



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بو عريريج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de  
l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomique

# Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine Des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomique

Spécialité : Amélioration des plantes

## Thème

**Caractérisation du proline du stress  
hydrique chez le blé dur (*Triticum durum*  
Desf.)**

Présenté par : Maazouz Ahlem  
Abbas Chaima

Devant le jury :

Président : MESSAOUDI H.....MAB..... (Univ : BBA).

Encadrant : KELALECHE H..... MAA..... (Univ : BBA).

Examineur : MAAFI O ..... MCA ..... (Univ : BBA).

Année universitaire : 2020/2021

## ***Remerciement***

*Avant tout, nous remercions ALLAH tout puissant, De  
nous  
avoir accordé la force, le courage, la volonté et la patience  
pour terminer ce travail*

*Mes plus sincères remerciements et reconnaissances vont  
Spécialement à mon promoteur*

***Kelaleche Hizia***

*Nous remercions les membres du jury d'avoir pris*

*Le temps d'évaluer notre travail.....*

*Remerciements généraux à tous les professeurs de*

*La faculté des sciences de la nature et de la vie et*

*Des sciences de la terre et de l'univers.....*

*Remerciements particuliers au Département des sciences  
agronomiques et de la Spécialisation d'Amélioration des  
plants.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à mes parents « Aïda et Amar » pour leur aide, leur compréhension, leurs encouragements et surtout leur confiance. Je vous remercie beaucoup.*

*Un salut spécial à mon frère qui était le partisan*

*Saïf eddine*

*A tous mes frères « Amira, Antar, Ishak et djihad »*

*A l'âme de mon cher grand-père Muhammad, que Dieu lui fasse miséricorde*

*A ma grand-mère et mes tantes « Khadija, Fatiha et Saliha »*

*A mes amis « chaima, Malika Abbou, Khawla, Khalis Boujeer, Ahlam et Sabera..... »*

**Ahlem**

## *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail à :

Celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui  
s'est  
sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, MA Mère.

A MON Père, école de mon enfance, qui a été mon ombre  
durant toutes les années des études, et qui a veillé tout a  
long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et me  
protéger, que dieu les gardes et les protège.

Mon grand frère **ABDELWAHAD** pitié dieu sur lui.

A mon frères, et mes sœurs "**RAFIK, NAFISA, FATIMA**  
"que dieu me les gardent et les protègent.

A mes amies, a tous ceux qui sont chères. A tous ceux qui  
m'aiment, a tous ceux que j'aime.

**Chaima**

# Sommaire

## Liste des figures

## Liste des abréviations

Introduction .....	01
--------------------	----

## Chapitre I : Blé dur et stress hydrique

I.1. Blé dur .....	03
I.1.1. Généralités sur le blé dur.....	03
I.1.2. Classification du blé dur .....	03
I.1.3. Cycle de développement du blé dur .....	05
I.1.3.1. Période végétative.....	05
I.1.3.2. Période reproductive.....	06
I.1.4. Exigences du blé dur .....	08
I.1.5. Valeur économique du blé dur .....	09
I.1.5.1. À l'échelle internationale .....	09
I.1.5.2. À l'échelle nationale .....	10
I.2. Le stress hydrique .....	10
I.2.1. Notions de stress .....	10
I.2.2. Définition des stress hydrique .....	10
I.2.3. Effet du stress hydrique sur les plantes.....	11
I.2.3.1. Effet du stress hydrique sur la photosynthèse .....	11
I.2.3.2. Effet du stress hydrique sur la croissance et le développement du blé....	12
I.2.3.3. Effet du stress hydrique sur le rendement du blé dur et ses composantes...	12
I.2.4. Mécanismes d'adaptation des plantes au stress hydrique .....	12
I.2.4.1. Adaptation phénologique .....	12

I.2.4.2. Adaptation morphologiques .....	12
I.2.4.3. Adaptation physiologique .....	13
<b>Chapitre II : Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur</b>	
II.1. Définition de proline .....	15
II.2. La synthèse de la proline .....	16
II.3. Régulation du métabolisme de la proline .....	18
II.4. Rôles de la proline chez les plantes stressées.....	18
II.4.1. Ajustement osmotique.....	18
II.4.2. Osmoprotecteur et Antioxydant.....	18
II.4.3. Énergie.....	19
II.4.4. Divers processus physiologies.....	20
II.5. Les méthodes de Dosage de proline .....	21
II.5.1. Méthode de Troll et Lindsley(1955).....	21
II.5.1.1. Extraction .....	21
II.5.1.2. Préparation des réactifs .....	21
II.5.1.3. Dosage .....	22
II.5.2. Méthode de Bergman et Loxley (1970).....	24
II.5.2.1. Extraction .....	24
II.5.2.2. Dosage .....	24
II.6. Objectif de Dosage de proline .....	25
II.7. Accumulation de la proline en stress hydrique chez le blé dur ( <i>Triticum durum</i> ). .....	25
<b>Conclusion .....</b>	<b>30</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>31</b>
<b>Résumé.....</b>	

## *Liste des figures*

<b>Figure 01 :</b> Morphologie des graminées (exemple du blé).....	05
<b>Figure 02 :</b> Cycle de développement du blé dur.....	07
<b>Figure 03 :</b> Synthèse de la proline .....	17
<b>Figure 04 :</b> Les tubes de la proline.....	22
<b>Figure 05 :</b> Séparation de la phase organique.....	23
<b>Figure 06 :</b> Lecture sur le spectrophotomètre.....	23
<b>Figure 07 :</b> Courbe étalon du dosage de la proline.....	24

## *Liste des Abréviations*

<b>CIC :</b>	Le Conseil International des Céréales
<b>CO<sub>2</sub> :</b>	Dioxyde de carbone atmosphérique
<b>ERO :</b>	Espèces Réactives de l'Oxygène
<b>FOA :</b>	Food and Agriculture Organisation
<b>MT :</b>	Millions de tonnes
<b>Mha :</b>	Millions d'hectare
<b>µg :</b>	Microgramme
<b>nm :</b>	Nanomètre
<b>PH :</b>	Potentiel hydrogène
<b>ProDH :</b>	Proline désHydrogénase
<b>P<sub>5</sub>CS :</b>	1-pyrroline-5-carboxylate synthétase
<b>RH :</b>	Réponse Hypersensible
<b>ABA :</b>	l'acide abscissique
<b>USDA :</b>	Département de l'Agriculture des États-Unis
<b>APGIII :</b>	Angiosperm Phylogeny Group III



# *Introduction*

## Introduction

Les céréales occupent, à l'échelle mondiale, une place primordiale dans les programmes de recherche agricole. Le blé occupe la première place pour la production mondiale et la deuxième, après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines (**Slama et al., 2005**).

Le blé dur (*Triticum turgidum* var. *durum*) est l'espèce la plus cultivée dans le bassin méditerranéen de l'Afrique du Nord (**Bonjean et al., 2016**), il occupe dans le monde 5 % du total des terres réservées aux blés, avec une production de 38 million métrique de tons en 2014 (**Ranieri, 2015**).

En Algérie, le blé dur occupe 45% de la superficie réservée aux céréales, soit 1,6 Mha (**ONFA, 2017**), Une moyenne de 2 MT de blé dur est importée chaque année (**USDA, 2017**), La productivité agricole est limitée principalement par la sécheresse dans les régions arides et semi-arides (**Mir et al., 2012**), comme la zone méditerranéenne, est caractérisée par des précipitations irrégulières (**Habash et al., 2009**).

La résistance globale d'un plant au stress hydrique apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de production (**Mouellef, 2010**).

Pour élaborer des programmes de sélection d'espèces et de variétés de blé tolérantes au stress hydrique, il est nécessaire de mieux connaître la physiologie de la tolérance de cette espèce dans ces conditions (**Jing et Chang, 2003**).

La plante s'adapte au déficit hydrique par un ajustement osmotique « actif » des cellules. Ce mécanisme, qui participe au maintien des structures cellulaires et évite une déperdition d'eau, se manifeste par une accumulation d'osmolytes (des acides aminés [comme la proline], des polyamines, des acides organiques, des sucres [comme le saccharose], des amines quaternaires et des sels minéraux) dans les cellules (**Delauney et Verma, 1993**).

L'amélioration génétique du blé dur des zones sèches reste basée sur la recherche d'une meilleure tolérance aux stress abiotiques, pour adapter la plante à la variabilité du milieu de production (**Amkrane, 2001**).

## Introduction

---

Notre travail c'est une recherche scientifique sur la caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur.

Cette recherche bibliographique comporte deux grands chapitres :

- ✓ Le premier chapitre, le blé dur et stress hydrique et les différents mécanismes d'adaptation (phénologique, physiologique, morphologiques) des plantes (blé dur) au stress hydrique.
- ✓ Le deuxième chapitre sur la proline (définition, synthèse, dosage, accumulations...).

Ce travail se termine par une conclusion.

# *Chapitre I*

## *Blé dur et stress hydrique*

## I.1. Blé dur

### I .1.1. Généralités sur le blé dur

Les céréales et leurs dérivés constituent les principales ressources alimentaires de L'humanité, en raison de leur source d'énergie et leur grande richesse en protéines. Principalement destinées à l'alimentation humaine (à hauteur de 75% de la production), les céréales assurent 15% des besoins énergétiques, elles servent également à l'alimentation animale (15% de la production) et à des usages non alimentaires (**Feillet, 2000**).

Les deux espèces les plus cultivées et les plus répandues dans le monde sont le blé dur, *Triticum turgidum var durum L*, et le blé tendre, *Triticum aestivum L*. Le blé dur se distingue de blé tendre par des caractères morphologiques, physiologiques, cytologiques et technologiques (**Hamadache, 2013**).

### I.1.2. Classification du blé dur

Le blé est une Angiosperme, Monocotylédone. Il appartient à l'ordre des Poales, famille des Poacées appelée aussi graminées. Cette famille rassemble 600 genres et plus de 5000 espèces (**Zegrary, 2014**). D'après (**APG III, 2009**), La classification botanique du blé dur est la suivante :

- **Règne** : Plantea
- **Sous-règne** : Tracheobionta
- **Embranchement** : Phanérogamiae
- **Sous- Embranchement** : Magnoliophyta (Angiospermes)
- **Division** : Magnoliophyta
- **Classe** : Liliopsida (Monocotylédones)
- **Sous-classe** : Commelinidae
- **Ordre** : Poales (Glumiflorale)
- **Famille** : Cyperales
- **Sous- famille** : Poaceae (Graminées)
- **Tribue** : Pooideae (Festucoideae)
- **Sous-Tribue** : Triticeae
- **Genre** : *Triticinae /Triticum*
- **Espèce** : *Triticum durum* Desf

## I.1.3. Caractéristiques morphologiques du blé dur

### I.1.3.1. Appareil végétatif

Le système aérien de la plante se développe en produisant un certain nombre de talles, qui se développent en tiges cylindriques formées par des nœuds séparés par des entre-nœuds. Chaque tige porte à son extrémité une inflorescence (**Morsli, 2010**) (**Figure 01**).

D'après (**Belaid, 1996**), le système racinaire est de type fasciculé. En cours de développement, deux systèmes se forment : *Le système racinaire séminal* (primaire) : fonctionne de la germination au tallage et *le système racinaire coronaire* (secondaire) : apparait au stade tallage

### I.1.3.2. Appareil reproducteur

Les fleurs, sont généralement hermaphrodites, portées sur la rachéole et sont constituées des organes sexuels, de deux bractées, la glumelle inférieure ou lemme et la glumelle supérieure aussi appelée paléole et de deux lodicules ou glumelles situés à la base des organes sexuels. Ces derniers sont constitués des étamines et des ovaires surmontés des styles et des stigmates. (**Crémer, 2014**).

Dans certaines espèces, des éléments, comme la glume supérieure, sont absents. Parfois, certaines fleurs sont stériles ou uniquement mâles. Chez d'autres espèces. Si la reconnaissance de plante nécessite l'observation de la structure de l'épillet, il est fortement conseillé de se munir d'une loupe pour le manipuler. (**Crémer, 2014**).

### I.1.3.3. Le grain

Le fruit de toutes les graminées est appelé caryopse, c'est un fruit sec indéhiscent dont les téguments de la graine sont soudés au péricarpe (**Gouasmi et Badaoui, 2017**). Histologiquement, le grain de blé dur est formé de trois types des tissus : le germe (3% du poids du grain), les enveloppes (17%) et l'albumen (80%) (**Fredot, 2005**).

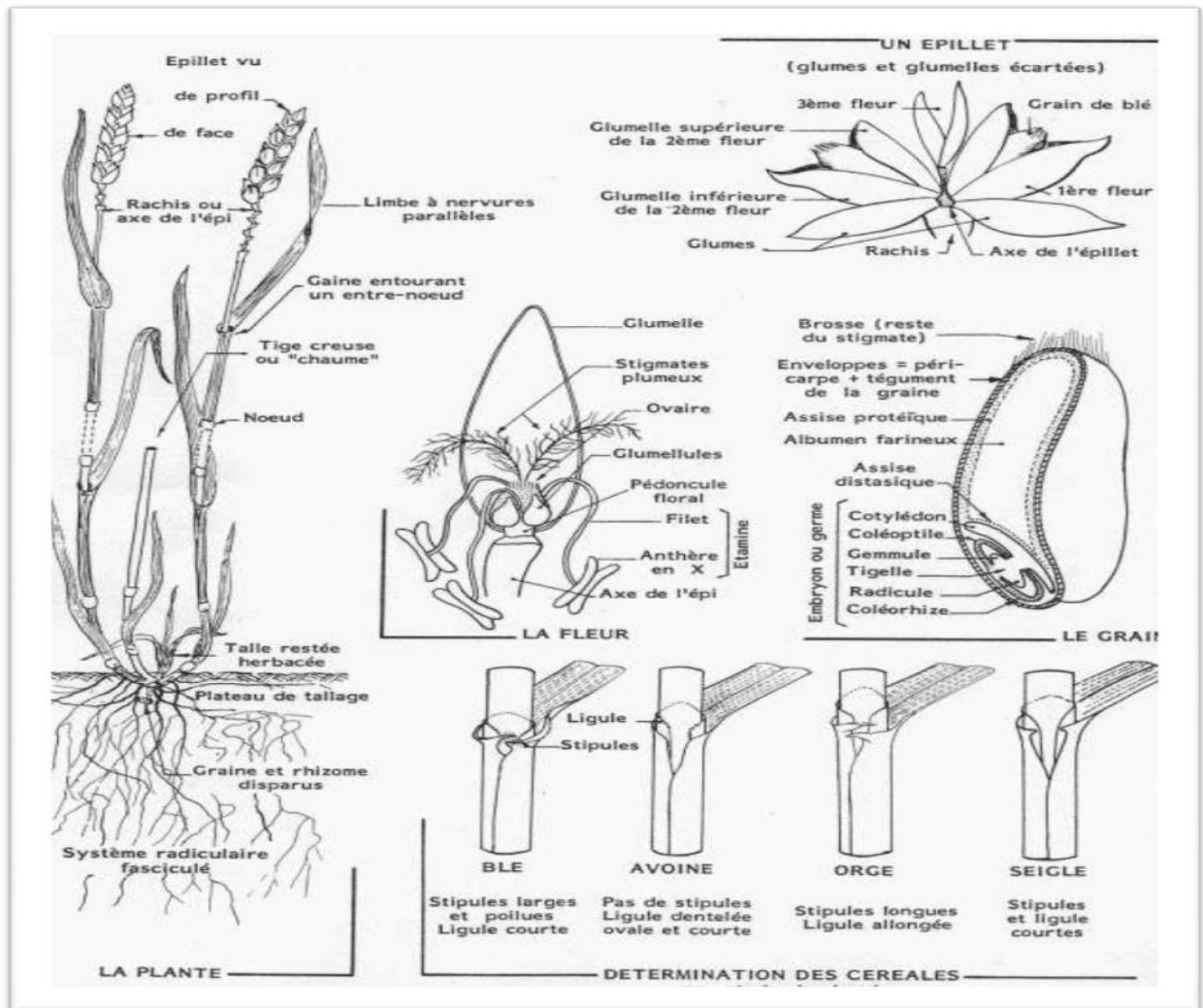


Figure 01 : Morphologie des graminées (exemple du blé) (Soltner, 1998)

### I.1.4. Cycle de développement du blé dur

#### I.1.4.1. Période végétative

Durant laquelle la plante installe ses capteurs foliaires et racinaires pour intercepter le rayonnement et absorber l'eau et les éléments minéraux (Labidi, 2016). La germination débute une fois la graine est semée. Les semences commencent à s'imbiber lentement d'eau, imprégnée et entre en vie active. La radicule s'allonge pour donner naissance aux racines primaires ou racines séminales. Au même moment, la coléoptile s'allonge et perce le sol pour laisser sortir les jeunes feuilles en croissance contribuant à la photosynthèse (Crémer, 2014).

Le tube formé par les trois feuilles s'allonge sous le sol et de nouvelles racines, dites secondaires ou adventives, font leur apparition. Quelque temps après, les réserves de la semence épuisées, les racines primaires meurent et la plantule est complètement sevrée et elle

va commencer à taller. A ce moment, la quatrième feuille va bientôt apparaître et la talle principale ou maître brin est ainsi formée (Crémer, 2014) (Figure 02).

- **Levée**

Caractérisée par le nombre de feuilles de la jeune plante et leur stade de développement (Giban et al, 2003).

- **Tallage**

Cette phase s'amorce à partir de la quatrième feuille. La formation de la première talle se fait au stade 3 feuilles. La première talle primaire (maître-brin) apparaît à l'aisselle de la première feuille du blé. La 2ème et la 3ème talle apparaissent à l'aisselle de la 2ème et la 3<sup>ème</sup> feuille (Salmi, 2015).

Le fin tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entrenœuds (Salmi, 2015).

### I.1.4.2. Période reproductive

Durant laquelle la plante met en place ses organes reproducteurs. À l'issue de cette dernière, le nombre potentiel de grains est fixé (Labidi, 2016).

- **Montaison**

*Stade épi 1 cm* : c'est la fin du tallage herbacé, marqué par l'élongation des entre nœuds de la tige principale. Au niveau des futurs épillets, on peut observer la formation des ébauches de glumes (Soltner, 2005).

*Stade 1 à 2 nœuds* : le premier, puis le second entre-nœud de la tige principale s'allonge. Au cours de cette période, se succèdent deux stades au niveau de l'épi. Le premier stade, correspondant à la formation des glumelles et le deuxième correspondant à la différenciation de l'épillet terminal. Ce dernier indique que le nombre d'épillets est définitif, et alors s'initie la phase de formation des fleurs (Soltner, 2005).

*Stade méiose mâle* : à ce stade, l'épi gonfle et la gaine de la dernière feuille ainsi que les grains de pollen se différencient dans les anthères. C'est une période particulièrement importante dans l'élaboration du nombre de grains (Soltner, 2005).

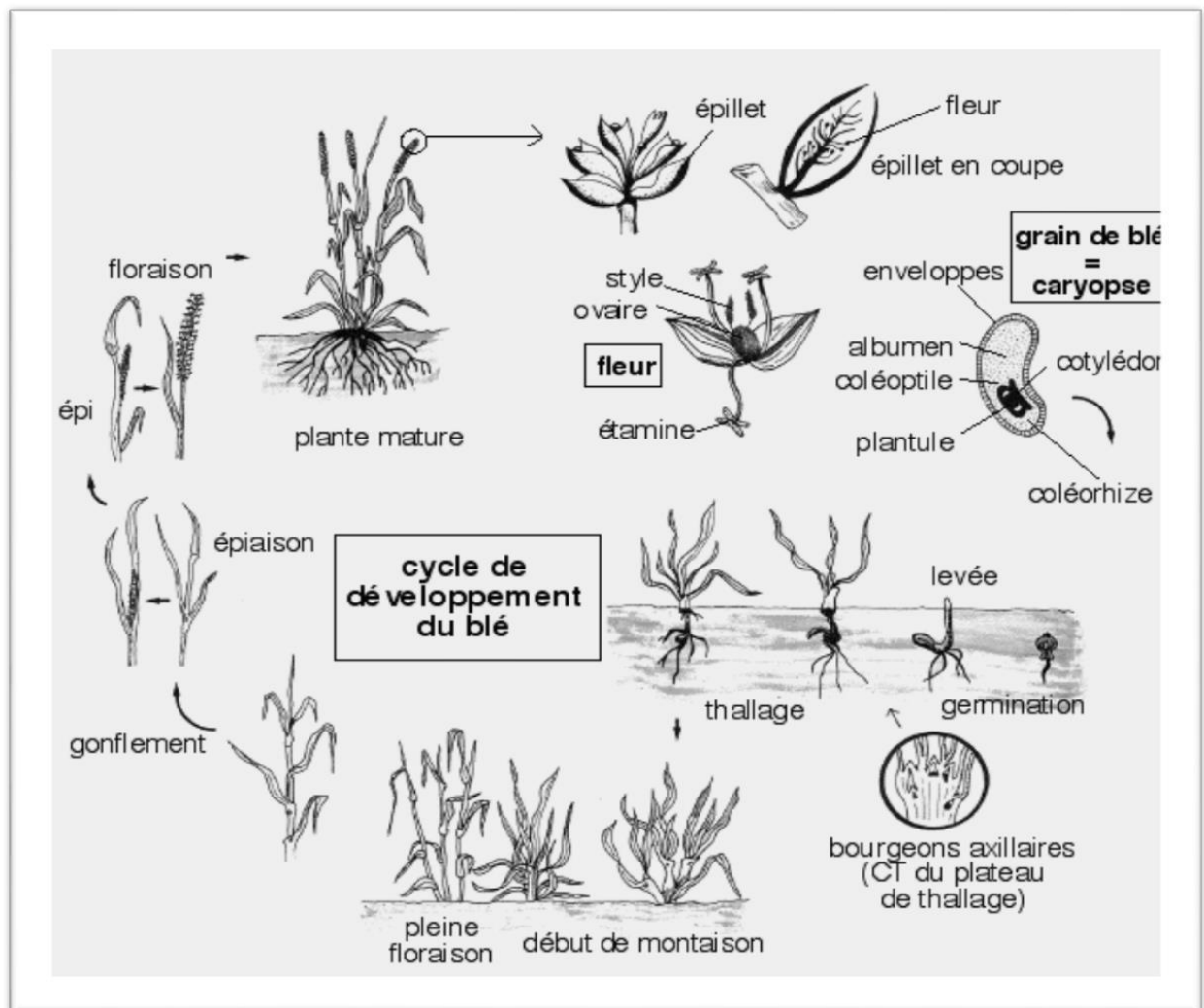


- **Epiaison**

C'est la période allant de l'apparition des premiers épis jusqu'à la sortie complète de tous les épis hors de la gaine de la dernière feuille (**Giban et al, 2003**).

- **Floraison**

C'est la sortie des premières étamines hors des épillets au milieu de l'épi sur 50% des épis la formation du grain se fait quand les grains du tiers moyen de l'épi parviennent à la moitié de leur développement. Ils se développent en deux stades, à savoir, le stade laiteux où le grain vert clair, d'un contenu laiteux atteint cette dimension définitive (grain contient encore 50% d'humidité et le stockage des protéines touche à sa fin) et le stade pâteux où le grain, d'un vert jaune, s'écrase facilement (grain a perdu son humidité et l'amidon a été constitué) (**Labidi, 2016**).



**Figure 02** : Cycle de développement du blé (**Henry et Buyser, 2000**).

## I.1.5. Exigences du blé dur

### ➤ Le sol

Les sols qui conviennent le mieux au blé sont des sols drainés et profonds, des sols lumineux argilocalcaires, argilo siliceux et avec des éléments fins. Du point de vue caractéristiques pédologiques, les blés durs sont sensibles au calcaire et à la salinité, un ph de 6,5 à 7,5 semble adéquat puisqu'il favorise l'assimilation de l'azote (**Ondo, 2014**).

### ➤ Eau

Le blé exige une humidité permanente durant tout le cycle de développement, l'eau est demandée en quantité variable. Les besoins en eau sont estimés à environ 800 mm (**Soltner, 2000**).

En zone aride, les besoins sont élevés au vu des conditions climatiques défavorables c'est de la phase épi 1 Cm à la floraison que les besoins en eau sont les plus importants .la période critique en eau se situe 20 jours avant l'épiaison jusqu'a 30 à 35 jours après la floraison (**Ondo, 2014**).

### ➤ Température

**Mekhlouf et al. (2001)** situent les exigences en température pour les stades suivants :

- Stade levée : La somme des températures =120 C°.
- Stade tallage : La somme des températures =450 C°.
- Stade plein tallage : La somme des températures =500 C°.
- Stade épi 1cm : La somme des températures = 600 C°.

### ➤ Lumière

La lumière et le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement de blé. Un bon tallage et garanti, si le blé est placé dans les conditions optimale d'éclairements (**Bebba, 2011**).

### ➤ Fertilisation

Selon (**Belaid, 1996**), la fertilisation est un facteur d'augmentation des rendements, elle est en fonction du type de sol et du type de répartition de la pluviométrie. L'apport de phosphore

entretient la fertilité des sols. Il a un effet sur la croissance et la multiplication du système racinaire.

### I.1.6. Valeur économique du blé dur

#### I.1.6.1. À l'échelle internationale

La production mondiale du blé ne cesse d'augmenter afin de satisfaire le marché, elle s'élève à 772 millions de tonnes sur plus de 218 millions d'hectares de la superficie totale récoltée. Ainsi, en 2050, le monde aurait besoin d'un peu près 840 millions de tonnes de blé. **(Bourizq, 2019)**.

L'utilisation mondiale de blé pendant la campagne de commercialisation 2020/21 devrait stagner autour de 759.4 millions de tonnes, la hausse prévue de la consommation alimentaire faisant plus que compenser le recul attendu de l'utilisation dans les secteurs de l'alimentation animale et de l'industrie (en particulier dans l'Union européenne, aux États-Unis d'Amérique et au Canada), essentiellement en raison de la chute de la demande qui découlera sans doute des graves contractions de l'économie imputables à la pandémie de covid-19 **(FAO, 2020)**.

Les prévisions de FAO concernant la production mondiale de céréales en 2021 ont été légèrement revues à la baisse depuis le précédent rapport datant de juin et s'établissent à présent à 2 817 millions de tonnes, mais elles indiquent encore une hausse de 1,7 pour cent (47,8 millions de tonnes) par rapport au niveau de 2020, ce qui constituerait un nouveau record. Ce modeste recul en glissement mensuel concerne principalement les céréales secondaires, dont la production mondiale est à présent établie à 1 513 millions de tonnes, soit 3 millions de tonnes de moins que ce qui était prévu le mois dernier. **(FAO, 2021)**.

#### I.1.6.2. À l'échelle nationale

La superficie moissonnée des céréales a été de plus de 2.35 millions d'hectares (ha) en 2017/18, soit 91% de la superficie déclarée à moissonner qui est de près de 2.58 millions ha, contre plus de 2.2 millions ha durant la campagne précédente. La moitié (50%) des superficies récoltées sont constituées du blé dur, soit plus de 1.17 million d'ha, et 32% des superficies récoltées sont constituées d'orge, soit 762331 ha **(DSASI, 2019)**.

Le blé dur occupe une place centrale dans l'économie Algérienne. La production de blé dur en Algérie connaît une augmentation et une diminution selon les saisons. L'Algérie a connu une augmentation remarquable de la production de blé dur pendant la campagne

2017/18, qui est estimée à 2.1 millions de tonnes (Mt) et pour la saison 2018/2019 elle est 3.2 Mt contrairement à la saison 2016/17 qui est 1.9 (Mt) (DSASI, 2019).

L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) prévoit un recul de 38% de la récolte céréalière en Algérie en 2021 par rapport à l'année précédente. En parallèle, l'organisation onusienne prévoit aussi une augmentation des importations algériennes de céréales, essentiellement de blé, qui devraient connaître une hausse de 25% par rapport à l'année passée et de 7% au-dessus de la moyenne durant la saison de commercialisation 2021/2022 (FAO,2021).

### I.2. Le stress hydrique

#### I.2.1. Notions de stress

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. En revanche, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, tels que le type de contrainte, son intensité, sa durée et caractéristiques génétiques (Hopkins, 2003).

#### I.2.2. Définition de stress hydrique

Le déficit hydrique est une contrainte permanente de la production agricole dans de nombreux pays au climat de type méditerranéen. Elle est à l'origine des pertes de production agricole dans de nombreuses régions. Les risques du manque d'eau sont et deviendront de plus en plus fréquents et persistants, à l'avenir, par suite des changements climatiques causés par l'effet de serre (Witcombe *et al.*, 2009).

(Passioura, 2004), définit le déficit hydrique comme étant les circonstances dans lesquelles les plantes accusent une réduction de croissance et de production suite à une alimentation hydrique insuffisante. Le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire.

#### I.2.3. Effet du stress hydrique sur les plants

Les stress provoqués par un déficit en eau constituent une menace permanente pour la survie des plantes. L'effet du stress dépend de son degré, sa durée, le stade de développement de la plante, le génotype et son interaction avec l'environnement (**Hopkins, 2003**).

Tous les processus de la plante sont affectés par un déficit hydrique, que ce soit le métabolisme, et la morphogénèse (phénomène de différenciation, et de croissance aboutissant à des organes matures) (**Doré et al., 2006**).

### **I.2.3.1. Effet du stress hydrique sur la photosynthèse**

Sous un stress hydrique, une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur (**Bousba et al., 2009**). Selon (**Tahri et al., 1997**), une baisse dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b) a été enregistrée chez trois variétés de blé dur sous l'effet du stress.

Par ailleurs, nous remarquons une nette diminution de la teneur en pigments chlorophylliens (chlorophylle a, b) et caroténoïdiques des feuilles d'arganier, avec le stress hydrique, cela peut être due à la fermeture partielle des stomates qui limite la photosynthèse ou peut être le résultat de la dégradation de la chlorophylle (**Fahmi et al., 2011**).

### **I.2.3.2. Effet du stress hydrique sur la croissance et le développement du blé**

Le stress hydrique se concrétise, chez la plupart des espèces, par un ralentissement de la mise en place de nouveaux organes aériens, c'est -à- dire des feuilles et des tiges, et par une réduction de la croissance des organes préexistants. Ces modifications résultent d'une diminution de la vitesse de division des cellules constituant les tissus végétaux (**Granier et al., 2000**).

### **I.2.3.3. Effet du stress hydrique sur le rendement du blé dur et ses composantes**

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

### I.2.4. Mécanismes d'adaptation des plantes au stress hydrique

(Passioura, 2004), La résistance à la sécheresse est liée à la capacité d'une variété à développer un nombre élevé de mécanismes d'adaptation et non pas à la présence d'un mécanisme donné. Mentionne qu'elle est la résultante de nombreuses modifications phénologiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques, reflétant différents types d'adaptation (esquive, évitement, et tolérance).

#### I.2.4.1. Adaptation phénologique

Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de stress hydrique. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement au stress hydrique de fin de cycle. Dans ces conditions, les paramètres phénologiques d'adaptation ou paramètres de précocité définissent le calage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales (Nadjem, 2012).

La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. En effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et ils sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (Nadjem, 2012).

#### I.2.4.2. Adaptation morphologiques

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

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol serait un caractère essentiel pour l'adaptation à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière pour les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques durant le cycle de croissance (El Fakhri *et al.*, 2011).

La surface foliaire détermine progressivement à la fois les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixées par voie photosynthétique. (Benmahammed *et al.*, 2008).

L'inflorescence des céréales est relativement protégée de l'évaporation par des surfaces protectrices comme une cuticule épaisse qui fait que le statut hydrique des inflorescences est meilleur que celui des feuilles. Les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Slama *et al.*, 2005).

### I.2.4.3. Adaptation physiologique

- **La teneur en chlorophylle** : sous un stress hydrique, une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur (Bousba *et al.*, 2009). Pour limiter les pertes en eau par évaporation et aussi l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO<sub>2</sub> atmosphérique nécessaire à la photosynthèse, l'économie de l'eau se traduit par une turgescence relative moins affectée par le stress conduisant à une dilution de la chlorophylle. Le rapport chlorophylle (a/b) est un bon indicateur du seuil de tolérance au stress hydrique (Mouellef, 2010).

- **La régulation stomatique** : Les génotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le stress hydrique présentent une efficacité de l'utilisation de l'eau (photosynthèse/transpiration) plus élevée et une plus grande capacité de survie (Ykhlef, 2001). L'augmentation du nombre de stomates par unité de surface pourrait être un des facteurs de résistance au stress hydrique chez les céréales si elle est accompagnée par une bonne activité physiologique (Slama, 2002).

#### -Ajustement osmotique

L'ajustement osmotique a été défini comme un abaissement du potentiel osmotique par l'accumulation de solutés dans les cellules en réponse à un stress salin ou hydrique. Il peut intervenir à tous les stades de développement (Martinez *et al.*, 2007).

L'ajustement osmotique est généralement considéré comme un élément important dans la tolérance des plantes au stress hydrique. Cet ajustement implique l'accumulation, au niveau cellulaire, des sucres, d'acides aminés (exemple : la proline), d'ions ou d'autres solutés compatibles (c'est-à-dire non toxiques) (Nouri *et al.*, 2002).

L'ajustement osmotique c'est un mécanisme majeurs d'adaptation à la sécheresse. L'intérêt croissant qui lui est porté est lié à différents facteurs, car il maintien de la

turgescence et de la croissance, retardement de l'enroulement et de la sénescence foliaire, régulation stomatique .L'osmorégulation permet également une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes (**Ottow et al., 2005**).



## ***Chapitre II***

*Caractérisation de la proline  
indicateur du stress hydrique  
chez le blé dur*

## Chapitre II Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur

---

### II. Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur

Les contraintes abiotiques, particulièrement la sécheresse et la salinité, sont celles qui sont les plus impliquées dans la limitation de la croissance des plantes et la productivité des cultures. Ces deux contraintes conduisent à un abaissement du potentiel hydrique du sol, avec en plus, dans le cas de la salinité, une accumulation d'ions toxiques pour les plantes. Pour faire face à ces contraintes, les plantes ont mis en place au cours de l'évolution divers mécanismes adaptatifs leur permettant notamment d'ajuster leur potentiel hydrique (**Verslues et al., 2006**).

Au niveau cellulaire, la tolérance des plantes au déficit hydrique implique notamment l'accumulation de solutés organiques dit compatibles car ils n'interfèrent pas avec les fonctions cellulaires. La proline est classée parmi les osmolytes les plus fréquemment accumulés chez un grand nombre d'espèces. Cependant, son accumulation chez les plantes peut aussi être le résultat d'autres facteurs environnementaux qui ne perturbent pas la balance osmotique tels que les contraintes biotiques. Il est aujourd'hui bien admis que la proline, outre sa contribution dans l'ajustement osmotique, a d'autres rôles (**Szabados et Saviouré, 2010**).

La proline peut stabiliser les membranes et les complexes protéiques. Elle peut agir comme antioxydant, notamment grâce à sa capacité de piégeage des radicaux libres. Elle peut également intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique ou servir de réserves carbonées et azotées que la plante utilisera postérieurement à la période du stress (**Verslues et Sharma, 2010**).

#### II.1. Définition de proline

La proline est un acide aminé de formule brute ( $\text{NH}_8\text{C}_5\text{O}_2$ ), il possède un groupement azoté sous la forme d'une amine secondaire et comporte un radical NH au lieu de radical  $\text{NH}_2$ . C'est un corps blanc très soluble dans l'eau et dans l'éthanol, il est facilement oxydé par la ninhydrine. Son  $\text{pH} = 6,30$  et sa masse moléculaire est égale à  $115,13\text{g/mol}$ . (**Akrib et al., 2006**). C'est un acide aminé qui peut s'accumuler sous l'action d'un stress hydrique, salin ou thermique (**Morsli, 2010**).

## Chapitre II Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur

---

### II.2. La synthèse de la proline

De nombreuses études suggèrent que le glutamate est le précurseur majeur de la proline, lorsque sa synthèse est induite par un stress hydrique. La proline est synthétisée à partir de l'acide glutamique, une réaction qui se déroule entre le  $\gamma$ -carboxyle du glutamate et la molécule d'ATP pour former l'acyle phosphate et donne  $\gamma$ -glutamyl phosphorique, acide qui se cyclera en dégageant une molécule d'H<sub>2</sub>O et forme de D pyrroline carboxylique qui se cyclera à son tour avec une molécule NADPH et donne la proline (**Taylor, 1996**).

Lors d'un déficit hydrique, la proline est synthétisée dans le cytosol et les chloroplastes. Le catabolisme de cet acide aminé est localisé dans les mitochondries par l'action séquentielle de la proline déshydrogénase (ProDH) et la P5C déshydrogénase (P5CDH) (**Szekely et al., 2008**).

(**Horton et al., 1994**), la synthèse de la proline se déroule en quatre étapes :

- ❖ La 1<sup>ère</sup> réaction est catalysée par la  $\gamma$ -glutamate kinase qui phosphoryle le glutamate en  $\gamma$ -glutamylphosphate, ce qui correspond à la première réaction de synthèse de la glutamine.
- ❖ La 2<sup>ème</sup> réaction fait intervenir le NADH, H<sup>+</sup> et déphosphoryle le  $\gamma$ -glutamylphosphate en glutamate  $\gamma$ -semialdéhyde.
- ❖ La 3<sup>ème</sup> réaction : c'est la cyclisation du glutamate  $\gamma$ -semialdéhyde.
- ❖ Enfin, une réductase forme la proline qui, selon les organismes, utilise le NADH, H<sup>+</sup> ou le NADPH, H<sup>+</sup>.

La compartimentation du métabolisme de la proline implique un transport intracellulaire de la proline entre le cytosol, les chloroplastes et les mitochondries. Des systèmes de transport de type uniport ou antiport assurant respectivement le transport de la proline ou son échange avec le glutamate ont été mis en évidence dans les mitochondries de blé (**Di Martino et al., 2006**).

## Chapitre II Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur

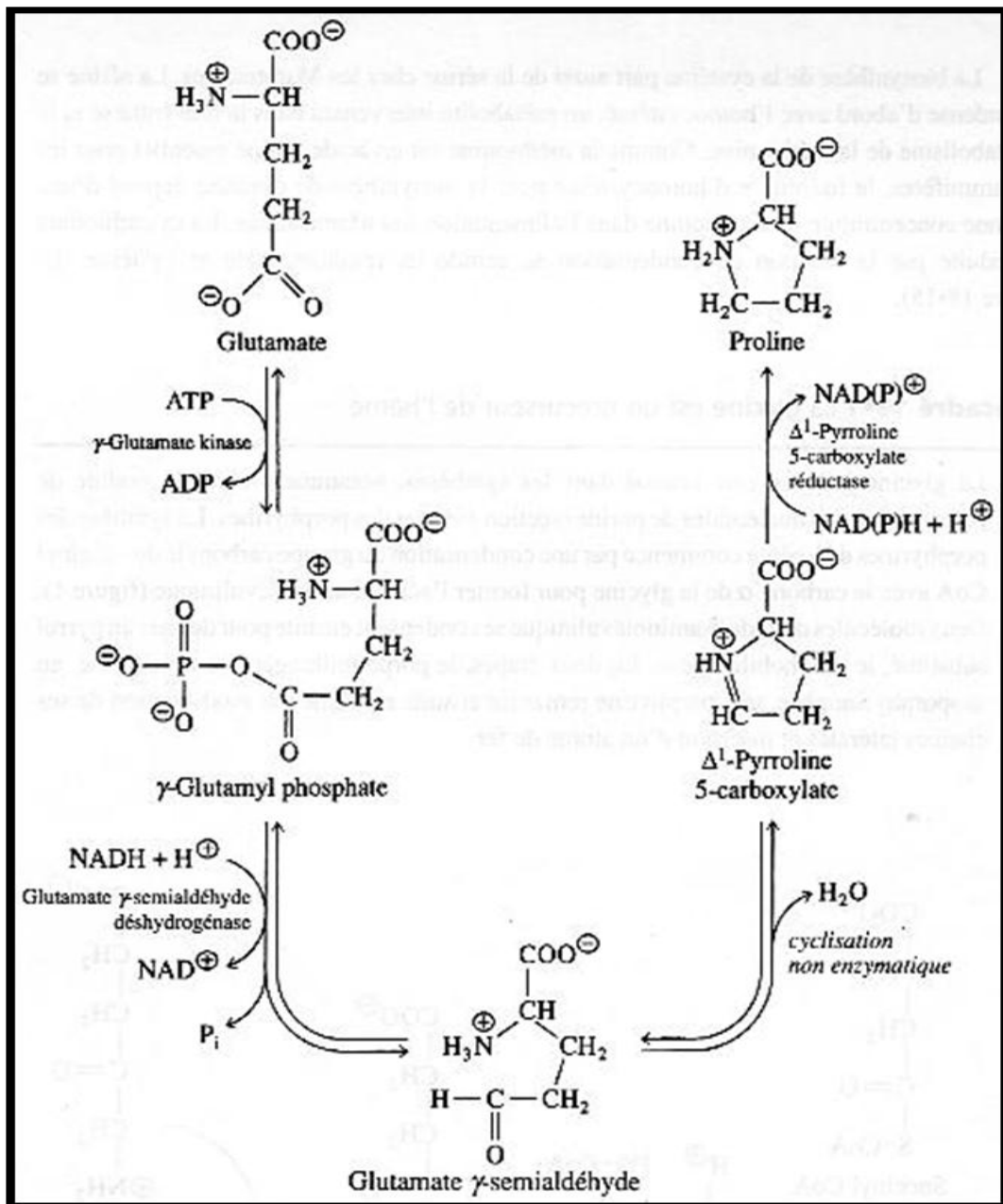


Figure 03 : Synthèse de la proline (Horton *et al*, 1994)

### II.3. Régulation du métabolisme de la proline

Les concentrations intracellulaires en proline dépendent d'une régulation fine entre sa biosynthèse et son catabolisme. Les deux étapes limitantes du métabolisme de la proline se situent au niveau de sa biosynthèse, catalysée par la P<sub>5</sub>CS, et à celui de son catabolisme, catalysé par la ProDH. L'expression du gène *P<sub>5</sub>CS* et la répression simultanée du gène *ProDH*

## Chapitre II Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur

---

conduisent à une accumulation de la proline pendant le déficit hydrique, tandis que la réhydratation provoque une régulation opposée (**Peng et al., 1996**).

Bien que les voies de signalisation impliquées dans la régulation du métabolisme de la proline ne soient pas encore complètement établies, les informations actuelles permettent de s'en faire une idée globale. P5CS1 est régulée à la fois au niveau de sa transcription et de son activité qui peut être rétro-inhibée par la proline. L'expression de *P<sub>5</sub>CSI* est stimulée par la lumière (**Hayashi et al., 2000**), ainsi que par le monoxyde d'azote (**Zhao et al., 2009**).

### II.4. Rôles de la proline chez les plantes sous stress

La proline joue plusieurs fonctions à savoir :

#### II.4.1. Ajustement osmotique

La capacité d'accumuler la proline chez les plantes est un facteur variétal et un signe de tolérance au stress hydrique, permettant de garder la turgescence et le volume cytosolique aussi élevé que possible (**Wang et al., 2003**).

La teneur en proline augmente de 4 à 40 fois comme réponse au stress ; malheureusement, cette forte augmentation contribue faiblement dans l'ajustement osmotique 1%, ce que ne signifie aucune relation entre l'accumulation de la proline et l'ajustement osmotique (**Kameli et Losel, 1995**).

#### II.4.2. Osmoprotecteur et Antioxydant

L'inhibition de l'oxydation, due à un effet mitochondrial et à la réduction du taux de translocation d'être incluse dans la régulation du pH cytoplasmique, les productions d'acides organiques liée à la respiration et à la photorespiration sont activées la tendance à l'acidification peut être évitée grâce à une synthèse accrue de proline (**Bellinger et Larher, 1989**).

La proline a un rôle dans le renforcement du système antioxydant et de lutte contre les dommages du stress. (**Khedr et al., 2003**).

La proline jouerait donc le rôle d'une molécule anti-oxydante et/ou stabiliserait l'activité des enzymes impliquées dans la défense contre le stress oxydatif (**Szekely et al., 2008**).

## Chapitre II Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur

---

Il a été montré que la proline contribue à la conservation et à la stabilisation des enzymes et/ou des protéines comme la RuBisCo et le complexe II de la chaîne mitochondriale de transfert d'électrons (**Hamilton et Heckathorn, 2001**).

De nombreuses études ont montré que la proline protège les plantes contre les contraintes environnementales en stabilisant la structure et les fonctions des macromolécules et des organites (**Hare et al., 1998**).

Par conséquent elle aide dans la stabilisation de protéines membranaires et des protéines libres, ce qui suggère qu'elle a un rôle d'osmoprotecteur du fait qu'elle est la plus accumulée dans les plastides, les mitochondries et le cytosol (**Bezzala, 2005**).

La proline peut fonctionner comme une molécule chaperonne capable de protéger l'intégrité des protéines et d'améliorer l'activité de certaines enzymes. Il a été proposé que la nature amphiphile de la proline lui permet de créer des liaisons hydrogène avec des molécules d'eau ou des macromolécules. Le noyau pyrrolidine forme une structure plane et hydrophobe alors que l'extrémité carboxyle constitue une partie hydrophile. Ainsi, l'accumulation de la proline pendant une contrainte hydrique permettrait de créer une sphère d'hydratation autour de la protéine, lui évitant ainsi d'être dénaturée (**Chadalavada, 1994**).

### II.4.3. Énergie

Réserve de carbon et de nitrogène après disparition du stress. Participation de la proline à la constitution d'un stock d'azote, utilisable pour la reprise de croissance postérieure au stress (**Kala et Godara, 2011**).

Ajustement du métabolisme énergétique (**Bellinger et al., 1991**) : la synthèse de la proline est étroitement liée au métabolisme des sucres et à la respiration.

La biosynthèse de la proline maintient le rapport NAD(P)<sup>+</sup>/NAD(P)H compatible avec le métabolisme cellulaire. La dégradation de la proline dans les mitochondries est directement couplée au transport d'électrons et à la synthèse d'ATP au niveau de la chaîne respiratoire. Après la levée de la contrainte, la dégradation de la proline par la ProDH et P5CDH fournit du pouvoir réducteur dans la mitochondrie. Les électrons provenant de l'oxydation de la proline vont être transférés à un accepteur de la chaîne respiratoire et donc contribuer à l'approvisionnement énergétique pour la reprise de la croissance (**Kavi-Kishor et al., 1995**).

## Chapitre II Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur

---

### II.4.4. Divers processus physiologies

La proline semble aussi avoir un rôle dans l'enroulement foliaire, constituant un mécanisme de limitation de la transpiration chez les céréales, qui serait lié à l'accumulation d'acide abscissique (ABA) au niveau des feuilles. Elle pourrait en outre jouer plusieurs rôles dans le métabolisme intracellulaire, dans des systèmes enzymatiques, et favoriserait la reprise après réhydratation (**Lepoivre, 2003**).

Le catabolisme de la proline joue un rôle important dans la régulation des niveaux cellulaires en ERO et peut influencer de nombreuses autres voies régulatrices. En effet, le métabolisme de la proline peut influencer la mort cellulaire programmée chez les plantes. Chez *Arabidopsis*, l'interaction incompatible plante-pathogène déclenche, par l'intermédiaire des ERO, une RH qui est accompagnée par une activation locale de *P5CS2* et une accumulation de la proline (**Fabro et al., 2004**).

Les effets bénéfiques de l'apport exogène de proline sur la tolérance des plantes aux contraintes abiotiques telles que les métaux lourds, la température, la sécheresse et la salinité ont été bien documentés (**Hayat et al., 2012**). Ces auteurs ont rapporté que la pulvérisation foliaire de proline améliore le statut nutritionnel et la croissance du maïs soumis à un déficit hydrique. L'apport exogène de proline contribue à un abaissement significatif du potentiel hydrique des feuilles de *Vicia faba* au cours d'une contrainte saline, améliorant ainsi son alimentation hydrique. La proline exogène rétablit l'activité photosynthétique et les relations hydriques des feuilles d'*Olea europaea* L. cv Chemlali en conditions de contrainte saline (**Ben Ahmed et al., 2010**).

Selon un autre point de vue, l'accumulation de la proline n'est pas une réaction l'acide aminé à travers le phloème (**Carceller, 1995**).

Selon (**Sharma et al., 1998**), la proline exogène protège *in vitro* l'activité enzymatique du nitrate réductase et de la glucose-6-phosphate déshydrogénase vis-à-vis des métaux lourds tels que le cadmium ou le zinc.

Selon (**Mishra et Dubey, 2006**) ont également montré un effet protecteur de la proline sur des ribonucléases et des protéases *in vitro* en présence d'arsenic.

## Chapitre II Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur

---

### II.5. Les méthodes de Dosage de proline

Permet les méthodes de dosage de proline en a :

#### II.5.1. Méthode de Troll et Lindsley (1955)

Simplifiée est mise au point par Dreir et Gorring cité par **Monneveux et Nemmar (1986)**.

##### II.5.1.1.Extraction

- Peser les échantillons environ 100mg de matière fraîche pris dans le tiers médian de la feuille.
- Les placer dans un tube à essai.
- Allumer le bain marie à 85C°.
- Ajouter 2 ml méthanol.
- Mettre les tubes dans bain marie à 85C° pendant 60min (les tubes sont ferment bien pendant le chauffage pour éviter la volatilisation de l'alcool).

##### II.5.1.2.Préparation des réactifs

- Pour une solution A : Dans un flacon en prépare le mélange suivant :

- 300ml acide acétique (CH<sub>3</sub>COOH).
- 80ml acide ortho phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) densité = 1.7.
- 120ml eau distillée.

Soit n = nombre de tube à doser 43 (extrait + étalon).

- Pour une solution B : Mettre dans un bécher :

- (n + 2) 25 mg ninhydrine (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O<sub>4</sub>).
- (n + 4) ml de la solution A.
- (n + 4) ml d'acide acétique (CH<sub>3</sub>COOH).
- Agiter.

##### II.5.1.3.Dosage

- Allumer le bain marie à 100C°.



## Chapitre II Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur

---

- Prélever 1 ml d'extrait.
- Dans chaque tube (extraits + étalons) mettre 2 ml de la solution B.
- Mettre au bain marie pendant 30 min à 100C°.
- Apparition d'une coloration rose vire au rouge (contient la proline).
- Laisser refroidir.
- Ajouter 5 ml de toluène dans chaque tube. il y a une séparation en deux phases :
  - Une phase aqueuse inférieure.
  - Une phase organique supérieure.
- Agiter les tubes.
- Pipeter la phase organique que l'on met dans des tubes propres contenant une petite spatule de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (anhydre).
- Lecture de la D.O à 528 nm par le spectrophotomètre.



**Figure 04 :** Les tubes de proline

## Chapitre II Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur



**Figure 05** : Séparation de la phase organique (TP de physiologie végétale)



**Figure 06** : Lecture sur le spectrophotomètre (TP de physiologie végétale)

- **Calculs** : Calculer l'équation de la droite de régression de la courbe d'étalonnage
  - $Y = 5,3155 X - 0,0139$ .
  - Y : quantité de la proline dans le tube ( $\mu\text{g}$ ).
  - X : densité optique.
  - Calculer y = la quantité de proline de chaque échantillon ( $\mu\text{g}$ ).
  - Concentration en proline =  $\frac{2 \times 1000 \times Y}{MF \times 115.13}$

## Chapitre II Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur

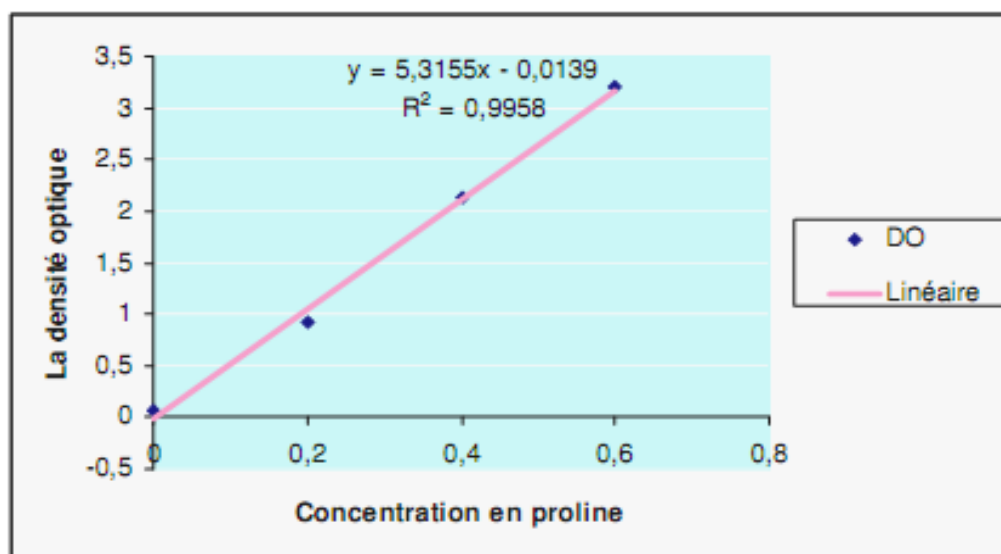


Figure 07 : Courbe étalon du dosage de la proline (Mouellef, 2010).

### II.5.2. Méthode de Bergman et Loxley (1970)

#### II.5.2.1. Extraction

100 mg de matériel végétal, soit des racines, des tiges et des feuilles, sont broyés dans 1.25 ml d'éthanol 95%, suivi de trois rinçages et lavages avec 1.25 ml d'éthanol 70% chaque fois. Des surnageant combinés environ 5 ml, sont prélevés 2.5 ml auxquels sont ajoutés 1 ml de chloroforme et 1.5 ml d'eau distillée. Le matériel végétal est gardé toute la nuit au froid à 0 C°. (Bergman et Loxley 1970).

#### II.5.2.2. Dosage

1 ml de la phase supérieure du matériel végétal, déjà décanté, est prélevé en évitant de toucher à la phase inférieure puis sont ajoutés 2 ml de solution de NaCl 5M et 5 ml d'eau distillée. Après agitation, 2 ml de solution sont placés dans tube à essai auquel sont ajoutés 2 ml de solution tampon phosphate ( $H_3PO_4$  5.32 M +  $Na_2HPO_4$  3.88 M) à pH 2,5 et enfin 4 ml de solution de ninhydrine (0.125 g dans 2 ml de  $H_3PO_4$  6 M, plus 3 ml de  $CH_3COOH$  glacial). (Bergman et Loxley, 1970).

Les tubes sont agités et placés au bain-marie bouillant pendant 60 mn pour le développement de la coloration. Une fois le mélange refroidi, la densité optique est lue au moyen d'un spectrophotomètre à 505 nm. Les résultats sont exprimés en  $\mu g.ml^{-1}$  de proline d'extrait en référence à un courbe étalon à partir de concentrations croissantes de proline de

## Chapitre II Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur

---

12.5 à 125  $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ . Les teneurs moyennes en proline obtenues à partir des échantillons (feuilles, tiges, racines) analysées sont affectées d'une analyse de la variance à l'aide du Test de Fisher à  $P = 5\%$ . (Bergman et Loxley, 1970).

### II.6. Objectif de Dosage de proline

De nombreuses plantes accumulent différents solutés en réponse à un stress salin ou hydrique. En effet lorsque le potentiel hydrique du sol diminue la réponse de la plante au niveau cellulaire est entre autre une accumulation de solutés dans le cytoplasme entraînant une diminution du potentiel hydrique intracellulaire et donc permettant à la plante d'absorber l'eau contenue dans le sol. Ce phénomène est appelé ajustement osmotique. Ces solutés sont non toxiques pour la cellule et n'inhibent pas les réactions enzymatiques même à forte concentration. Ils sont également dits osmoprotectants car ils ont un rôle de protection au niveau des protéines, des complexes protéiques et des membranes. (CIRAD, 2008).

La proline fait partie de cette catégorie de composés et son accumulation dans les feuilles, les tiges et les racines est considérée comme une des réponses induites les plus répandues en cas de stress, ce qui en fait un excellent détecteur de stress. L'accumulation de la proline dépend du type et de l'intensité du stress. Elle se rencontre surtout en cas de stress hydrique ou osmotique mais aussi lié à la température. Sa détermination va permettre de détecter le stress, de le suivre dans le temps et de comparer son intensité. Par ailleurs il semble que l'accumulation de proline soit un paramètre transmissible génétiquement et donc il peut être utilisé pour la sélection de variétés tolérantes aux stress hydrique ou osmotique (Reigosa, 2001).

### II.7. Accumulation de la proline en stress hydrique chez le blé dur

Lors d'un état de stress, les concentrations en proline augmentent rapidement chez de nombreuses mono- ou dicotylédones pour maintenir l'équilibre osmotique entre le cytoplasme et la vacuole. La proline intervient dans la détoxification des formes actives d'oxygène, la stabilisation des protéines, la protection de l'intégrité de la membrane plasmique, elle constitue aussi une source de carbone et d'azote pour la plante. (Badraoui et Meziani, 2019).

## Chapitre II Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur

---

Son accumulation dans les feuilles des plantes qui souffrent d'un manque d'eau a été décrite très anciennement (**Cornic, 2008**). On pense que l'accumulation se fait dans le cytoplasme où sa concentration atteint parfois 230 à 250 ml. Elle peut à cette concentration participer effectivement à l'ajustement osmotique de la plante (**Samars et al., 1995**).

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'ornisitoile (Orn), qui sont utilisés comme précurseurs (**Samaras et al., 1995**).

Montrent chez *Arabidopsis* que l'augmentation de transcrits de la P5CR (1-pyrroline-5-carboxylate synthétase) est corrélée à une augmentation de proline. De plus, cet auteur a montré que cette augmentation était directement reliée à l'application du stress. En effet, lors de la phase de récupération juste après l'application du stress, le contenu en proline diminue en même temps que la quantité de transcrits correspondant à la P<sub>5</sub>CR (1-pyrroline-5-carboxylate synthétase). L'induction de ce gène est directement reliée à la régulation du taux de proline dans les cellules en fonction du stress (**Savouré et al., 1995**).

Outre les effets bénéfiques de son application exogène chez les plantes, la proline peut provoquer des effets toxiques lorsqu'elle est sur accumulée ou appliquée à des concentrations excessives. Une concentration supérieure à 10 mM est toxique pour *Arabidopsis*. Les symptômes causés par la proline incluent des altérations de l'ultrastructure des chloroplastes et des mitochondries ainsi que plusieurs aspects de la mort cellulaire programmée (**Deuschle et al., 2004**).

Les hydrates de carbone peuvent être un facteur essentiel dans l'accumulation de la proline où le saccharose joue un effet positif favorisant l'accumulation chez les disques foliaires de colza incubés in vitro (**Lahrer et al., 1993**).

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' $\alpha$  céto-glutarate qui forme le statut carbonique pour la synthèse de la proline. L'addition de l'ornithine dans le milieu de culture augmente la source de la proline par l'intermédiaire de l'enzyme ornithine amino-transferase (**Chaib, 1998**).

## Chapitre II Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur

---

Trois processus sont responsables de l'accumulation de la proline lors d'un stress (**Benmakhlouf, 2018**) :

**01.** La stimulation de la synthèse de la proline.

**02.** L'inhibition de l'oxydation de la proline.

**03.** L'altération de la biosynthèse des protéines.

L'assimilation rapide de la proline lors du stress hydrique ou salin a été mise en évidence chez de nombreuses plantes particulièrement chez l'orge chez l'eucalyptus (**Chunyang, 2003**).

L'accumulation simultanée ou non de ces deux solutés suivant la variété et le degré de stress, permet aux plantes de supporter le manque d'eau, en maintenant leur turgescence relative foliaire moins perturbée que possible et leur intégrité cellulaire préservée (**Bensalem, 1993**).

Le processus de concentration des sucres solubles et / ou de la proline dans les tissus foliaires des plantes stressées est reconnu comme une caractéristique d'adaptation (**Kameli et Losel, 1995**).

Selon (**Wilfred, 2005**), La capacité d'accumuler la proline chez les plantes est un facteur variétal et un signe de tolérance au stress hydrique.

Lors d'un déficit hydrique, les réserves amylicées sont progressivement utilisées et pourraient être un facteur de tolérance au manque d'eau. 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 (**Bensari et al., 1990**).

Plusieurs auteurs montrent que l'augmentation de la teneur en proline est reliée directement à l'application du stress hydrique (**Cechin et al., 2006**). L'accumulation de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (osmotiques, hydriques, thermiques). Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent plus marquées (**Savouré et al., 1995**).

Les variétés **Khlar** et **Om Rabia 3** sont les plus productives sous condition de déficit hydrique. Ceci s'explique par leur précocité, suivant la voie d'esquive qui leur permet de

## Chapitre II Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur

---

bénéficier des conditions d'humidité favorables tôt au cours de la saison. Ce résultat est confirmé par (**Daaloul et al., 2009**).

Chez le blé les hydrates de carbone solubles s'accumulent 2 à 3 semaines après l'anthèse dans les tiges. La translocation de ces réserves vers l'épi pendant la période du remplissage des grains joue un rôle essentiel dans la formation du poids du grain surtout quand l'assimilation foliaire est réduite par la contrainte hydrique (**Bidinger et al., 1997**).

L'existence chez les céréales d'une variation intra spécifique pour l'accumulation de la proline sous l'effet du stress hydrique suggère la possibilité d'une sélection, sur la base de ce caractère, des géotypes qui auront une bonne capacité à survivre et un rendement en grains stable en conditions hydriques limitantes (**Bergareche et al., 1993**).

La proline, s'accumule dans la plante lorsque l'équilibre métabolique de celle-ci est perturbé par une condition défavorable telle qu'un stress hydrique (**Blum et Ebercon, 1976**).

L'existence d'une connexion vraisemblable entre les voies de biosynthèse des pigments chlorophylliens et de la proline. Une compétition entre ces deux composés sur leur précurseur commun, le glutamate, peut être à l'origine de cette évolution (**Reddy et Veeranjaneyulu, 1991**).

Cette corrélation négative entre l'accumulation de la proline et l'humidité du sol est observée chez différentes espèces de blé dur (**Nouri, 2002**), chez la luzerne (Hireche, 2006). Il apparaît que la proline peut conférer la tolérance des plantes aux stress par le développement d'un système antioxydant qui peut jouer un rôle d'indicateur d'ajustement osmotique (**Eliane et al., 2007**).

La proline joue un rôle dans le maintien des pressions sol-vacuole, dans la protection des membranes et des systèmes enzymatiques. Ainsi qu'un régulateur du pH. (**Alem et Ameri, 2005**).

Elle intervient comme une réaction de la plante. L'accumulation de proline est l'une des manifestations les plus en vue du stress hydrique. Elle résulterait d'une activité intense du métabolisme de la plante suite à un stress, lequel pourrait avoir lieu à n'importe quel stade. Elle donne lieu à l'accumulation d'autres acides aminés comme l'Asparagine, la Glutamine, la Serine, la Glycine (**Morsli, 2010**).

## Chapitre II Caractérisation de la proline indicateur du stress hydrique chez le blé dur

---

Les travaux sur le blé dur réalisés par (**Adjab, 2002**), ont montré des teneurs élevées en proline surtout en cas de déficit hydrique prononcé. Ces résultats confirment ceux obtenus par (**Adjab et Khezane, 1998**) ainsi que ceux obtenus par (**Bammoun, 1997**) qui notent une augmentation de la teneur en proline chez 13 variétés de blé dur. Cette augmentation est observée par rapport au témoin après 10 heures de stress et après 24 heures de stress. Il est toutefois constaté que l'accumulation est plus importante après 24 heures de stress.



# *Conclusion*

### Conclusion

Le déficit hydrique est le principal facteur environnemental, responsable des faibles rendements et leurs irrégularités chez le blé dur. Cependant, l'impact de ce stress abiotique sur la productivité de cette espèce, est tributaire de son intensité et le temps de sa persévérance.

La plupart des travaux effectués sur le blé dur dans le cadre d'adaptation et tolérance au stress hydrique, se sont donnés pendant longtemps pour objectif primordial, l'augmentation de la productivité par une approche basée sur les performances physiologique, phénologique et agronomiques.

Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, la proline représente des manifestations les plus remarquables des stress hydriques et osmotiques. La proline est l'un des solutés compatibles le plus fréquemment accumulé en réponse à des contraintes environnementales variées et joue un rôle important dans la tolérance des plantes.

L'accumulation de proline est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes pour limiter les effets du stress hydrique. Elle est liée à l'osmoregulation cytoplasmique.

L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires: stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines.

Plusieurs sélectionneurs et physiologistes ont utilisé la capacité de son accumulation dans le criblage de génotypes résistants au déficit hydrique sur le blé dur.

*Références*

*Bibliographiques*

## Références bibliographiques

**Adjab M., Khezane S. (1998).** "Etude de l'héritabilité de la proline chez un croisement de blé dur *Triticum durum* Desf", Diplôme d'études supérieures en amélioration des plantes. Université Badji Mokhtar Annaba, 32p.

**Adjab M. (2002).** "Recherche des traits morphologiques, physiologiques et biochimiques d'adaptation au déficit hydrique chez différents génotypes de blé dur *Triticum durum* Desf", Mémoire de magistère, faculté des sciences, Université Badji Mokhtar, Annaba, 84 p.

**Akrib K., Arslane S. & Hachi I. (2006).** Caractérisation de la proline, indicateur de stress hydrique chez le blé dur en zone méditerranéenne. 19p. Université Med Boudiaf. M'sila.

**Alem C. & Ameri. (2005).** Importance de la stabilité des membranes cellulaire dans la tolérance à la salinité chez l'orge. BioAlliance. CanadaMorocco Vol.4, N°1: p20-31.

**Amokrane A. (2001).** Evaluation et utilisations de trois sources de germoplasme de blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse de Magister, Institut d'Agronomie, Université Colonel El Hadj Lakhdar, Batna, 80P.

**APG III. (2009).**An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants : APG III. Botanical Journal of the Linnean Society, 161: 105-121.

**Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A., & Hassous K, L. (2005).** Selection of high yielding of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi arid conditions. *Journal of Agronomy*, 4 (4): 360-365.

**Bammoun A. (1997).** "Contribution à l'étude de quelques caractères morpho-physiologiques, biochimiques et moléculaires chez 13 variétés de blé dur, *Triticum turgidum* ESP durum, pour l'étude de la tolérance à la sécheresse dans la région des hauts plateaux de l'ouest algérien" thèse de Magistère Institut des sciences de la nature, université des sciences et de la technologie Houari Boumédiène.

**Badraoui H, Meziani S. (2019).** Effet de la contrainte saline sur la germination et la croissance de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université 8 Mai 1945 Guelma, 2019, p 248.

**Bellinger Y., Bensaoud A & Larher F. (1989).**Physiology breeding of winter cereals for stress environment Colloque, N°3, Montpellier, France.

**Bourizq Z. (2019).** Caractérisation phénotypique et génotypique des germoplasmes de blé (*Triticum aestivum* L.) vis-à-vis de la salinité [En ligne]. Mémoire de Master. Maroc : Université Moulay Ismail, 2019, p 92. Disponible sur :<<https://repo.mel.cgiar.org/handle/20.500.11766/10564>> consulté le (14/05/2020).

**Bebba S. (2011).** Essai de comportement de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* L. var. Carioca et Vitron) conduite sous palmier dattier au niveau de la région d'Ouargla. Diplôme d'Ingénieur d'état en Agronomie Saharienne. Univ. Kasdi Merbah, Ouargla. 5p.

**Benmahammed, A., Bouzerzour, H., Mekhlouf, A., & Benbelkacem, A. (2008).** Variation de la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, la biomasse et l'efficacité d'utilisation de l'eau des variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var durum) conduites sous contraintes hydrique. *Recherche Agronomique, INRA*, 21: 37-47.

- Bousba R., Ykhlef N. & Djekoun, A. (2009).** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum Desf.*). *World Journal of Agricultural Sciences* 5. 5: 609 -616 p.
- Berka, S. & Aïd, F. (2009).** Réponses physiologiques des plants d'Argania spinosa (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. *Sécheresse*, 20 (3) : 296-302.
- Belkharouch H., Fellah S., Bouzerzour H., Benmahammed A., & chellal, N. (2009).** vigueur de croissance, translocation et rendement En grains du blé dur (*Triticum durum desf.*) Sous conditions semi arides. *Courrier du Savoir*, (09):17-24.
- Bousba R., Ykhlef N. & Djekoun A. (2009).** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum Desf.*). *World Journal of Agricultural Sciences* 5. 5: 609 -616 p.
- Belaid D. (1996).** Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. Office des publications universitaires, Ben-Aknoun (Alger), 206 p.
- Bonjean A.P., Angus W.J Ginkel M. & Van. (2016).** The World Wheat Book : A History of Wheat Breeding; Paris: Lav, Vol 3.
- Ben Ahmed C., Ben Rouina B., Sensoy S., Boukhriss M. & Ben Abdullah F. (2010).** Exogenous proline effects on photosynthetic performance and antioxidant defense system of young olive tree. *J Agric Food Chem*, 58, 4216-4222.
- Bergman, I. & R. Loxley. (1970).** New spectrophotometric method for the determination of proline in tissue hydrolysates. *Analytical Chemistry* 42, no. 7: 702–706.
- Bezzalla A. (2005).** Essai d'introduction de l'arganier (*arganiaspinosa (L.) Skeels*) dans la zone M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse. Mémoire de Magistère en Sciences agronomique, Université Al Hadj Lakhadar- Batna, Batna, p.143.
- Bidinger F.R., Musgrave R.B. & Fisher R.A. (1997).** Contribution of stored preanthesis assimilate to grain yield in wheat and barley. *Nature (London)* N° 270, p. 431 - 433.
- Bensari M., Calmes 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 physiol. Biochem.* N° 28, p. 113 - 121.
- Bensalem M. (1993).** "Etude comparative de l'adaptation à la sécheresse du blé, de l'orge et du tritical", ed.INRA, Paris, colloque n°64. pp.276-297.
- Bergareche C., Llusia J., Febrero A., Bort J. & Araus J.L. (1993).** Effect of water stress on proline and nitrate content of barley relationships with osmotic potential, carbon isotope ratio and grain yield. Colloque Diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier (France). Les colloques.64. (Éd). Inra. Paris.
- Benmakhlouf Z. (2018).** Etude de l'effet des phytohormones sur la croissance du blé dur (*Triticum durum Desf.*) var. Kebir cultivée dans des conditions salines. [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université des Frères Mentouri Constantine1, 2018, p 152.
- Campalans A., Messeguer R., Goday A. & Pagès M. (1999).** Plant responses to drought, from ABA signal transduction events to the action of the induced proteins. *Plant Physiol. Biochem.* 37. 5: 327 - 340 p.
- Carceller J. (1995).** Proline and the export of N compounds from senescent leaves of Maize under water stress. INRA, Inter drought VI.

- Cornic G. (2008).** Effet de la contrainte hydrique sur la photosynthèse foliaire: De l'utilisation expérimental des relations A/Ci et ACc, article, 36 p.
- Chaib G. (1998).** Teneur en proline chez les différents organes de blé dur (*Triticum durum* Desf) : Essai d'explication des conditions d'accumulation sous manque d'eau. Thèse de magister. Univ. Constantine.
- Crémer S., & Knoden D. (2014).** Introduction à la reconnaissance des légumineuses, Fourrages-Mieux asbl, 6p.
- Chunyang L. & Kaiyun W. (2003)** .Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell. Populations. Uni of Helsinki. Finland. Forest Ecology and Management., 179, p 377- 385.
- Cechin I., Rossi S.C. & Oliveira V.C. (2006).** Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. *Photosynthetica* 44, 1, 143-146.
- CIRAD. (2008).** Le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement est l'organisme français de recherche agronomique et de coopération internationale pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes.
- Chadalavada S., B Rajendrakumar., Reddy V & Reddy A. (1994).** Proline-protein interactions: protection of structural and functional integrity of M4 lactate dehydrogenase. *Biochem Biophys Res Commun*, 201, 957-963.
- Deuschle K., Funck D., Forlani G., Stransky H., Biehl A., Leister D., van der Graaff E., Kunze R. & Frommer W.B. (2004).** The role of  $\Delta 1$ -pyrroline-5-carboxylate dehydrogenase in proline degradation. *Plant Cell*, 16, 3413-3425.
- Daaloul A, Bchiri H. & Sayar R. (2009).** Variabilité génétique de quelques paramètres du système racinaire du blé dur sous deux régimes hydriques. *Plant Genetic Resources* 129 : 25-31.
- Di Martino C., Pizzuto R., Pallotta M.L., De Santis A., Passarella S. (2006).** Mitochondrial transport in proline catabolism in plants: the existence of two separate translocators in mitochondria isolated from durum wheat seedlings. *Planta*, 223, 123-133.
- Delauney A.J. & Verma D.P.S. (1993).** Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant Journal*, 4, 215-223.
- Doré, T., Le Bail, M., Martin, P., Ney, B., & Roger-Estrade, J. (2006).** L'agronomie aujourd'hui. Quae, Versailles Cedex. 114-118.
- DSASI Direction de la Statistique Agricole et des Systèmes d'Information. (2019).** Statistique de La production céréalière. <https://www.algerie-eco.com/>.
- El fakhri M., Mahboub S., Benchekroun M., & Nsarellah N. (2011).** Effet du stress hydrique sur la répartition ionique dans les feuilles et les racines du blé dur (*Triticum Durum*). *Nature & Technologie*, 05: 66-71.

- Eliane Cristina G.V., Ivan S., Marcos P., Carlos A.S., Hugo Bruno C.M., Celso J.M. & Ellis R.J. (2007).** The molecular chaperone concept. *Semin. Cell Biol.* 1: 1 - 9 p.
- Fabro G., Kovács I., Pavet V., Szabados L & Alvarez M.E. (2004).** Proline accumulation and *AtP5CS2* gene activation are induced by plant-pathogen incompatible interactions in *Arabidopsis*. *Mol Plant Microbe Interact*, 17, 343–350.
- FAO Food and Agriculture Organization (2021).** Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales.
- Fahmi F., Tahrouch S., Bouzoubâa Z. & Hatimi, A. (2011).** Effet de l'aridité sur la biochimie et la physiologie d'*argania spinosa*. Actes du Premier *Congrès International de l'Arganier*, Agadir, pp. 299- 308.
- Feillet P. (2000).** Le grain de blé (composition et utilisation), Ed *INRA*, P57-281.
- Giban M., Minier B. & Malvosi R. (2003).** Stades du blé, éd. ITCF, Paris, 68p.
- Granier C., Inzé D., & Tardieu, F. (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. & Van Staden, J. (1998).** Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell Environ*, 21, 535-553.
- Hayashi F., Ichino T., Osanai R. & Wada K. (2000).** Oscillation and regulation of proline content by *P5CS* and *ProDH* gene expressions in the light/dark cycles in *Arabidopsis thaliana* L. *Plant Cell Physiol*, 41, 1096-1101.
- Hayat S., Hayat Q., Alyemeni M.N., ni A.S., Pichtel J. & Aqil A. (2012).** Role of proline under changing environment. *Plant Signal Behav*, 7, 1-11.
- Habash D.Z., Kehel Z. & Nachit M. (2009).** Genomic approaches for designing durum wheat ready for climate change with a focus on drought. *Journal of Experimental Botany*, 60(10), 2805–2815.
- Hargas H. (2007).** Identification et sélection de caractères de résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions semi-arides des Hauts Plateaux de Sétif. Mém. Magister, Inst. Nat. Agro., El- Harrach, Alger, 73 p.
- Hamilton E & Heckathorn S. (2001).** Mitochondrial adaptations to NaCl. Complex I is protected by antioxidants and small heat shock proteins, whereas complex II is protected by proline and betaine. *Plant Physiol*, 2001, 126, 1266-1274.
- Henry Y. J & Buysen. (2000).** L'origine du blé. *Pour la Science* 26 :60-62.
- Hireche Y. (2006).** Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de magister, Département d'Agronomie. Université EL-Hadj Lakhdar, Batna. 83p.
- Horton G. M. J. & Pitman W. D. (1994).** The nutritional value of selected tropical grass hays fed with concentrate. *Int. J. Anim. Sci.*, 9 (2): 205-206p.
- Hopkins W. G. (2003).** Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruxelles : 61-476.

- Jing R.L. & Chang X.P. (2003).** "Genetic diversity in wheat (*Triticum aestivum*) germplasm resources with drought resistance", *Acta of Botanic Boreal-Occ Sin.* 23, pp. 410-416.
- Jubault M., Lariagon C., Simon M., Delourme R. & Manzanares-Dauleux MJ. (2008).** Identification of quantitative trait loci controlling partial clubroot resistance in new mapping populations of *Arabidopsis thaliana*. *Theor Appl Genet.* 117(2):191–202. Doi: 10.1007/s00122-008-0765-8.
- Kavi Kishor P.B., Hong Z., Miao G.H., Hu C.A.A. & Verma, D.P.S. (1995).** Overexpression of  $\Delta 1$ -pyrroline-5-carboxylate synthase increases proline production and confers osmotolerance in transgenic plants. *Plant Physiol*, 108, 1387-1394.
- Kameli A & Losel D.M. (1995).** "Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress" *Plant. Physiol*, 145, pp.363-366.
- Kala, S & Godara A.K. (2011).** Effect of moisture stress on leaf total proteins, proline and free amino acid content in commercial cultivars of *Ziziphus mauritiana*. *Journal of Scientific Research*, 55, 65-69.
- Khedr A.H.A., Abbas M.A & Wahid A.A.A. (2003).** Proline induces the expression of salt-stress responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancreaticum*.
- Lahrer F., Lepart L., Patrivalisky M. & Chappart M. (1993).** Effectors for the asmoinduced proline response in higher plants. *Plant Physiol .Biochemi.* 31(6), 911-922.
- Labidi A. (2016).** La culture du blé dur: Besoins et contrainte, AgriMaroc, <https://www.agrimaroc.ma/la-culture-du-ble-dur-besoins-et-contraintes/>
- Lepoivre P. (2003).** Phytopathologie: Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte. *De Boeck Supérieur*, 27-28.
- Ledoigt G., Coudret A. (1992).** Stress hydrique : étude des mécanismes moléculaires et des modifications de l'expression du génome. *Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques*, 139 (2) : 175-190.
- Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S. & Janardhan Reddy K. (2006).** Printed in the Netherlands. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer* : 1-14 p.
- Morsli L. (2010).** Adaptation du blé dur (*triticum durum* Desf) dans les conditions des hautes plaines constantinoises. diplôme de Doctorat. Univ Badji Mokhtar.annaba. 3-18p.
- Merouche A. (2015).** Besoin en eau et maîtrise de l'irrigation d'appoint du blé dur dans la vallée du Chéiff [En ligne]. Thèse de Doctorat. Algérie : Ecole National Supérieur Agronomique, 2015, p 115. Disponible sur : <http://dspace.ensa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1284/Merouche.pdf?sequence=1&isAllowed=y> consulté le (01/03/2020).
- Monneveux Ph & Nemmar M. (1986).** Contribution à l'étude de la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum durum* Desf). Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie.* 6(6), 583- 590.
- Mouellef A. (2010).** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire magister, Faculté de biologie. Département de Biologie Végétale et Écologie, Université Constantine, 82 p.



- Mir R.R, Zaman-Allah M., Sreenivasulu N., Trethowan R. & Varshney RK. (2012).** Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. *Theoretical and Applied Genetics*, 125(4), 625–645.
- Mekhlouf A. Bouzerzour H. & Dehbi F. (2001).** Rythme de développement et variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux basses températures. Tentatives de sélection pour la tolérance au gel. In : *Proceedings séminaire sur la valorisation des milieux semi-arides*. Oum El Bouaghi, 23 : 75-80.
- Mishra S., Dubey R.S. (2006).** Inhibition of ribonuclease and protease activities in arsenic-exposed rice seedlings: role of proline as enzyme protectant. *J Plant Physiol*, 163, 927-936.
- Malamy J.E. (2005).** Intrinsic and Environmental Response Pathways That Regulate Root System Architecture. *Plant, Cell & Environment*, 28, 67-77.
- Nadjem k. (2012).** Contribution à l'étude des effets du semis direct sur l'efficacité d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride. *Mém. Magister. Univ. Farhat abbas. sétif*. 12p.
- Nouri L., Ykhlef N. & Djekoun, A. (2002)** .Adjustement osmotique et comportement hydrique chez certaines variétés de blé dur : relation avec la tolérance à la sécheresse. Actes de séminaire ' IIIème journées Scientifiques sur le blé. (éd). Univ. *Mentouri*. Constantine.
- Ondo Eo. (2014).** caractérisation d'une collection de variétés anciennes de blé pour leur réponse à la mycorhization et impact sur la qualité du grain, thèse de doctorat, université de Bourgogne Witcombe JR., PA. Hollington, CJ. Howarth, S. Reader, KA. Steel. 2009. Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, **363**: 703-716.
- Ouanzar S. (2012).** Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Thèse Magister*, Université de Sétif, 67 p.
- Ottow E., Brinker M., Fritz E., Teichmann T., Kaiser W., Brosche M., Kangasjarvi J., Jiang X., & Polle A. (2005).** *Populus euphratica* Displays Apoplastic Sodium Accumulation, Osmotic Adjustment by Decreases in Calcium and Soluble Carbohydrates, and Develops Leaf Succulence under Salt Stress 1. *Plant Physiology*, Vol. **139**, pp. 1762–1772.
- Passioura J. (2004).** Increasing crop productivity when water is scarce: from breeding to field management. In *proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia*. 12 pages
- Ranieri R. (2015).** *Geography of the Durum Wheat Crop, pastaria international* 6.
- Peng Z., Lu Q. & Verma D. P. (1996).** Reciprocal regulation of delta 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase and proline dehydrogenase genes controls proline levels during and after osmotic stress in plants. *Mol Gen Genet*, 253, 334-341.
- Rhodes D & Handa. (1989).** Amino acid metabolism in relation to osmotic adjustment in plants. *Environmental stress in Plant: Biochemical and Physiological Mechanism*. , NATO AI series, Vol. G19 (JH Cherry ed) pinger, Berlin, p., p.4162.
- Reigosa M.J, (2001).** Dans le livre : *Handbook of Plant Ecophysiology Techniques* (pp.365-382) Chapitre : 22 Éditeur : Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

- Reddy P.S. & Veeranjanyulu K. (1991).** Proline metabolism in senescing leaves of horsgram (*Macrotyloma uniflorum* Lama) J. Plant. Physiol. N° 137, p. 381 – 383.
- Salmi M. (2015).** Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de quelques générations F2 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. L.Thèse de magistère. Univ. ferhatabbas-setifufas (Algérie).
- Savouré A., Jaoua S., Hua & Xue Jun. (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.
- 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. Environment and plant metabolism, flexibility and acclimation. Oxford BIOS.161: 79- 88 p.
- Sharma S.S., Schat H. & Vooijs R. (1998).** *In vitro* alleviation of heavy metal-induced enzyme inhibition by proline. *Phytochemistry*, 49, 1531-1535.
- Soltner D. (2005).** Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. SainteGermme-sur-loire, *Science et Techniques Agricoles*.
- Slama A. (2002).** Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie. Tunis.
- Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M., & Zid, E. (2005).** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance (*Inrat*), 16 (3) : 225-229
- Soltner D. (1998).** Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. SainteGemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles.
- Soltner D. (2000)** .Phytotechnie générale : les bases de la production végétales. Tome 1 : le sol et son amélioration. Sciences et techniques agricoles, 22ième édition, 467 p.
- Szekely G., Abraham E., Cselo A., Rigo G., Zsigmond L., Csiszar J., Ayaydin F., Strizhov N., Jasik J., Schmelzer E., Koncz C & Szabados L. (2008).** Duplicated *P5CS* genes of *Arabidopsis* play distinct roles in stress regulation and developmental control of proline biosynthesis. *Plant J*, 53, 11-28.
- Schulze E.D. Beck E. & Müller-Hohenstein K. (2005).** Plant ecology. *Springer*. Berlin:117-143p.
- Slama A., Ben Salem M. & Zid D. (2004).** 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.
- Szabados L. & Savouré A. (2010).** Proline : a multifunctional aminoacid. *Trends Plant Sci*, 15, 89-97.
- Stewart C.R. & Lee J.A. (2005).** The role of proline accumulation in halophytes. *Planta*, 1974,120, 279-289. Wilfried C: 2005. Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Sci* 168 : 241-248.

**Taylor C. R. (1996).** Pro line and water deficit: Downs and Outs. *The Plant Cell.*, 8, p, 1 221-1 224.

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

**Tarczynski M.C., Jensen R.G. & Bohnert H.J. (1993).** Stress protection of transgenic tobacco by production of the osmolyte mannitol. *Science*, 259, 508-510.

**Troll W. & Lindsley J. (1955).** A photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem.*, 215, 655-660.

**USDA. (2017).** *Algeria Exporter Guide*.

**Verslues P.E. & Sharma S. (2010).** Proline metabolism and its implications for plant-environment interaction. *Arabidopsis Book*, 8, e0140.

**Verslues P.E., Agarwal M., Katiyar-Agarwal S., Zhu J. & Zhu J.K. (2006).** Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *Plant J*, 45, 523-539.

**Wang W., Vinocur B., & Altman A. (2003).** Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures : towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 21 8: 11 4.

**Wilfried C. (2005).** Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Sci*, 168: 241-248. With a simulation model. *Europ. J. Agronomy*. **28**. 541-550p.

**Witcombe J. R. (2009).** Breeding for abiotic stress for sustainable agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 363: 703 -716.

**Ykhlef N. (2001).** Photosynthèse, Activité photochimique et tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum ; Desf*). Thèse de doctorat. Univ. Mentouri .Constantine.

**Zegrary. (2014).** Zegrary D. Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de sept génotypes de deux variétés de blé dur cultivé en Algérie [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Constantine 1, 2014, p 67.

**Zhao M.G., Chen L., Zhang L.L. & Zhang W.H. (2009).** Nitric reductase-dependent nitric oxide production is involved in cold acclimation and freezing tolerance in *Arabidopsis*. *Plant Physiol*, 2009, 151, 755-767.

**Zegrary. (2014).** Zegrary D. Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de sept génotypes de deux variétés de blé dur cultivé en Algérie [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Constantine 1, 2014, p 67.

### Webographi

(2) :[www.medatice-grenob](http://www.medatice-grenob)

## Résumé

Le blé dur est considéré comme une culture stratégique en Algérie. Toutefois, la croissance de cette culture et l'amélioration de son rendement sont limités par le manque d'eau et la température irrégulière. La sécheresse est l'un des facteurs les plus importants qui poussent la plante à développer des stratégies physiologiques et biochimiques pour pouvoir compléter ses fonctions et son cycle de vie.

L'accumulation de proline est l'un des mécanismes d'adaptation du blé dur. Grâce à nos études, nous avons constaté que la proline est synthétisée sous forme d'acide aminé et assemblée dans les organites végétaux lorsque la culture est exposée à un manque d'eau. La proline a un rôle dans le renforcement du système antioxydant et de lutte contre les dommages du stress.

**Mots clés :** *Blé dur (Triticum durum Desf), stress hydrique, proline, La sécheresse*

## Abstract

The durum wheat is one of the strategic agriculture in Algeria; however the development of this farming and improving its profitability is limited because of the scarcity of the water and the irrégulier temperature. Drought is one of the most important factor that make the plant develop physiological and biochemical strategies to be able to complete its functions and life cycle.

Proline accumulation is one of the adaptation mechanism in durum wheat. Through our studies, we found that proline is synthesized as an amino acid and assembled in plant organelles when the crop is exposed to water shortage. Proline has a role in strengthening the antioxidant system and fighting stress damage.

**Key words :** *Durum wheat (Triticum durum Desf), water stress, proline, Drought*

## المخلص

يعتبر القمح الصلب (T.d) زراعة إستراتيجية في الجزائر ومع ذلك فإن نمو هذه الزراعة وتحسين مرد وديها محدودة بسبب الإجهاد المائي ودرجة الحرارة الغير منتظمة. الجفاف هو من اهم العوامل التي تجعل النبات يطور استراتيجيات فيزيولوجية و بيوكيميائية ليستطيع اكمال وظائفه ودورة حياته.

كما يعتبر تراكم البرولين من ضمن آليات التأقلم عند القمح الصلب ، من خلال دراساتنا وجدنا انه يتم تصنيع البرولين كحمض اميني وتجميعه في عضيات النبات عند تعرض المحصول لنقص الماء يلعب البرولين دورا في تقوية نظام مضادات الاكسدة ومحاربة اضرار الاجهاد.

**الكلمات المفتاحية :** القمح الصلب , نقص المياه , الجفاف , البرولين.