) soulignent que cette diminution de la TRE est plus rapide chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes. En revanche, une TRE élevée en conditions de stress a été observée chez le soja (Raissac, 1984, cité par Zeghida *et al.*, 2004). Le manque d'eau constitue un facteur limitant majeur pour la croissance des plantes, particulièrement dans les régions arides et semi-arides. Il induit chez les plantes stressées une diminution du contenu relatif en eau (Albouchi *et al.*, 2000). L'analyse de la TRE permet ainsi de décrire de manière globale le statut hydrique de la plante en réponse au stress hydrique et d'évaluer son aptitude à maintenir une bonne osmorégulation, par le maintien d'une turgescence cellulaire adéquate (El Jaaferi, 2000).

2. 2. Variation du taux de la chlorophylle totale (SPAD)

Le taux de la chlorophylle totale diminue corrélativement au stress hydrique chez deux variétés blé dur (fig. 06).

Sous conditions de bonne alimentation hydrique, les valeurs du taux de chlorophylle totale (TCT) varient selon les variétés. La variété Waha présente les valeurs les plus élevées, avec un maximum de $40,3 \pm 6,48$ unités SPAD, tandis que la variété Bousselem affiche les valeurs les plus faibles, avec un minimum de $36,07 \pm 2,91$ unités SPAD (Fig. 6).

Sous conditions de stress hydrique, les deux variétés augmentent leur TCT par rapport aux témoins. Les valeurs maximales observées atteignent $44,8 \pm 1,31$ unités SPAD chez Bousselem et un minimum de $39,33 \pm 0,11$ unités SPAD chez Waha (Fig. 6).

Chapitre III : Résultats et discussion

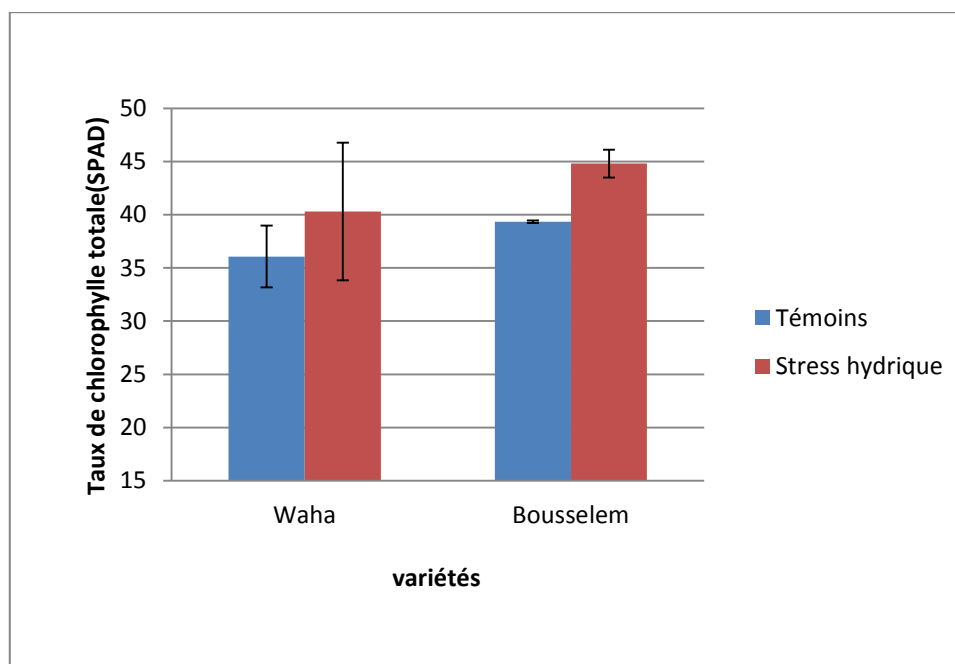


Figure 06 : Variation du taux de la chlorophylle totale deux variétés de blé dur soumis à un stress hydrique.

La comparaison des moyennes du taux de chlorophylle totale (TCT) et l'analyse de variance montrent une différence hautement significative pour le facteur traitement. En revanche, l'analyse révèle une absence de différence significative pour le facteur variété ainsi que pour l'interaction variété \times traitement.

Tableau 06: Analyse de la variance ANOVA du taux de la chlorophylle totale (unité de SPAD) :

Source	ddl	Somme des carres	Carre moyen	F de Fisher	Pr>f
variétés	1	45.241	45.241	3.469	0.100
Traitement	1	70.568	70.568	5.411	0.048
Variétés * traitement	1	1.141	1.141	0.087	0.775

* $p \leq 0,1$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,001$: respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; Ns : non significative.

Le test de Newman-Keuls classe le facteur traitement en deux groupes. Le premier groupe, A (stress), présente le taux de chlorophylle totale (TCT) le plus élevé, avec une moyenne

Chapitre III : Résultats et discussion

de 42,55 unités SPAD. En revanche, le deuxième groupe, B (témoin), affiche le TCT le plus faible, avec une moyenne de 37,70 unités SPAD.

Lorsque la plante subit un stress, le niveau de chlorophylle diminue, ce qui affecte la coloration de la plante et ralentit ses activités de croissance. La baisse observée des teneurs en chlorophylles a et b, ainsi qu'en chlorophylle totale chez les variétés stressées, résulte probablement de la synergie de plusieurs facteurs : la réduction de l'ouverture des stomates, qui limite les pertes en eau par évapotranspiration tout en augmentant la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Shao *et al.*, 2005 ; Qiao *et al.*, 2010). Selon Tambussi *et al.* (2007), une diminution des teneurs en chlorophylle perturbe le mécanisme photosynthétique des parties supérieures de la plante, notamment les feuilles et les épis, altérant sévèrement le remplissage des grains et impactant ainsi le rendement final. L'augmentation des teneurs en chlorophylle totale observée dans notre étude est probablement la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet du stress hydrique, entraînant une concentration plus élevée de pigments dans les tissus foliaires (Siakhène, 1984).

3. Variation des paramètres biochimiques

3.1 Variation de la teneur en proline (µg/100mg MF)

En conditions de bonne alimentation hydrique, les teneurs en proline restent faibles, avec un maximum de $1,61 \pm 0,49$ µg/100 mg de matière fraîche (MF) enregistré chez la variété Bousselem et un minimum de $1,34 \pm 0,08$ µg/100 mg MF chez la variété Waha.

Sous conditions de stress, on observe une augmentation significative de la teneur en proline. La variété Waha présente une teneur relativement faible, de l'ordre de $2,50 \pm 0,40$ µg/100 mg MF, tandis que la variété Bousselem enregistre une teneur plus élevée, atteignant $3,10 \pm 0,30$ µg/100 mg MF (Fig. 7)

Chapitre III : Résultats et discussion

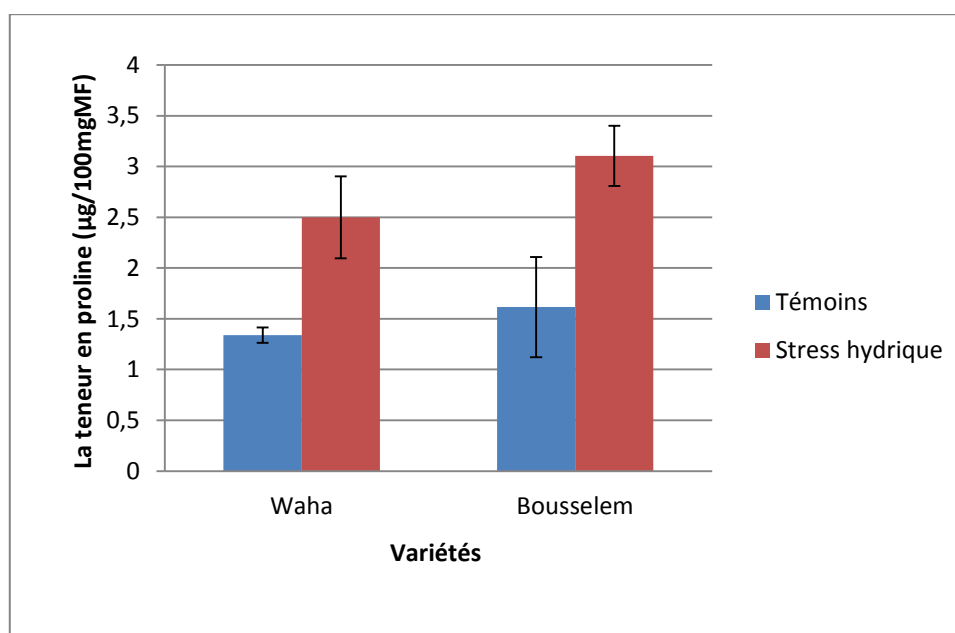


Figure 07 : L'évaluation de la teneur en proline deux variétés de blé dur soumis à un stress hydrique.

L'analyse de la variance des résultats obtenus révèle une différence très hautement significative pour le facteur traitement, tandis qu'aucune différence significative n'est observée pour le facteur variété ni pour l'interaction variété × traitement.

Tableau 7: Analyse de la variance ANOVA de la variation de la teneur en proline (µg/100mg MF)

source	ddl	Somme des carres	Carre moyen	F de Fisher	Pr>f
Variétés	1	0.457	0.457	3.667	0.092
Traitement	1	5.667	5.667	45.475	0.000
Variétés * traitement	1	0.137	0.137	1.101	0.325

* $p \leq 0,1$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,001$: respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; Ns : non significative.

Le test de Newman-Keuls classe le facteur traitement en deux groupes, A et B. Le groupe A, correspondant aux conditions de stress, présente la plus forte accumulation de proline, avec une moyenne de 2,801 µg/100 mg de matière fraîche (MF). En revanche, le groupe B, représentant les témoins, affiche une teneur en proline plus faible, avec une moyenne de 1,427 µg/100 mg MF.

Chapitre III : Résultats et discussion

De nombreux travaux ont mis en évidence une augmentation significative de la teneur en proline en réponse à un stress hydrique (Cechin et *al.*, 2006). En effet, des différences notables dans l'accumulation de proline ont été observées entre diverses variétés de blé soumises à des conditions de déficit hydrique. Cette variation serait principalement liée au potentiel génétique propre à chaque génotype, comme l'ont également rapporté Shao et *al.* (2006), Zerrad et *al.* (2008) et Geravandi et *al.* (2011). Par ailleurs, une corrélation négative entre la teneur en proline et l'humidité du sol a été observée chez différentes espèces de blé dur (Mouellef, 2010).

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Actuellement, les programmes d'amélioration du blé exigent d'étudier, d'identifier et de vérifier les caractères phénologiques, morpho-physiologiques et biochimiques liés au rendement en condition au stress abiotique.

L'étude comparative des deux variétés de blé dur, Waha et Bousselem, face au stress hydrique a permis de mettre en évidence plusieurs réponses physiologiques significatives. Sous déficit en eau, la taille des feuilles diminue nettement, avec une réduction plus marquée chez Waha, tandis que Bousselem conserve une surface foliaire relativement plus grande. La teneur relative en eau (TRE) suit la même tendance, diminuant fortement sous stress, mais restant plus élevée chez Waha, suggérant une meilleure capacité de maintien de l'hydratation foliaire.

Par ailleurs, le taux de chlorophylle totale (TCT) augmente sous stress hydrique, probablement en raison de la concentration de pigments dans des feuilles plus petites, cette augmentation étant plus prononcée chez Bousselem. Concernant la proline, un osmoprotecteur clé, son accumulation s'intensifie également sous stress, avec des valeurs plus élevées chez Bousselem, témoignant d'une réponse métabolique plus active face à la contrainte hydrique.

Les analyses statistiques confirment que le facteur traitement (stress hydrique) est le principal facteur influençant ces paramètres, tandis que les différences entre variétés et leurs interactions avec le traitement sont moins marquées.

Ces résultats mettent en évidence des mécanismes d'adaptation distincts chez les variétés Waha et Bousselem, suggérant des orientations pertinentes pour le choix variétal et les programmes d'amélioration génétique en conditions de stress hydrique.

Références bibliographique

Liste des références bibliographique

Liste des références bibliographique

- **Albouchi et al., 2000** .Albouchi A., Sebei H., Mezni M. Y. & EL Aouni M. H., 2000. Influence de la durée d'une alimentation hydrique déficiente sur la production de biomasse, la surface transpirante et la densité stomatique d'*Acacia cyanophylla*. Annales de l'INRGREF. 4 :138- 61p.
- **Anonyme. 2002.** Conseil international des céréales. International Grains Council. *World Grains Statistics*: 13-17 p.
- **Bajji et al., 2001.** Bajji M., Lutts S. & Kinet J-M. 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sci.* 160 669 -681p
- **Bajji M. 1999.** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variantssomaclonaux sélectionnés *In vitro*. Thèse de doctorat. Univ . Louvain.
- **Barrs H. 1968.** Determination of water deficit in plant tissues. In: *Water Deficit and Plant Growth*. Koslowski T. Academy Press. New York. 235-368 p.
- **BELAADI M 2014,** Etude de l'effet de la salinité sur la germination et la croissance de quelques variétés d'Haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), Mémoire de master P : 13-23
- **Belagrouz .A, 2013 :** Analyse du Comportement du Blé Tendre, Variété El WIFAK (*Triticumaestivum* L.) Conduite en Labour Conventionnel, Travail Minimum et Semis Direct sur Les Hautes Plaines Sétifiennes, Université Ferhat Abbas Sétif, 107p.
- **Belhassen et al., 1995.** (Belhssen , E., This, D., Monneveux, P. 1995. L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. Cahiers Agricultures. 4 / 251 - 61.)
- **Bellinger Y., Bensaoud A. & Larher F. 1991.** Physiological significance of proline accumulation, a trait of use to breeding for tress tolerance. Colloque Physiology-Breeding of winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments, Montpellier (France). *Les colloques* .55. (éd). Inra. Paris.
- **Ben Naceur M. & Zid E.D. 2005** La proline est-elle un osmorégulateur chez le blé dur ? Communication aux 15es Journées biologiques. Forum des sciences biologiques. Association tunisienne des sciences biologiques. Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (Inrat). Univ. Elmanar. Tunisie.

Liste des références bibliographique

- **Bensari M., Calme S.J. & Viala G. 1990.** Répartition du carbone fixé par photosynthèse entre l'amidon et le saccharose dans la feuille de soja : influence d'un déficit hydrique : *Plant phisiol. Biochimie*. **28** : 113-124 p.
- **Bonjean.A; (2001).** Histoire de la culture d n sont céréales et en particulier celle de blé Tendre (*Triticumaestivum*L.). Dossier de l'environnement de l'INRA, p 21- 29-37.
- **Bousba. R (2012)** : « Caractérisation de la tolérance a la sécheresse chez le blé dur (*Triticumdurum*Desf) » . *Thèse de Doctorat de l'Université Mentouri Constantine* .117p
- **Bozzini., 1988.**Bozzini A. 1988. Origin, distribution and production of durum wheat in the world. In Fabriani G. & Lintas C. (éd). *Durum: Chemistry and Technology*. AACC (Minnesota). Etats-Unis : 1-16 p.
- **Cechin et al., 2006.**Cechin I., Rossi S.C., Oliveira V.C. &Fumis T.F. 2006. Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. *PHOTOSYNTHETICA* .44 (1): 143-146p.
- **Chellali B. 2007.** Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire. <http://www.lemaghreb.dz.com/admin/folder01/une.pdf>. (31.05.2008).
- **Debaeke et al.,1996.**Debaeke P., Cabelguenne M., Casals ML. & Puech J., 1996. Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d'un modèle de simulation de la culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées. *Epicphase-blé. Agronomie*.16: 25 - 46 p.
- **Déjardin et al.,1999.**Déjardin A., Sokolov L.N. &Kleczkowski L.A. 1999 .Sugar/osmoticum levels modulate differential abscisic acid independent expression of two stress-responsive sucrose synthesis genes in Arabidopsis. *BiochemJ* . 344: 503 -509 p.
- **Djekoun A. &Ykhlef N. 1996.** Déficit hydrique, effets stomatiques et non-stomatiques et activité photosynthétique chez quelques génotypes de blé Tétraploïdes.3ème Réunion du réseau SEWANA, de blé dur IAV HASSAN II (Maroc).
- **Djermoun .A., 2009** : La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques, Université de HassibaBenbouali de Chlef, *Revue Nature et Technologie*. n° 01/Juin 2009. Pages 45 à 53
- **Drevon .J.J, Saadallah .K, Hajji .M, Abdelly .C; (2001).** “Genotypicvariability for tolerance to salinity of N2-fixing commonbean (*Phaseolusvulgaris* L.) “, *Agronomy*, 21, p675-682.

Liste des références bibliographique

- **El Jaafari S. 1993.** Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Thèse de doctorat. Univ. Gembloux. Belgique: 214p.
- **Feillet P. 2000.** Le grain de blé : composition et utilisation. INRA. Paris.
- **Feillet, 2000.** Le grain de blé composition et utilisation. Ed. INRA. Paris, 308 p. (https://books.google.dz/books?id=b8eUc0Q_wP4C&pg=PA1&source=kp_read_butto n&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false) LE 20/062021
- **Feillet.P;(2000).** Le grain de blé : Composition et utilisation. Editions Quae. INRA, Paris, p308.
- **Garcia-Legaz, M. F., Ortiz, J. M., Garcia-Lidon, A., Cerda, A. (1993)** Effect of salinity on growth, ion content and CO₂ assimilation rate in lemon varieties on different rootstocks. *Physiologia Plantarum*, 89: 427- 432.
- **Gate et al.,1993.** Gate P., Bouthier A., Casabianca H. & Deleens E. 1993. Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France : interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique du carbone des grains. Colloque Diversité génétique et amélioration variétale Montpellier (France). Les colloques. 64. Inra . Paris.
- **Geigenberger et al.,1997.** Geigenberger P., Reimholz R., Geiger M., Merlo L., Canale V. & Stitt M . 1997. Resolution of sucrose and starch metabolism in potato tubers in response to short-term water deficit. *Planta*. 201: 502 -518 p.
- **Geravandi M., Farshadfar E., Kahrizi D. 2011.** "Evaluation of some physiological traits as indicators of drought tolerance in bread wheat genotypes", *Russian Journal of Plant Physiology* 58, pp. 69-75.
- **Gonzalez A., Martin I. & Ayerbe L. 1999.** Barley yield in water stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crop Res* .62: 23 -34 p.
- **Granier C., Inzé D. & F. Tardieu. 2000.** Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34cdc2 kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status. *Plant Physiol*. **124**:1393-1402 p.
- **Hare P.D. & Cress W.A. 1997.** Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant cell and environment*. **21**: 535 - 553 p.
- **Hopkins W G., 2003:** Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruscelles : 61-476.
- **Hurd, 1974** .Phenotype and drought tolerance in wheat. *Agric. Meteorol.*, 14: 39-55.

Liste des références bibliographique

- **INRA 2002** : Gestion et usages agricoles de l'eau. *Institut National de Recherche*
- **Denieulle, J. (2023)**. Géopolitique du blé: une céréale dans la mondialisation. Géoconfluences. **Jones et al.,1980**. Jones, M.M., Osmon, B., and Turner, N.C. 1980. Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sunflower in response to water deficits. *Aust J Plant Physiol*, 7: 193-205.
- **Jones et al., 1980**. Jones, M.M., Osmon, B., and Turner, N.C. 1980. Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sunflower in response to water deficits. *Aust J Plant Physiol*, 7: 193-205.
- **Lebon E., Pellegrino A., Tardieu F. & Lecoœur J. 2004**. Shoot development in grapevine is affected by the modular branching pattern of the stem and intra and inter-shoot trophic competition. *Annals of Botany*. **93** :263 -274 p.
- **Makhlouf et al., 2006** .Mekhlouf , A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., HadjSahraoui, A., Harkati, N. 2006. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse*. Vol 17, Num 4, 507-1 3.
- **Masle Meynard J., (1982)**. mise en évidence d'un stade critique par la montée d'une talle. *Agronomie*,1: 623-632
- **Masle, Meynard, J., (1981)** . Relation entre croisement et développement pendant la montaison d'un peuplement de blé d'hiver, influence des conditions de nutrition. *Agronomie*.1 : 365-374.
- **MENACER F., 2007**. Contribution à l'étude de l'effet de la salinité sur un marqueur biochimique, cas de la proline chez *Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* (purch) Nntt, Pp99.
- **Morgan et Gordan, 1986**. Morgan, J.M., Gordan, A.G. 1986. Water use, grain yield and osmoregulation in wheat. *Aust J Plant Physiol*; 13: 523-
- **Morgan, 1984**. Morgan, J.M., 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Plant Physiol.*; 35,299-319
- **Mouellef .A; (2010)**. caractères physiologiques et biochimiques de tolérances du blé dur (*triticum durum* Desf) au stress hydrique. Mémoire, université mentouri, constantine Faculté de biologie, Département de Biologie Végétale et Ecologie, p10-11.
- **Nouri L. 2002**. Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf), en condition de déficit hydrique. Thèse de Magistère en Biologie végétale UnivMentouri. Constantine. 77p.
- **Nouri L., Ykhlef N. & Djekoun A. 2002**. Ajustement osmotique et comportement hydrique chez certaines variétés de blé dur : relation avec la tolérance à la sécheresse.

Liste des références bibliographique

Actes de séminaire' IIIème journées Scientifiques sur le blé'.(éd). Univ. *Mentouri*. Constantine.

- **Ober S. & Sharp P. 1994.** Polyphasic chlorophyll fluorescence transients in plants and cyanobacteria. *Photosynthesis research*. **29**: 147 -150 p.
- **Parent C, Capelli N. and Dat J, 2008.** Formes réactives de l'oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes. *C. R. Biologies*, Pp255-261.
- **Passioura J. B. 1983.** Roots and drought resistance. *Agric. Water Manag.* 7 265–280
10.1016/0378-3774(83)90089-6
- **Penuelas, J., Save, R., Marfa, O., and Serrano, L. 1992.** Remotely measured canopy temperature of greenhouse strawberries as indicator of water status and yield under mild and very mild water stress conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 58, No. 1-2, pp. 63-77.
- **Qiao Y., Zhang H., Dong B., Shi C., Li Y., Zhai H. 2010.** “Effects of elevated CO2 concentration on growth and water use efficiency of winter wheat under two soil waterregimes”, *Agricultural Water Management* 97, pp. 1742-1748.
- **Rahnama H etEbrahimzadeh H, 2005.**The effect of NaCl on antioxidant enzyme activities in potato seedling. *Biol Plant*. Pp93-97
- **Reddy AR, Chaitanya KV. Et Vivekanandan M, 2004.** Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J Plant Physiol* 161:1189-1202.
- **Robelin M. 1984.** Fonctionnement hydrique et adaptation a la sécheresse. *Physiologie du maïs* : 445 – 476 p.
- **Samaras Y., Bresson R.A., Csonka L.N., Garcia-Rios M.G., Paino D’Urzo M. & Rhodes D. 1995.** Proline accumulation during drought and salinity.In :**Sminoff N.** *Environmentand plant metabolism, flexibility and acclimation. Oxford BIOS*.161: 79- 88 p.
- **Savouré A., Jaoua S., Hua XueJun., Ardiles W., Van Montagu M. &Verbruggen N. 1995.**Isolation, characterization, and chromosomal location of a gene encoding the DELTA 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase in *Arabidopsis thaliana*. *FEBS Letters* .**372**: 13 -19 p.
- **Scofield T., Evans J., Coook M.G. &Wardlow I.F. 1988.** Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat.*Aust.J. Plant physiol.* **4**: 785 – 797 p.

Liste des références bibliographique

- **Shao H.B., LiangZ., Shao M.A., Sun M., Hu Z.M.,2005.**”Investigation of dynamic changes of photosynthetic characteristics of 10 wheat (*Triticumaestivum*L.) genotypes during two vegetative-growth stages at water deficits”, *Biointerfaces*43, pp. 221-227.
- **Siakhène N. 1984.** Effet du stress hydrique Sur quelques espèces de luzerne Annuelle. MémoireingAgr. INA. El Harrach : 90 p.
- **Slama A., Ben Salem M. &Zid D. 2004 Slama A., Ben Salem M.,**
- **Soltner D. 1998.** Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées prairies.Sainte-Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles.
- **Tambussi E.A., Bort .,Gulamet J.J., Nogues S.,Araus J.L. 2007.** “The photosynthetic role of ears in C3 Cereals : metabolism, water use efficiency and contribution to grain yield”, *CriticalRevue of Plant Sciences* 26, pp. 1-16.
- **Teare I.D. &Kanemasu E.T. 1972.** Stomatal diffusion resistance and potentialy as affected by preconditioning water stress in the field. *Agronomie Journal* .68 : 707-708 p
- **Triboï E.1990.**Modèle d’élaboration du poids du grain chez le blé tendre.Agronomie. 10 : 191- 200p.
- **Turner MG, Gardner RH, O’Neill RV. 2001.** Landscape Ecology in Theory and Practice. New York: Springer-Verlag. 401 pp
- **Venekamp JH, Lampe JEM, Koot JTM (1989)** Organic acids as sources of drought-induced proline synthesis in fidd bean plants, *Viciafaba* L. *J Plant Physiol* 133: 654-659
- **Wall A.M., Ripley R. & Gale M.D. 1971.**The position of a locus on chromosome 5B of *Triticumaestivum*affecting homoeologous meiotic pairing. *Genet Res.* 18: 329 - 339 p.
- **Wang, Y. et Nil, N., 2000.** Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase–oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpirationin *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 75: 623–627.
- **Wiegand, C. L., Nixon, P. R., and Jackson, R. D. 1983.** Drought detection and quantification by reflectance and thermal responses. *Agricultural Water Management*, Vol. 7, No. 1-3, pp. 303-321.
- **Yves Henry et Jacques de Buyser, 2000** :L’origine des blés, Hors-série n°26, p 60-62; Les quatre flores de France, P. Fournier, Le Chevalier, Paris, 1961)
- **Zeghida A., Amrani R., Djennadi F., Ameroun R., Khldoun A.A. &Belloucif M. 2004.** Etude de la variabilité de réponse des plantules de blé dur (*Triticumdurum*Desf) à la salinité.*Céréaliculture*. ITGC. 42. Constantine : 5p.

Année universitaire : 2024-2025

Présenté par : BOUGUETTAYA Manar

Contribution à l'étude de la tolérance au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.).

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Biotechnologie et Génomique Végétale

Résumé

Ce travail a pour objectif d'évaluer la réponse de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.), Bousselem et Waha, soumises à un stress hydrique induit par un arrêt d'irrigation de dix jours, appliqué au stade de trois feuilles, au début de l'apparition de la quatrième. L'étude porte sur plusieurs paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques : la surface foliaire, la teneur relative en eau (TRE), le taux de chlorophylle totale (TCT) et la teneur en proline. Les résultats révèlent que le stress hydrique entraîne une diminution notable de la surface foliaire, de la TRE et du TCT, accompagnée d'une augmentation significative de la teneur en proline. Bien que les deux variétés réagissent globalement de manière similaire à la contrainte hydrique, des différences dans l'intensité des réponses indiquent des capacités d'adaptation variables selon la variété.

Mots-clefs : Blé dur, stress hydrique, paramètres morfo-physiologiques, biochimiques.

Laboratoires de recherche : Laboratoire de Biochimie Génétique et Biotechnologie Végétale
Université Constantine I Frères Mentouri.

Président du jury : Pr. BOUSBA Ratiba (PROF- U Constantinel Frères Mentouri).

Encadrant : Dr. MOUELLEF Adra (MC(B) U Constantinel Frères Mentouri).

Examineur(s) : Dr. KHENAOUI Amina (MC(B) U Constantinel Frères Mentouri).