



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

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة  
كلية علوم الطبيعة والحياة

**Département :** Ecologie et biologie végétale

**قسم :** ايكولوجيا و بيولوجيا النبات

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master

Domaine : Science de la nature et de la vie

Filière : Science Biologique

Spécialité : Biodiversité et physiologie végétale

**Intitulé :**

---

**Etude de caractères racinaires et morpho-phrénologiques de quelques  
variétés de blé soumis au stress hydrique cultivés dans le constantinois.**

---

**Présenté par :**  
**Bouhelit Mohamed Abd essamed et Aimen Kassah**

**Soutenu le :** 09/09/2020

**Jury d'évaluation :**

<b>Président :</b>	<b>BENLARIBI M.</b>	Professeur	Univ. Des Frères Mentouri - Constantine 1
<b>Rapporteur :</b>	<b>KARA Y.</b>	Professeur	Univ. Des Frères Mentouri - Constantine 1
<b>Examineur :</b>	<b>ZOGHMAR M.</b>	M.A.A	Univ. Des Frères Mentouri - Constantine 1

**Année universitaire**

**2019-2020**





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

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة  
كلية علوم الطبيعة والحياة

**Département :** Ecologie et biologie végétale

**قسم :** ايكولوجيا و بيولوجيا النبات

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master

Domaine : Science de la nature et de la vie

Filière : Science Biologique

Spécialité : Biodiversité et physiologie végétale

**Intitulé :**

---

**Etude de caractères racinaires et morpho-phrénologiques de quelques  
variétés de blé soumis au stress hydrique cultivés dans le constantinois.**

---

**Présenté par :**  
**Bouhelit Mohamed Abd essamed et Aimen Kassah**

**Soutenu le :** 09/09/2020

**Jury d'évaluation :**

<b>Président :</b>	<b>BENLARIBI M.</b>	Professeur	Univ. Des Frères Mentouri - Constantine 1.
<b>Rapporteur :</b>	<b>KARA Y.</b>	Professeur	Univ. Des Frères Mentouri - Constantine 1.
<b>Examineur :</b>	<b>ZOGHMAR M.</b>	M.A.A	Univ. Des Frères Mentouri - Constantine 1.

**Année universitaire**

**2019-2020**

## *Remerciements*

Nos vifs remerciements sont adressés premièrement à Monsieur KARA Y., Professeur à l'Université des Frères Mentouri - Constantine 1, pour avoir accepté de diriger et de suivre ce travail avec disponibilité, patience et bienveillance. Nous tenons à lui exprimer notre très grande gratitude.

Nos respects et nos remerciements à Monsieur BENLARIBI M., Professeur à l'Université des Frères Mentouri - Constantine 1, de nous avoir fait l'honneur de présider notre jury et d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Nous remercions également Madame ZOGHMAR M., Maître Assistante à l'Université des Frères Mentouri - Constantine 1, pour son aide précieuse, ses encouragements, ses conseils et pour avoir examiné ce travail.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail : Monsieur BAKA M., Professeur à l'Université des Frères Mentouri - Constantine 1. De même que Monsieur DJEROUNI A., Maître Assistant à l'Université des Frères Mentouri - Constantine 1.

Nous tenons également à remercier profondément tous nos amis qui n'ont jamais cessé de nous encourager et qui nous ont toujours soutenus dans les moments les plus difficiles.

## Résumé

Divers caractères phénologiques et morpho-physiologiques liés à la tolérance au stress hydrique (la date d'épiaison, la hauteur de la plante, la teneur chlorophylle totale, caractères racinaires) ont été étudiés chez quatre génotypes de blé d'origine diverses (deux génotypes de blé dur et deux génotypes de blé tendre) et à comportements agronomiques contrastés.

Les résultats ont montré que le stress hydrique a affecté de manière significative la quasi-totalité des paramètres mesurés. Les stratégies d'adaptation développées par chaque génotype ont été décrites.

La durée d'épiaison a permis de classer les génotypes en précoces et tardifs.

Les génotypes les plus tolérants au stress hydrique sont ceux à cycle de croissance court et à épiaison précoce.

Cette étude a permis de mettre en évidence la contribution du système racinaire riche en informations en particulier dans l'adaptation au déficit hydrique. Ceci suggère l'utilisation de ce paramètre comme critère de sélection pour améliorer la tolérance à la sécheresse.

Les variétés GTA, et FLORENCE AURORE ont été définies comme étant des variétés performantes et tolérantes au stress hydrique dans l'état actuel de nos connaissances.

**Mots clés :** Blé dur, blé tendre, déficit hydrique, sécheresse, tolérance, adaptation, système racinaire, paramètres phénologiques, paramètres morpho-physiologiques.

## Summary

Various phenological and morpho-physiological characteristics related to tolerance to hydric stress (date of heading, plant height, total chlorophyll content, root characteristics) were studied in four wheat genotypes of various origins (two durum wheat genotypes and two soft wheat genotypes) and with contrasting agronomic behavior.

The results showed that water stress significantly affected almost all the parameters measured. The adaptation strategies developed by each genotype were described.

The duration of heading made it possible to classify the genotypes into early and late genotypes.

The genotypes most tolerant to water stress are those with a short growth cycle and early heading.

This study highlighted the contribution of the root system, which is rich in information, particularly in the adaptation to water deficit. This suggests the use of this parameter as a selection criterion to improve drought tolerance.

The GTA and FLORENCE AURORE varieties have been defined as performing and water stress tolerant varieties in the current state of our knowledge.

**Keywords:** Durum wheat, soft wheat, water deficit, drought, tolerance, adaptation, root system, phenological parameters, morpho-physiological parameters.

## الملخص:

تمت دراسة العديد من الخصائص الفينولوجية والمرفوفزيولوجية المرتبطة بتحمل الإجهاد المائي (تاريخ الاسبال، طول النبات، محتوى الكلوروفيل الكلي، خصائص المجموع الجذري) عند أربعة أنماط وراثية من القمح (قمح الصلب وقمح لين) ذات تباين مختلف في سلوكها الزراعي.

أظهرت النتائج أن الإجهاد المائي أثر بشكل كبير على معظم المتغيرات المقاسة. تم وصف استراتيجيات التكيف التي طورها كل نمط وراثي.

استنادا الي فترة الاسبال قسمت الأنماط الوراثية المدروسة الى أنماط مبكرة وأخرى متأخرة الاسبال. الأنماط الوراثية القصيرة ومبكرة الاسبال كانت الأكثر تحملا للإجهاد المائي.

كشفت نتائج هذه الدراسة ان المجموع الجذري له دور كبير في التأقلم مع الاجهاد المائي ويمكن استخدامه كمعيار انتخاب للتحسين والتأقلم مع الجفاف.

النتائج المتحصل عليها تبين ان الصنف GTA والصنف FLORENCE AURORE اكثر تحملا للإجهاد المائي.

**الكلمات المفتاحية:** قمح صلب، قمح لين، اجهاد مائي، جفاف، تأقلم، مقاومة، مجموع جذري، خصائص فينولوجية، خصائص مرفوفزيولوجية.

# Liste des tableaux

<b>Tableau I<sub>1</sub></b> : Liste des plantes cultivées associées aux différents centres d'origine.....	6
<b>Tableau I<sub>2</sub></b> : Classification de Cronquist.....	10
<b>Tableau I<sub>3</sub></b> : Classification APG III.....	11
<b>Tableau II<sub>1</sub></b> : Liste de matériel végétal étudié, origines et pédigrée.....	25
<b>Tableau III<sub>1</sub></b> : Variation de la date d'épiaison des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	31
<b>Tableau III<sub>2</sub></b> : Variation de la hauteur de la plante (HP) des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	31
<b>Tableau III<sub>3</sub></b> : Variation du nombre de talle herbacée des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	32
<b>Tableau III<sub>4</sub></b> : Variation du nombre de talle épi des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	32
<b>Tableau III<sub>5</sub></b> : Variation de la longueur du col de l'épi (LCE) des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	33
<b>Tableau III<sub>6</sub></b> : Variation de la longueur de l'épi (LE) des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	33
<b>Tableau III<sub>7</sub></b> : Variation de la longueur des barbes (LB) des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	34
<b>Tableau III<sub>8</sub></b> : Variation de la teneur en chlorophylle totale (TCT) des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	34
<b>Tableau III<sub>9</sub></b> : Variation de la profondeur maximale racinaire (PMR) des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	35
<b>Tableau III<sub>10</sub></b> : Variation du volume racinaire (VR) des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	35
<b>Tableau III<sub>11</sub></b> : Variation de la date d'épiaison des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	36
<b>Tableau III<sub>12</sub></b> : Variation de la hauteur de la plante (HP) des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	37
<b>Tableau III<sub>13</sub></b> : Variation du nombre de talle herbacé des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	37

<b>Tableau III<sub>14</sub></b> : Variation du nombre de talle épi des deux génotypes étudiés en fonction de de deux régimes hydriques.....	38
<b>Tableau III<sub>15</sub></b> : Variation de la longueur du col de l'épi (LCE) des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	38
<b>Tableau III<sub>16</sub></b> : Variation de la longueur de l'épi (LE) des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	39
<b>Tableau III<sub>17</sub></b> : Variation de la longueur de la languette des barbes (LB) des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	39
<b>Tableau III<sub>18</sub></b> : Variation de la teneur en chlorophylle totale (TCT) des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	40
<b>Tableau III<sub>19</sub></b> : Variation de La profondeur maximale racinaire (PMR) des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	40
<b>Tableau III<sub>20</sub></b> : Variation du volume racinaire (VR) des deux génotypes étudiés en fonction de deux régimes hydriques.....	41

## Listes des Figures

<b>Figure 1 :</b> Carte de la diffusion de la culture du blé.....	5
<b>Figure 2 :</b> Les huit centres d'origine .....	6
<b>Figure 3 :</b> Le croissant fertile.....	7
<b>Figure 4 :</b> Phylogénie des blés.....	9
<b>Figure 5 :</b> Morphologie du blé .....	13
<b>Figure 6 :</b> Epi de blé dur et de blé tendre.....	15
<b>Figure 7 :</b> Echelle de Zadok décrivant le cycle de développement du blé.....	17
<b>Figure 8 :</b> Dispositif expérimental (partie aérienne).....	26
<b>Figure 9 :</b> Le chlorophylle mètre SPAD 502.....	28
<b>Figure 10 :</b> Dispositif expérimental (partie racinaire).....	29

## Liste des abréviations

<b>SDH</b> :	Sans déficit hydrique
<b>ADH</b> :	Avec déficit hydrique
<b>DE</b> :	Date d'épiaison
<b>HP</b> :	Hauteur de la plate
<b>NTH</b> :	Nombre de talle herbacée
<b>NTE</b> :	Nombre de talle épi
<b>LE</b> :	Longueur de l'épi
<b>LCE</b> :	Longueur du col de l'épi
<b>LB</b> :	Longueur des barbes
<b>PMR</b> :	Profondeur maximal racinaire
<b>VR</b> :	Volume racinaire
<b>Cm</b> :	centimètre
<b>Cm<sup>3</sup></b> :	centimètre cube

# *Sommaire*

**Résumés**

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Liste des abréviations**

**Introduction** ..... 2

## **Chapitre I : Etude bibliographique**

1. Généralités sur le blé .....	5
1.1. Historique, origine géographique et génétique .....	5
1.2. Classification botanique .....	10
1.3. Classification selon le milieu de culture .....	11
a. Les blés d'hiver .....	11
b. Les blés de printemps .....	11
c. Les blés alternatifs .....	11
1.4. Morphologie de la plante .....	11
1.4.1. Le caryopse .....	11
1.4.2. Appareil végétatif .....	14
a. Partie souterraine .....	14
b. Partie aérienne .....	14
1.4.3. Appareil reproducteur .....	14
1.5. Le cycle biologique du blé .....	15
1.5.1. Période végétative .....	15
a. La phase semis-levé .....	15
b. La phase levée début tallage .....	15
c. La phase début tallage-début montaison .....	16
1.5.2. Période reproductive .....	16
a. La phase de formation des ébauches (primordia) d'épillets .....	16
b. La phase de spécialisation florale .....	16
c. La phase méiose-fécondation .....	16
1.5.3. Période de maturation .....	16
a. La phase de multiplication cellulaire .....	16
b. La phase de remplissage du grain .....	17
c. La phase de dessiccation .....	17
2. La sécheresse .....	18
2.1. La notion d'adaptation .....	18

2.2. Les caractères d'adaptation à la sécheresse .....	19
2.2.1. Les caractères phénologiques : la précocité .....	19
2.2.2 Les caractères morpho-physiologiques .....	20
2.2.2.1. Amélioration de l'absorption de l'eau .....	20
2.2.2.2. Réduction des pertes en eau .....	21
a. Régulation stomatique .....	21
b. Réduction de la surface foliaire .....	21
c. Pilosité, glaucescence et cires .....	21
2.2.2.3. Capacité à remobiliser les assimilats stockés .....	22
a. Hauteur de la plante .....	22
b. Longueur du col d'épi .....	22
c. Longueur des barbes .....	22
2.2.2.4. Maintien de la turgescence .....	22
a. La teneur relative en eau .....	22
b. L'ajustement osmotique .....	23
2.2.2.5. Maintien de l'activité de la photosynthèse .....	23

## **Chapitre II : Matériel et méthodes**

1. Matériel végétal .....	25
2. Conduite de l'essai .....	25
2.1. Lieu de l'expérimentation .....	25
2.2. L'expérimentation .....	26
2.2.1. Les paramètres morpho-physiologiques de la partie aérienne .....	26
2.2.1.1. Les mesures effectuées .....	27
2.2.2. Les paramètres d'enracinement .....	28

## **Chapitre III : Résultats et discussion**

1. Résultats .....	31
1.1. Cas des blés dur .....	31
1.1.1. La date d'épiaison .....	31
1.1.2. Les paramètres morpho-physiologiques de la partie aérienne .....	31
a. La hauteur de la plante .....	31
b. Le nombre de talle par plante .....	32
c. La longueur du col de l'épi .....	32

d.	La longueur de l'épi .....	33
e.	La longueur des barbes .....	33
f.	La teneur en chlorophylle totale (TCT).....	34
1.1.3.	Les paramètres d'enracinements.....	34
a.	La profondeur maximale racinaire (PMR) .....	34
b.	Le volume racinaire (VR).....	35
1.2.	Cas des blés tendre .....	36
1.2.1.	La date d'épiaison.....	36
1.2.2.	Les paramètres morfo physiologiques de la partie aérienne.....	36
a.	La hauteur de la plante .....	36
b.	Le nombre de talle par plante.....	37
c.	La longueur du col de l'épi .....	38
d.	La longueur de l'épi .....	38
e.	La longueur des barbes .....	39
f.	La teneur en chlorophylle totale (TCT).....	39
1.2.3.	Les paramètres d'enracinements.....	40
a.	La profondeur maximale racinaire (PMR) .....	40
b.	Le volume racinaire (VR).....	40
2.	Discussion .....	42
	Conclusion .....	47
	Références bibliographique.....	48

# *Introduction*

### Introduction

La demande en matière de céréales devrait augmenter à l'avenir à mesure que la population mondiale augmente. Ainsi, avec une population mondiale estimée à 9,6 milliards d'ici 2050, la production de blé aura une influence décisive sur la sécurité alimentaire et l'économie mondiale dans les décennies à venir (USDA Foreign Agricultural Service, 2014).

Les céréales et leurs dérivés constituent l'alimentation de base dans les pays maghrébins, à titre d'exemple en Algérie la superficie emblavée annuellement en céréales d'hiver est comprise entre 3 et 3,5 millions d'hectares dont les deux tiers sont localisés dans des zones à faibles potentialités agro-climatiques (MADR, 2012). Le blé constitue la partie majeure de l'alimentation humaine et occupe de grandes superficies à l'échelle nationale soit 43,3% de la totalité des terres à vocation agricole (Houassine, 2004). Cependant, malgré l'augmentation de sa production qui fluctue entre 1,35 millions de tonnes (2000-2008) à 2,7 millions de tonnes (2010-2016) ; cette production quoi qu'en apparence importante, n'arrive pas à couvrir les besoins d'une population qui ne cesse d'augmenter au fil des ans estimée à 8 millions de tonnes par an (Benbelkacem, 2013 ; FAOSTAT, 2017). Le faible niveau des rendements explique en grande partie cette insuffisance en matière de production, alors que les superficies allouées à cette culture varient peu ou pas dans le temps (Benbelkacem, 2013).

Les processus impliqués dans l'élaboration du rendement d'une culture sont influencés par deux types de facteurs : les facteurs génétiques (intrinsèques à la plante) et les facteurs environnementaux. Les stress environnementaux abiotiques affectant une culture peuvent occasionner des pertes de rendements considérables. Ces contraintes environnementales peuvent être divisées principalement en trois groupes selon leur nature : la composition en éléments minéraux du sol, les contenus hydriques du sol et de l'air et les chocs thermiques. Alors que les contraintes liées à la composition minérale des sols sont bien caractérisables et relativement contrôlables, il est plus difficile de classifier les stress hydriques et thermiques qui peuvent survenir de façon imprévisible (Belhassen et *al.*, 1995).

La sécheresse induit ces deux derniers types de stress qui peuvent intervenir seul ou en interaction, de façon continue ou intermittente, précocement ou tardivement dans la saison (Belhassen et *al.*, 1995).

En Algérie, la rareté et le caractère irrégulier des précipitations (200 à 600 mm/an) peuvent être les facteurs d'une perte partielle ou totale de production, en particulier dans le cas des céréales.

La situation est particulièrement grave où les rendements sont faibles et ne permettent pas de pourvoir à la totalité des besoins alimentaires locaux (Kara et Bellkhiri, 2011).

De par son rôle dans la photosynthèse, le transport et l'accumulation des ions, la multiplication et le grandissement cellulaire, l'eau joue un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes cultivées (Boyer et McPherson, 1975). Elle constitue le facteur limitant majeur des rendements. Les pertes de production dues à un déficit hydrique dépassent de loin les pertes attribuables à toutes les autres contraintes réunies (Kemar, 1980).

Les résultats obtenus en matière d'amélioration génétique pour la tolérance à la sécheresse montrent les nombreuses difficultés pour la sélection uniquement basée sur le rendement, car il s'agit d'un caractère fortement influencé par l'environnement et peu héritable (Kara et Bellkhiri, 2011), ce postulat a conduit les chercheurs à développer des approches plus analytiques et plus explicatives basées sur le principe de caractères phéno-morpho-physiologiques de tolérance à la sécheresse chez les variétés productives. De ce fait, l'étude des caractères phénologiques et morpho-physiologiques d'adaptation s'avère nécessaire en vue de définir une combinaison de caractères à sélectionner pour améliorer la productivité et le rendement (Acevedo, 1987 ; Blum, 1989 ; Monneveux, 1991 ; Monneveux et This, 1995).

C'est dans cette optique que s'inscrit globalement notre travail. La présente étude vise à étudier la variabilité génétique et la performance de quelques génotypes de blé soumis au stress hydriques afin d'en dégager les variétés qui répondent au mieux à cet objectif. Pour cela deux essais ont été réalisés sous conditions semi-contrôlées :

- Le premier essai ayant trait principalement à la partie aérienne, consiste à étudier les caractéristiques phénologiques et morpho-physiologiques d'adaptation au déficit hydrique de quelques variétés de blé.
- Le second essai porte sur les caractères d'enracinement nous envisageons d'identifier quelque éventuelles problématiques essentielles à une meilleure compréhension du rôle des racines dans l'adaptation au déficit hydrique.

Le mémoire est présenté en trois chapitres principaux. Le chapitre I est une synthèse bibliographique, qui tente de résumer les principaux mécanismes d'adaptation à la sécheresse chez les céréales en général et le blé en particulier. Le deuxième chapitre porte sur la description du matériel végétal, dispositif expérimental, les conditions de culture et enfin les techniques utilisées. Le chapitre III regroupe les résultats et discussions.

# *Chapitre I : Etude bibliographique*

# Chapitre I : Etude bibliographique

## 1. Généralités sur le blé

### 1.1. Historique, origine géographique et génétique

Le blé est l'une des premières espèces cueillies et cultivées par l'homme au proche Orient, il y a environ 10.000 à 15.000 ans avant J.C (Hervé, 1979). Des restes de blés, diploïde et tétraploïde, ont été découverts sur des sites archéologiques au proche Orient (Harlan, 1975).

Le blé selon plusieurs auteurs, serait une plante anciennement cultivée et serait à la base de l'alimentation des premières civilisations humaines. Les formes sauvages identifiées de ces diverses espèces (*Triticum monococcum* et *Triticum dicoccum*) sont originaires du proche et moyen Orient.

A partir de ce centre d'origine, la culture du blé s'est diffusée entre 5000 et 6000 ans avant J.C vers le Nord-Ouest et le Nord du Levant. Le principal courant vers l'Europe démarra à partir du bassin anatolien vers la Grèce selon deux routes : la première, vers les plaines côtières du nord du Bassin méditerranéen et la seconde se dirigea à travers les Balkans, via la vallée du Danube vers la vallée du Rhin. De là, le blé fut diffusé dans le Nord, le Centre et l'Ouest de l'Europe (Bonjean, 2000 ; Feldman, 2001) (Figure 1).

Dans le même temps, il diffuse vers l'Asie et l'Afrique. Son introduction en Amérique n'est que très récente (1529) par les Espagnols et plus tard encore en Australie par les Anglais en 1788 (Bonjean, 2001) (Figure 1).

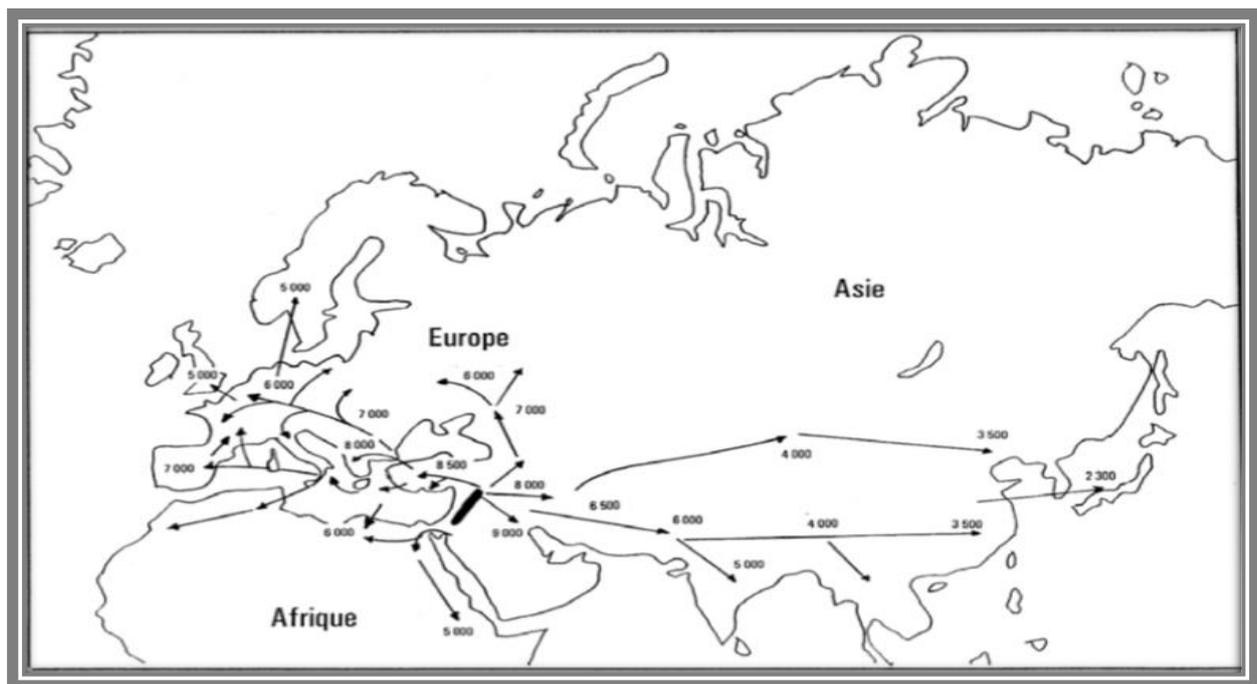
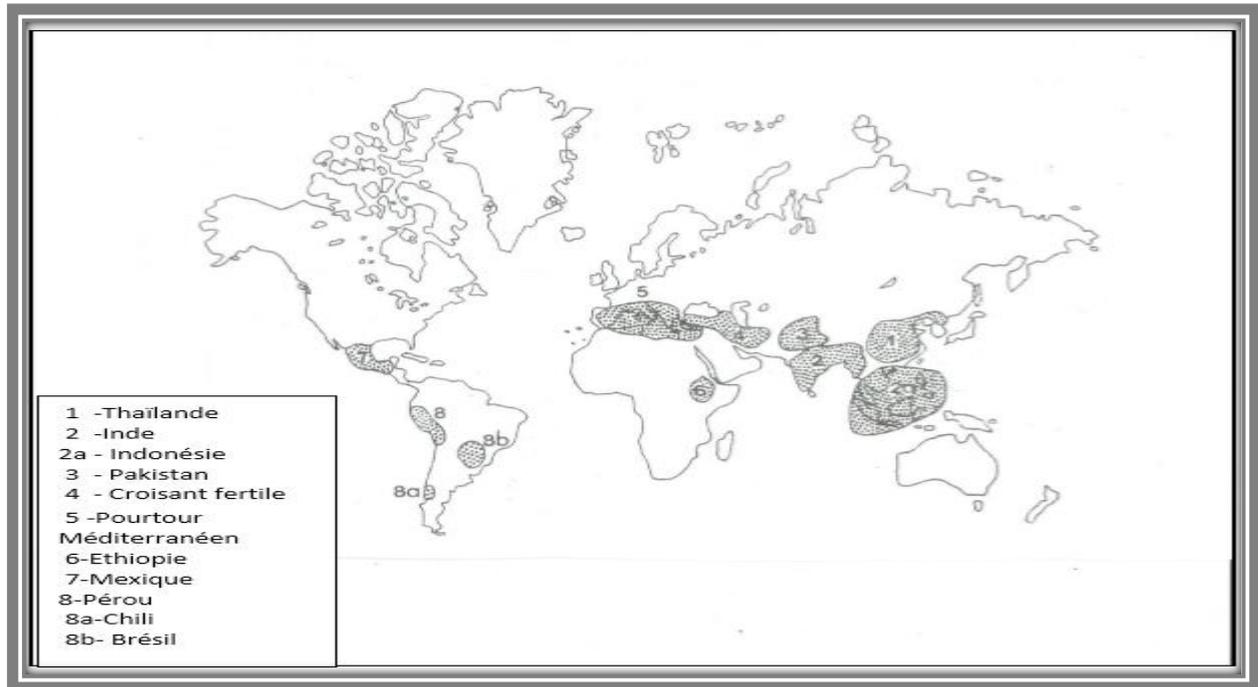


Figure 1 : Carte de la diffusion de la culture du blé (Bonjean, 2001).

Vavilov (1926) a proposé une liste des céréales associées à huit centres d'origine (Tableau I<sub>1</sub> et Figure 2).



**Figure 2 : Les huit centres d'origine selon Vavilov d'après (Harlan, 1975,1987).**

**Tableau I<sub>1</sub> : Liste des plantes cultivées associe aux différents centres d'origine (Vavilov, 1926).**

Centre 2-2a (Inde,Indonésie)	Le riz
Centre 4 (Moyen Orient)	Blé engrain, blé emmer, seigle.
Centre 6 (Ethiopie)	Orge, millet africain, millet perlé
Centre 7 (Mexique)	Mais

Vavilov (1934) fait intervenir pour la première fois l'origine géographique du blé dans la classification en distinguant nettement deux sous espèces :

- Sous espèce *Europeum* Vav. qui se trouve dans les Balkans et la Russie ;
- Sous espèce *Mediterraneum* Vav. rencontrée dans le bassin méditerranéen.

Grignac (1965) élargit cette classification en établissant un compromis entre critères d'origine géographique et description botanique .Cette classification se justifie par le fait qu'à partir du centre d'origine qui est le moyen Orient où coexistent les deux formes parentales.

Grignac (1977) subdivise alors l'espèce en trois sous-espèces :

- La sous-espèce *Europeum* Vav ;
- La sous-espèce *Syriacum* Flaksb;
- La sous-espèce *Mediterraneum* Vav.

Selon plusieurs études faites sur l'origine des céréales et en particulier le blé par de nombreux botanistes (Orlov ; Vavilov ; Feldman ; Gueorguiev et Arifi ; Hamed ; Bonjean et Picard) période 1934-1990 :

- les premières évidences archéologiques de récolte des céréales datent d'un peu moins de 8000 ans avant J.C. et se trouvent au moyen - Orient dans le croissant fertile, zone couvrant la Palestine, la Syrie, et l'Irak et une grande partie de l'Iran (Feldman, 1976) in Mouellef (2010) (Figure 3) ;
- le centre d'origine du blé est le Tigre et l'Euphrate, puis l'espèce s'est étendue en Egypte, en Chine, en Europe et en Amérique (Hamed, 1979) ;
- Le Maghreb est considéré comme un centre d'origine secondaire du blé (Orlov et Vavilov in : Gueorguiev et Arifi, 1978) ;
- Le monde Romain a largement contribué à la diffusion des céréales du bassin méditerranéen vers l'Europe centrale et l'Europe de l'Ouest (Bonjean et Picard, 1990).

Ce qui corrobore l'idée selon laquelle le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie et de l'Irak et par la suite il s'est propagé à plusieurs centres secondaires.



Figure 3 : Le croissant fertile (www.pinterest.fr).

Selon Monneveux (1991), chaque centre secondaire donna naissance à des groupes de variétés botaniques aux caractéristiques phénologiques, morphologiques et physiologiques particulières.

L'évolution du blé s'est donc produite dans de nombreux écosystèmes de manière relativement indépendante jusqu'au 19<sup>ème</sup> siècle. A ce moment l'amélioration génétique du blé dans les populations cultivées et par hybridation s'est développée, aboutissant à un brassage important des différentes origines du blé (INRA, 2010).

Rechercher l'origine génétique du blé, revient à évoquer l'ensemble des blés historiquement cultivés, diploïdes, tétraploïdes et hexaploïdes, et à identifier leurs ascendants sauvages ainsi que leurs sites de domestication. Toutefois, cette question n'est pas facile car d'une part, il existe de considérables modifications morphophysologiques entre les blés cultivés actuels et leurs ancêtres et d'autre part, seul un petit nombre d'entre eux est actuellement cultivé dans les mêmes territoires que ceux où ils ont été domestiqués (Bonjean, 2001).

Les premiers travaux de cytogénétique (Sakamura, 1918) ont abouti à la détermination du comportement et le nombre chromosomique des différents blés. Les blés cultivés et les espèces apparentées ont alors été classés par les botanistes en trois groupes principaux :

➤ **Le premier groupe :**

Les blés diploïdes ( $2n = 14$ ), groupe de *Triticum monococcum*, génome (AA)

➤ **le deuxième groupe :**

Les blés tétraploïdes ( $2n = 28$  chromosomes), groupe de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Ayant pour base les génomes (AABB).

➤ **Le troisième groupe :**

Les blés hexaploïdes ( $2n = 42$  chromosomes) ou groupe de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) Avec les génomes (AABBDD).

Des études ultérieures de cytogénétique mirent en évidence que les différents blés formaient une série allopolyploïde avec  $X = 7$  et permirent d'en préciser les relations (Feldman et al., 1995)

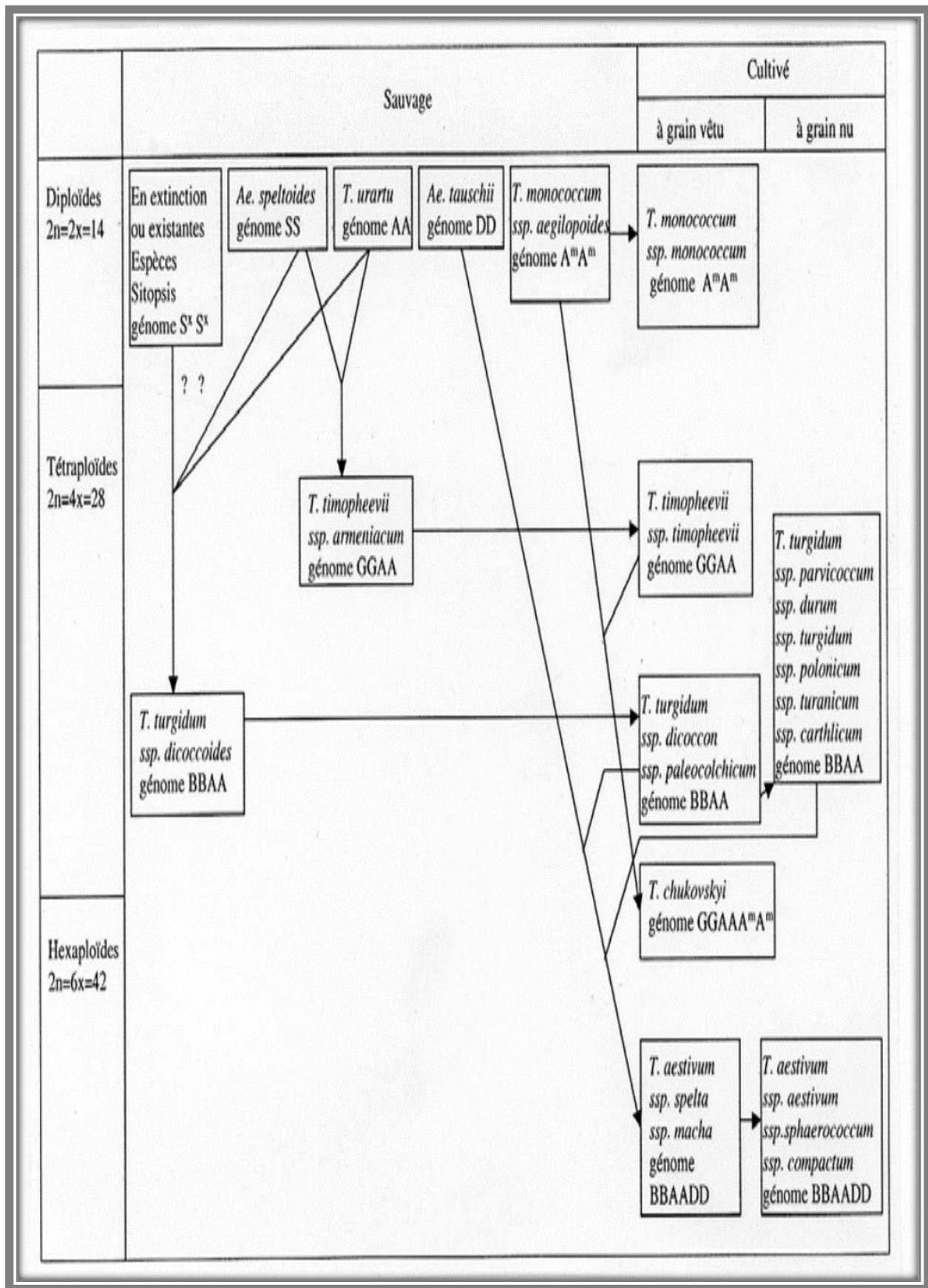


Figure 4 : Phylogénie des blés (Feldman, 2001)

En effet, les génomes de *Triticum urartu* (génomes AA) et d'un autre *Triticum* (génomes BB) probablement proches d'*Aegilops speltaoides* s'expriment dans *Triticum dicoccoïdes* évolue en *Triticum dicoccum* ou amidonnier cultivé (génomes AABB). L'ancêtre commun du blé dur et du blé tendre.

Ainsi, c'est seulement dans la seconde moitié du 19<sup>ème</sup> siècle qu'il est devenu clair pour la communauté scientifique qu'il n'existait pas d'ancêtres sauvages des blés hexaploïdes et que ces blés cultivés résultaient d'hybridation spontanée entre blés tétraploïdes cultivés et espèces sauvages diploïdes (Bonjean, 2001).

Très probablement, le blé hexaploïde dont le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) résulte de l'hybridation entre blé tétraploïde, amidonnier cultivé (*Triticum dicoccum*) à génome (AABB) et la graminée sauvage, *Aegilops taushii* (génome DD) (McFadden et Sears, 1946 ; Bonjean, 2001).

## 1.2. Classification botanique

Le blé est une monocotylédone (ancienne appellation) monocotylée (récente appellation) de la famille des *Poaceae* appartenant au genre *Triticum*. Plante annuelle produit un fruit sec indéhiscents, le caryopse.

**Tableau I<sub>2</sub> : Classification de Cronquist (1981).**

<b>Classification</b>	<b>Blé dur</b>	<b>Blé tendre</b>
<b>Règne</b>	Plantae	
<b>Sous-règne</b>	Tracheobionta	
<b>Division</b>	Magnoliophyta	
<b>Classe</b>	Liliopsida	
<b>Sous-classe</b>	Commelinidae	
<b>Ordre</b>	Cyperales	
<b>Famille</b>	Poaceae	
<b>Genre</b>	<i>Triticum</i>	
<b>Espèce</b>	<i>Triticum durum</i> Desf.	<i>Triticum aestivum</i> L.

Tableau I<sub>3</sub> : Classification APG III (2009)

Classification	Blé dur	Blé tendre
Règne	Plantae	
Clade	Angiospermes	
Clade	Monocotyledones	
Clade	Commelinedées	
Ordre	Poales	
Famille	Poaceae	
Genre	<i>Triticum</i>	
Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf.	<i>Triticum aestivum</i> L.

### 1.3. Classification selon le milieu de culture

Hanson et *al.* (1982) in Soltner (2005) classent les blés selon le milieu de culture en trois groupes :

- a. **Les blés d'hiver** : Caractérisés par un cycle de développement variant entre 4 et 7 mois. Implantation en automne habitat régions méditerranéennes, climat tempérées. Ces blés subissent une vernalisation pendant des semaines à des températures de 1 à 40 C°.
- b. **Les blés de printemps** : Ont un cycle de croissance de 3 à 6 mois, n'ont pas de périodes inactives et ne peuvent survivre cas de très basses températures. Leur épiaison dépend essentiellement de l'allongement et de la durée du jour.
- c. **Les blés alternatifs** : Ils sont intermédiaires d'un point de vue tolérance au froid entre les blés précédemment cités.

### 1.4. Morphologie de la plante

#### 1.4.1. Le caryopse (Figure 5)

Le fruit du blé est un caryopse considéré comme grain et fruit sec indéhiscant (parois soudées à la graine). La coupe du grain fait apparaitre trois parties :

- a. Les enveloppes représentent environ 15% du poids du grain, comprennent :
  - Le péricarpe, enveloppe du fruit ;
  - Le tégument de la graine (ou testa) et le tégument du nucelle ;
  - L'assise protéique (60 % du poids des enveloppes), constituée de cellules à aleurone, riches en protéines.
- b. Le germe, qui représente 1,4% du grain, comprend :

- Le cotylédon ou scutellum, séparé de l'amande par une assise diastasique destinée à la digestion future de l'albumen au profit de la plantule ;
  - La plantule, avec sa gemmule recouverte d'un étui, le coléoptile, sa tigelle courte, et sa radicule, recouverte d'un étui, la coléorhize.
  - Le germe est très riche en matières grasses, matières azotées, vitamines A, E et B.
- c. L'albumen, ou amande, qui représente environ 85% du poids du grain, est composé de 70% d'amidon et de 7% de gluten environ.

Chez le blé tendre, l'albumen est farineux alors que chez le blé dur l'albumen est corné et vitreux (Soltner, 2005).

Le blé dur et tendre sont des inflorescences indéfinie (épi), de formule florale typique trimère (Figure 5).

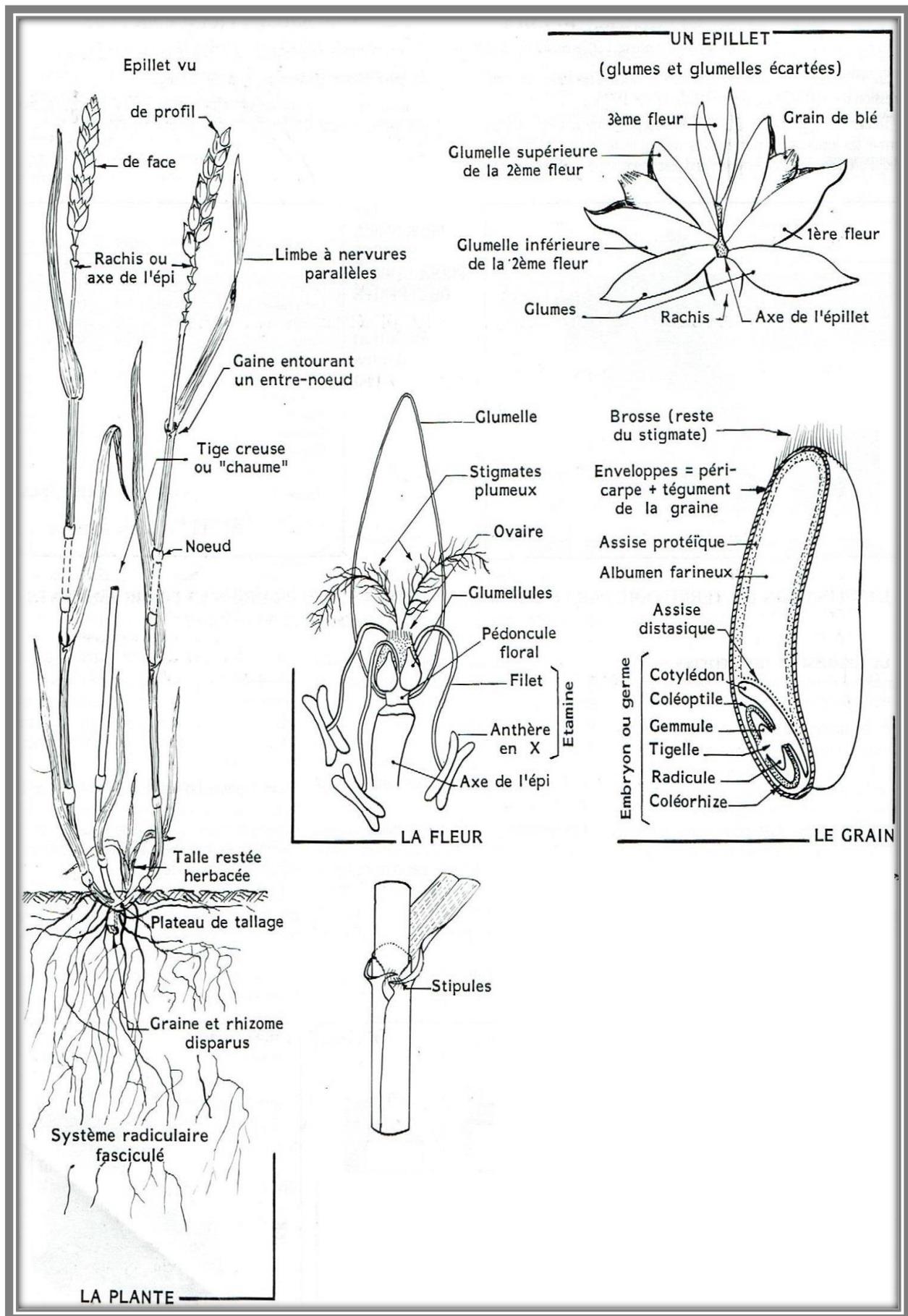


Figure 5 : Morphologie du blé selon Soltner (2005).

## 1.4.2. Appareil végétatif

### a. Partie souterraine

- **Système racinaire fasciculé** ou système de racines séminales : Ce système fonctionne de la germination jusqu'à la maturité. Les racines de ce système sont au nombre de six et rarement sept (Grignac, 1965 ; Benlaribi et *al.*, 1990 et Hazmoune, 2006). Il est secondé ou fortifié ensuite par le système racinaire nodal (adventif) à partir du début tallage.
- **Système de racines adventives** : Il assure la nutrition et le développement de la plante en parallèle du système séminal à partir du stade tallage. Ses racines sont au moins au nombre de deux par talle formées.

### b. Partie aérienne

La tige est cylindrique, formée d'entre-nœuds séparés par des nœuds, plus ou moins saillants. Les nœuds sont des zones méristématiques à partir desquelles s'allongent les entre-nœuds qui sont généralement creux (Benlaribi, 1990).

## 1.4.3. Appareil reproducteur

L'inflorescence ou épi est constituée d'épillets multi floraux disposés le long d'un axe solide appelé rachis et se terminent par les barbes (généralement absentes chez le blé tendre). Le nombre d'épillets et de fleurs est variable selon l'espèce et la variété (Figure 6).

L'épillet est enveloppé dans deux glumes et chaque fleur est hermaphrodite protégée par deux glumelles (inférieure et supérieure). Elle comprend un ovaire possédant un seul ovule constitué d'un stigmate divisé en deux plumules et de trois étamines (Figure 5).



**Figure 6 : Epi de blé dur et de blé tendre (Zerafa, 2017).**

La fécondation a lieu à l'intérieur des glumelles avant que les étamines n'apparaissent à l'extérieur. Cette caractéristique contribue largement à la conservation de la pureté variétale de l'espèce dans la mesure où il s'agit des plantes autogames (Simmond, 1974).

## **1.5. Le cycle biologique du blé**

Plusieurs auteurs ont décrit le cycle de développement des céréales en le décomposant en deux périodes ; une période végétative et une période reproductrice. D'autres considèrent que la maturation constitue une troisième période (Moule, 1980 ; Gettouche, 1990).

### **1.5.1. Période végétative**

Toute semence mise en terre ne peut germer que si quelques conditions sont réunies ; la graine doit être vivante et mûre. Le sol doit fournir à la graine ; l'eau, l'oxygène, et la chaleur nécessaires.

#### **a. La phase semis-levé**

Au cours de cette phase on assiste à la germination : Sortie des racines séminales et croissance du coléoptile. La levée correspond à l'apparition de la première feuille qui traverse le coléoptile à la surface du sol.

#### **b. La phase levée début tallage**

Cette phase s'amorce à partir de l'expansion de la première feuille et s'étend progressivement jusqu'à la quatrième feuille. Le début du tallage est marqué par l'apparition de l'extrémité de la première feuille de la talle primaire puis d'autres talles naissent

successivement à l'aisselle de la 2eme ,3eme, 4eme... feuille de la tige principale ou maître – brin. L'ensemble restant court noué, formant un plateau de tallage situé juste au niveau du sol.

**c. La phase début tallage-début montaison**

Les talles primaires peuvent ensuite émettre des talles secondaires, les quelles émettent des talles tertiaires... etc (Moule, 1980 ; Belaid, 1986 et Gate, 1995). La fin tallage correspond à la fin de la période végétative et marque le début de la période reproductrice, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Gate, 1995).

**1.5.2. Période reproductive**

**a. La phase de formation des ébauches (primordia) d'épillets**

Elle est caractérisée par :

- la formation des ébauches d'épillets, la spécialisation florale et la méiose- fécondation. Elle se manifeste, à partir du stade épi à 1 cm, par l'élongation du premier entre- nœud. Ce stade est repérable une fois l'ébauche de l'épi du maître-brin atteint 1cm de hauteur à partir du plateau de tallage (Gate, 1995).

Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieure de la gaine de la feuille étendard qui gonfle (stade gonflement).

**b. La phase de spécialisation florale**

Elle est caractérisée par la différenciation des pièces florales (glumelles inférieures puis supérieures, étamines, stigmates). Puis par la réalisation de la méiose pollinique.

**c. La phase méiose-fécondation**

Elle est caractérisée par l'épiaison qui se détermine par l'apparition de l'épi hors de la gaine de la dernière feuille. Les épis dégainés fleurissent généralement entre 4 et 8 jours après l'épiaison (Bahlouli et *al.*, 2005).

**1.5.3. Période de maturation**

**a. La phase de multiplication cellulaire**

Cette phase se compose de trois étapes successives, il y a une augmentation rapide du volume et du poids de grain en eau et en matière sèche, par l'intermédiaire de la multiplication des cellules du jeune grain encore vert (Geslin et Jonard, 1948 in : Mazouz, 2006).

**b. La phase de remplissage du grain**

Cette phase est caractérisée par la migration des substances de réserves vers le grain (Les assimilés proviennent de la photosynthèse de la feuille étendard et du transfert des substances de réserves stockées dans le col de l'épi). La quantité d'eau contenue dans le grain tend à se stabiliser.

**c. La phase de dessiccation**

Le grain perd son humidité par phénomène naturel de déshydratation qui marque la fin de la maturation. Le grain devient alors pâteux, puis dur et prend une couleur jaune (Soltner, 1988).

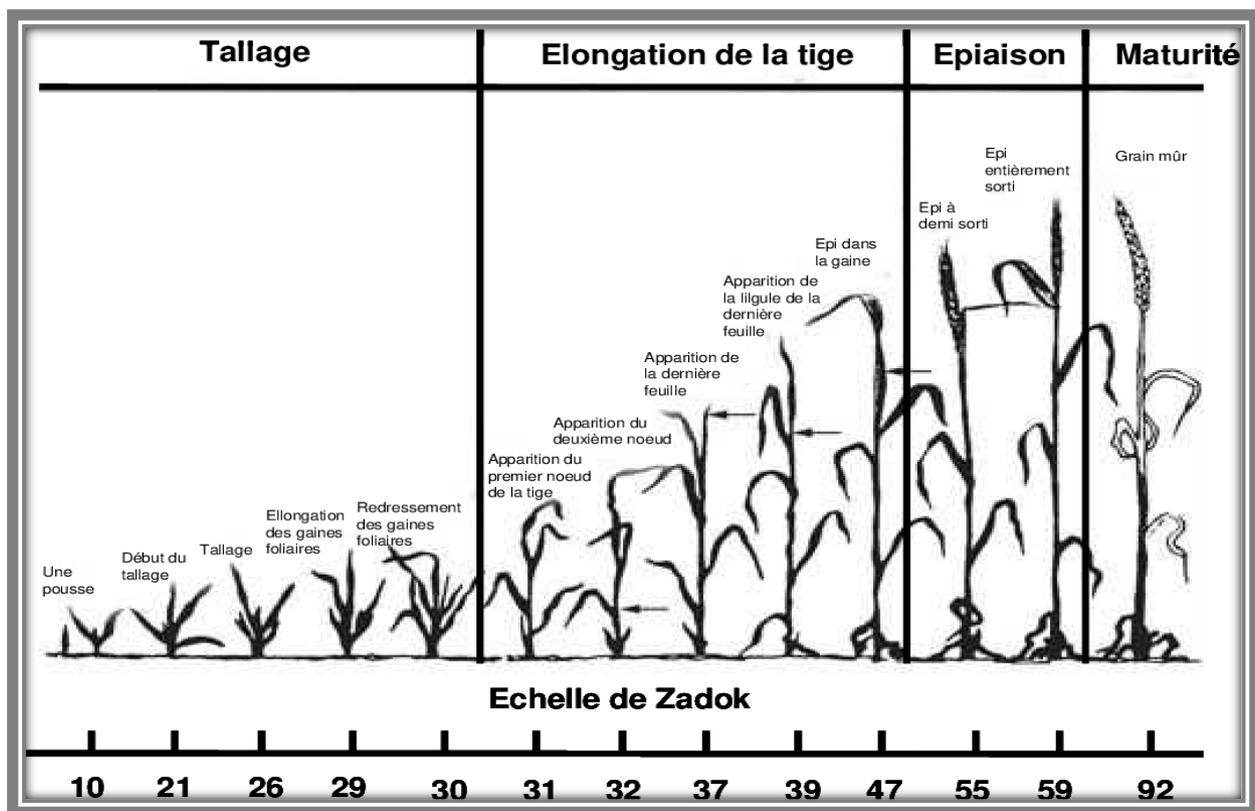


Figure 07 : Echelle de Zadok décrivant le cycle de développement du blé (Zadoks et al., 1974).

**2. La sécheresse**

La sécheresse est un évènement météorologique souvent défini en termes relatifs (Turner, 2003). Dans les régions tempérées du monde, une sécheresse peut s'étendre pour une période dépassant les deux semaines sans précipitation. Alors que dans les régions semi-arides avec des saisons sèches et humides clairement définies, la sécheresse est généralement définie comme une

absence de précipitations pour une période assez longue capable de causer un épuisement de l'humidité du sol et un endommagement de la production agricole.

L'eau est un élément vital pour le développement et la survie des plantes, constitue aussi une source alimentaire directe car la grande partie de l'hydrogène et de l'oxygène des constituants de la matière sèche provient de cette eau. Les différents organes de la plante (racine, tige et feuille) renferment entre 80 et 90 % d'eau d'imbibition (Belhassen et *al.*, 1995). L'eau transpirée est remplacée régulièrement par de l'eau provenant du sol par absorption racinaire. Lorsque l'absorption ne peut plus satisfaire la demande de la transpiration, le stress hydrique s'installe alors (Levitt, 1980).

La sécheresse ou déficit hydrique est un phénomène courant durant le cycle de développement des plantes en particulier le blé. Il affecte différemment la plante selon le stade végétatif où il survient :

- Au stade tallage, il réduit le nombre de talles herbacées (Black, 1970 ; zoghmar, 2019).
- A la montaison, il provoque un arrêt de croissance des tiges. Il s'ensuit une diminution du nombre de talles fertiles dont la conséquence est une réduction du nombre de grains par m<sup>2</sup> (notamment par augmentation du taux d'avortement des épillets et l'induction de stérilité mâle) (Debaeke et *al.*, 1996).
- Si la sécheresse survient durant les deux dernières semaines précédant l'épiaison (post-anthèse), elle peut réduire le nombre de grains par épillet (Fisher, 1973 ; kara, 2000 ; zoghmar, 2019).
- 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/ou de la durée de remplissage et par voie de conséquence réduit la taille de graine (échaudage) phénomène qui affecte le rendement potentiel dans le bassin méditerranéen en particulier les zones semi-aride (constantinois) (Triboï, 1990 ; Gate, 1995 et Kara, 2000).

### 2.1 La notion d'adaptation

L'adaptation au milieu est un phénomène essentiel chez les céréales qui ne possèdent pas la capacité de se mouvoir. L'adaptation est aussi essentielle pour que la culture puisse s'exprimer et produire tant soit peu ou à la limite survivre et se reproduire (Papadakis, 1938).

La notion d'adaptation se confond parfois avec celle de la résistance et de tolérance au stress. En fait, l'adaptation n'est que la résultante de la tolérance aux contraintes. Une plante adaptée est

donc celle qui tolère ou résiste à un stress donné et réussit à produire à un niveau satisfaisant par rapport à une autre plante qui sera dite non adaptée (Ceccarelli et *al.*, 1992, Fellah et *al.*, 2002).

Levitt (1980), mentionne que la résistance peut prendre trois formes distinctes :

- **L'esquive ou échappement** à la contrainte est l'un des moyens qui permet à la plante de réduire les effets néfastes du stress hydrique en évitant que celui-ci ne se produise au cours du cycle de développement et en particulier pendant les phases les plus sensibles de la céréale (Turner, 1979).

Les variétés qui se distinguent par cette stratégie, se développent en dehors de la période de contrainte intense, grâce à la modulation du cycle de développement pour l'adapter à la situation prévalent (Dakheel et *al.*, 1993, Simane et *al.*, 1993, Mekhouf et *al.*, 2006).

- **L'évitement** de la déshydratation des tissus est la situation où la céréale fait appel à différents mécanismes pour se maintenir à un niveau de la contrainte nettement inférieur à celui exercé par l'environnement. C'est ainsi que certains géotypes de blé dur évitent la contrainte hydrique en favorisant le développement de leur système racinaire en profondeur pour explorer un volume de terre important et par la même chercher et attendre l'eau qui leur permettons de réduire des effets du déficit hydrique qu'ils endurent (Ali Dib et *al.*, 1992).

- **La résistance** au stress ou à la déshydratation des tissus se manifeste sous la forme d'un ensemble de mécanismes qui induisent chez la plante une capacité à accepter la contrainte mais sans subir les effets .C'est la résistance génétique. Elle permet à la plante de résister à la déformation mécanique, à la dégradation membranaire et de maintenir ses activités métaboliques sous des niveaux de contrainte assez élevés (ajustement osmotique phénomène inductible permettent de maintenir des taux élevés en osmorégulateurs).

Plusieurs études ont montré que lors d'un déficit hydrique, les plantes plaident pour stratégies d'adaptation qui diffèrent d'une espèce à une autre et qui font intervenir une large combinaison de facteurs phénologiques et morfo-physiologiques.

## **2.2 Les caractères d'adaptation à la sécheresse**

### **2.2.1 Les caractères phénologiques : la précocité**

L'esquive, l'évitement ou encore l'échappement consiste à réaliser le cycle pendant la période favorable constitue l'un des moyens, pour la plante de réduire ou d'annuler les effets du stress hydrique en évitant que celui-ci se produise au cours du cycle et en particulier au cours d'une phase sensible ou critique (à titre d'exemple : le remplissage des grains).

La précocité chez les céréales à paille cultivées en zone méditerranéenne et la brièveté du cycle des cultures pluviales des zones tropicales sèches sont des mécanismes d'évitement, qui ont d'ailleurs été exploités par les agriculteurs et les sélectionneurs (Monneveux et This, 1997).

La préciosité joue un rôle très important dans la stabilité des rendements des céréales. Chaque jour de précocité confère un gain en rendement de 30 à 85 kg/ha (Fischer et Maurer, 1978). Néanmoins, cette stratégie présente quelques limites (Blum, 1988). Hadjichristodoulou (1987), note que les variétés très précoces arrivent à maturité assez tôt, leur rendement en grain est alors plus faible comparativement à celui enregistré par les variétés dites tardives.

En milieu où le gel tardif est une contrainte à la production des céréales, une précocité excessive n'est d'aucune utilité. Au contraire, elle risque d'être une source d'instabilité des rendements en grains. Une précocité modérée peut cependant constituer un avantage lors de la reprise de la croissance après un bref stress (Bouzerzour, 1998).

Les inconvénients de cette stratégie conduit donc à identifier et à envisager d'autres mécanismes morpho-physiologiques permettant à la plante de maintenir des rendements élevés en conditions de contrainte hydrique.

### **2.2.2 Les caractères morpho-physiologiques**

Certain auteurs (Monneveux, 1991 ; Blum, 1996 ; Turner, 1997) ont recensé un certain nombre de caractères morphophysiologiques intéressants et d'un grand intérêt pour l'amélioration génétique de la tolérance à la sécheresse. Ces caractères interviennent dans différents mécanismes d'adaptation : amélioration de l'absorption de l'eau, réduction des pertes d'eau par transpiration, capacité à remobiliser les assimilats stockés, capacité d'ajustement osmotique, maintien de l'activité de la photosynthèse. Certains de ces caractères sont susceptibles d'intervenir dans une large gamme d'intensité de stress et ont sur l'ensemble du cycle de la plante un faible coût énergétique et semblent jouer un rôle déterminant en situation de sécheresse en particulier quand celle-ci reste modéré.

#### **2.2.2.1 Amélioration de l'absorption de l'eau**

Le développement de l'appareil racinaire, joue un rôle essentiel dans l'alimentation hydrique et minérale de la plante (Turner, 1986). 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 et par conséquent l'évaluation architecturale racinaire des plantes sous différentes conditions de disponibilités de l'eau dans le sol (Turner *et al.*, 2001 ; El fakhri *et al.*, 2010).

Brown *et al.*, (1987) postulent qu'une densité élevée du système racinaire au niveau des couches superficielles du sol pourrait réduire les pertes d'eau par évaporation, et contribuerait donc à

l'amélioration de l'absorption d'eau. Bensalem et Vierra Da Siva (1990) affirment qu'un système racinaire extensif permet au blé de mieux résister à une contrainte hydrique.

La profondeur du système racinaire pourrait contribuer à l'évitement de la sécheresse en permettant de maintenir un potentiel hydrique élevé (Hurd, 1974 ; Ehlers et *al.*, 1991). Narayan (1991) a démontré chez le blé tendre, que l'axe principal du système racinaire présente un avantage certain pour l'extraction et l'utilisation de l'eau stocké dans les couches profondes du sol.

### **2.2.2.2. Réduction des pertes en eau**

Monneveux (1991) a recensé un certain nombre de caractères morphologiques des feuilles impliquées dans la réduction des pertes d'eau. Il s'agit de la régulation stomatique, les adaptations micro morphologiques des tissus foliaires, l'enroulement des feuilles et la glaucescence (induisent une augmentation de la réflectance).

#### **a. Régulation stomatique**

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

#### **b. Réduction de la surface foliaire**

En cas de stress hydrique intense, la réduction de la croissance foliaire est un mécanisme important de réduction des besoins en eau (Turner, 1986). Un autre type d'adaptation foliaire développé par la céréale face à un manque d'eau est l'enroulement de la feuille qui peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation, il entraîne ce pendant une diminution de 40 à 60% de la transpiration (O'toole et Cruz 1980 ; Amokrane et *al.*, 2002).

#### **c. Pilosité, glaucescence et cires**

La pilosité des feuilles ou des tiges, la glaucescence et la présence des cires induisent une augmentation de la réflectance des radiations incidentes et limitent donc l'élévation de température des feuilles et contribuent à limiter les pertes d'eau par transpiration et par voie de conséquence, ils

sont considérés comme des facteurs d'adaptation à la sécheresse (Ludlow et Muchow, 1990 ; Al Hakimi, 1992 ; Souilah *et al.*, 2014). Clarke *et al.*, (1989) ont montré que les variétés possédant une glaucescence élevée donnent dans des conditions sèches, des rendements plus élevés que les variétés à faible glaucescence.

### **2.2.2.3. Capacité à remobiliser les assimilats stockés**

#### **a. Hauteur de la plante**

La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement dans les zones arides. Dakheel *et al.*, (1993) notent que la hauteur du chaume présente une corrélation modérée avec le rendement en grain sous stress sévère. En condition de stress hydrique, une paille haute est plus apte à stocker plus de réserves susceptibles d'être transférées vers le grain au cours de la phase de remplissage (Ben abdellah et Ben salem, 1993).

#### **b. Longueur du col d'épi**

La longueur du col de l'épi a souvent été proposée comme critère de sélection de génotypes tolérants au déficit hydrique (Fisher et Maurer, 1978). Ce caractère a toutefois un déterminisme génétique plus complexe que celui de la hauteur de la plante (Hakimi, 1992). Le rôle de ce caractère s'expliquerait par les quantités d'assimilats stockés dans cette partie de la plante susceptibles d'être transportées vers le gain en condition de déficit hydrique terminal (Gate *et al.*, 1992 ; Dakheel *et al.*, 1993).

#### **c. Longueur des barbes**

La longueur des barbes est un paramètre morphologique qui semble être étroitement lié à la tolérance au déficit hydrique terminal, tout au moins chez le blé dur (Hadjichristodoulou, 1985). Lors de la phase du remplissage des grains, La photosynthèse est moins sensible à l'action inhibitrice des hautes températures chez les génotypes barbus comparativement aux génotypes glabres (Fokar *et al.*, 1998). Les barbes, par leur port dressé et leur position au voisinage immédiat de la graine, conditionnent sa formation (Gate *et al.*, 1992)

### **2.2.2.4. Maintien de la turgescence**

#### **a. La teneur relative en eau**

La teneur relative en eau de la feuille est un paramètre physiologique, indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique (Berka et Aïd, 2009). Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par

transpiration (Turner, 1986). La teneur relative en eau est un indicateur de choix pour la tolérance à la sécheresse et le criblage des génotypes chez le blé dur (Kara 2000 ; Kara et Zoghmar 2011).

### **b. L'ajustement osmotique**

Selon Monneveux et This (1997), la tolérance est un abaissement du potentiel hydrique qui s'exprime par un maintien de la turgescence, rendu possible grâce au phénomène d'ajustement osmotique. Ce dernier est réalisé grâce à une accumulation des solutés (principalement vacuolaire) conduisant à un maintien du potentiel de turgescence (Morgan *et al.*, 1986 ; Turner, 1986 ; Blum, 1989 ; William et Hopkins, 2003).

L'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante au stress hydrique. L'intérêt croissant qui lui est porté est lié à différents facteurs : il permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance...) ; il peut intervenir à tous les stades du développement et son caractère inductible suggère qu'il n'a pas (ou peu) d'incidence sur le rendement potentiel (Belhassen *et al.*, 1995 ; Munns *et al.*, 2006 ; Grennan, 2006 ; Martinez *et al.*, 2007 ; Kara et Bellkhiri, 2011 ).

### **2.2.2.5. Maintien de l'activité de la photosynthèse**

Dans des conditions de sécheresse, la durée de la photosynthèse est fortement limitée par une sénescence prématurée des feuilles. Les génotypes qui maintiennent longtemps leur activité photosynthétique sont appelés *stay green*, qui est une variation dans la durée, plutôt que dans le taux d'activité photosynthétique (Watson, 1952) et ainsi la sénescence des feuilles est retardée.

Gregersen *et al.*, (2008) ont rapporté une corrélation positive entre la sénescence retardées des cultures et le rendement en grain qui peut être dû à une plus longue période de photosynthèse active, des assimilats supplémentaire utilisés pour le remplissage du grain.

*Stay green* est un caractère souhaitable dans l'amélioration des céréales. En effet, les génotypes possédant la capacité *stay green* tout au long du remplissage sont des candidats potentiels pour assurer un rendement dans les régions semi arides (Larbi et Mekliche, 2004 ; Hoang et Kobata, 2009). Ils peuvent maintenir l'activité photosynthétique au cours du remplissage du grain, surmontant ainsi l'effet de la sécheresse par le maintien des assimilats, de l'activité racinaire et de l'absorption de l'eau (Van Oosterom *et al.*, 1996).

## *Chapitre II : Matériels et méthodes*

## II. Matériels et méthodes

### 1. Matériel végétal

L'étude a porté sur deux espèces de céréales à paille d'origine locale et d'introduction comportant : deux génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et deux génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.).

Le matériel végétal expérimenté est présenté dans le tableau II<sub>1</sub>.

**Tableau II<sub>1</sub> : Liste de matériel végétal étudié, origines et pédigrée (I.T.G.C El-kheroub)**

Génotypes	Origine	Pédigrée	Obtenteur	Année d'inscription
<b>GTA Dur</b>	Mexique	Gaviota × Durum	*	1998
<b>Wahbi</b>	Algerie	KB 86022-1KB-OKB- 2KB-2KB-OKB	ITGC Sétif	2011
<b>Florence Aurore</b>	Tunisie	FLORENCE × AURORE 588	INRA Tunis	1998
<b>Mahon Demias</b>	Espagne	PLC/RUFF/GTA S Rolette Cm 17904	*	1998

### 2. Conduite de l'essai

#### 2.1. Lieu de l'expérimentation

L'expérimentation a été menée dans des conditions semi-contrôlées dans la serre vitrée du bio- pôle de l'Université de Constantine 1 (Chaabet Eressas) durant l'année universitaire 2019/2020.

## 2.2. L'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée en deux essais afin de décrire et approfondir les connaissances des principaux mécanismes impliqués dans la tolérance au stress hydrique.

- Le premier essai consiste à étudier les caractères morphophysiologiques de la partie aérienne.
- Le deuxième est destiné à étudier les caractères d'enracinement.

### 2.2.1. Les paramètres morphophysiologiques de la partie aérienne

Après germination sur boîte de pétri, les plantules des différents génotypes obtenues sont repiqués dans des pots en plastique contenant un mélange de sol agricole, de tourbe et de sable (dans les proportions 3 :1 :1). Les pots ont été disposés en deux lots (avec et sans déficit hydrique) en randomisation totale selon le dispositif de Fischer à quatre répétitions donnant au total 32 pots. (Figure 8).

Génotypes	Lots	Répétitions			
GTA Dur	ADH	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
	SDH	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
Wahbi	ADH	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
	SDH	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
Florence Aurore	ADH	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
	SDH	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
Mahon Demias	ADH	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
	SDH	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>

Figure 8 : Dispositif expérimental (partie aérienne).

Les pots sont arrosés trois fois par semaine et maintenu a hydratation maximum jusqu'au stade quatre feuille bien développées. A ce stade, les régimes d'irrigation sont modifiés : dans le lot témoin (100 de cc), le sol est maintenu constamment humide, alors que dans le cas du lot stressé les pots ont été maintenus à une humidité constante, équivalente à 35% de la capacité au champ jusqu'au stade anthèse.

Les pots du lot stressé sont pesés quotidiennement à l'aide d'une balance afin de quantifier les pertes en eau du sol et par conséquence estimer la capacité au champ en fonction de la durée de privation de l'irrigation.

### **2.2.1.1. Les mesures effectuées**

#### **a. Les paramètres morphologiques**

- Le nombre de talles herbacées (**NTH**) ;
- Le nombre de talle d'épi (**NTE**) ;
- La longueur de l'épi (**LE**) exprimée en **cm** ;
- La longueur du col de l'épi (**LCE**) exprimée en **cm** ;
- La longueur des barbes (**LB**) exprimées en **cm** ;
- La hauteur de la plante (**HP**) exprimée en **cm**, elle est mesurée de la base (à partir du ras du sol) jusqu'au sommet de l'épi.

#### **b. Les paramètres physiologiques**

- La teneur en chlorophylle totale (**TCT**) au niveau de la feuille étandard a été mesuré à l'aide d'un chlorophylle mètre SPAD 502 (Figure 9). Les valeurs retrouvées sont exprimées en unité de **SPAD**.



**Figure 9 : Le chlorophylle mètre SPAD 502.**

### **2.2.2. Les paramètres d'enracinements**

Les plantules des quatre génotypes ont été obtenus après germination sur boîte de pétri, elles sont repiquées dans des sacs en plastique noir (15 cm de diamètre et 120 cm de profondeur) afin d'éviter la prolifération des moisissures et éviter l'influence de la lumière sur les racines, à raison de 3 plantules par sac. Ces sacs sont percés à la partie inférieure et remplis d'un mélange de tourbe, de sol et de sable (dans les proportions 1 : 1 : 5), de faible capacité de rétention. Les sacs ont été disposés en deux lots (avec et sans déficit hydrique), chaque lot comporte quatre répétitions par génotype. (Figure 10)



**Figure 10 : Dispositif expérimental (partie racinaire).**

Après le stade quatre feuilles bien développées, nous avons retiré 2 plantules pour laisser au final une seule plantule par sac, pour des raisons de surcharge et d'enchevêtrement.

L'expérimentation a été conduite en irrigué, deux fois par semaine jusqu'au stade quatre feuille bien développées. Les régimes d'irrigation ont été modifiés : dans le lot témoin le sol est maintenu constamment humide, alors que dans le cas des plantes du lot stressé, les sacs sont maintenus à une humidité constante, équivalente à 35% de la capacité au champ jusqu'au stade anthèse.

Une fois que le stade anthèse est atteint, les sacs sont alors soigneusement vidés de leur contenu, les racines sont dégagées des particules de terre et de matière organique à l'aide d'un jet d'eau sous pression, puis séchées rapidement entre deux feuilles de papier filtre.

Les mesures effectuées dans cette expérimentation ont concerné :

- La profondeur maximale racinaire (**PMR**) exprimée en **cm** ;
- Le volume racinaire (**VR**) exprimé en **cm<sup>3</sup>**, mesuré par immersion selon la méthode de Musick et *al.*, (1965).

## *Chapitre III : Résultats et discussion*

## Chapitre III : Résultats et discussion

### 1. Résultats

#### 1.1. Cas des blés dur

##### 1.1.1 La date d'épiaison

La durée d'épiaison varie de (101±1,18) jours (lot témoin) à (102,00 ±1,52) jours (lot stressé), soit une différence de 1 jour. D'après les résultats obtenus durant notre expérimentation, et quel que soit le traitement (irrigué ou stressé), le génotype GTA est considéré comme un génotype précoce, alors que WAHBI est supposé être un génotype de précocité moyenne quoi que la différence du nombre de jours est statistiquement non significatif (Tableau III<sub>1</sub>).

**Tableau III<sub>1</sub> : Variation de la date d'épiaison (DE).**

	DE (jours)		
	SDH	ADH	Evolution%
GTA	98 ±1,41	98,00 ±0,96	0
WAHBI	104 ±0,96	106 ±2,08	1,92
<b>Moyenne</b>	101±1,18	102,00 ±1,52	0,96

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; DE (jours) : date d'épiaison.

##### 1.1.2. Les paramètres morfo physiologiques de la partie aérienne

###### a. La hauteur de la plante

La hauteur moyenne de la plante passe de (58,65 ±1,34) cm dans le lot témoin à (53,96 ±2.16) cm dans le lot stressé, soit une diminution de 8,69 %. Les valeurs obtenues dans le lot stressé s'étalent entre (53,26 ±1,04) cm et (54,66 ±3,29) cm chez WAHBI et GTA respectivement (Tableau III<sub>2</sub>).

**Tableau III<sub>2</sub> : Variation de la hauteur de la plante (HP).**

	HP (cm)		
	SDH	ADH	Evolution %
GTA	58,9 ±0,95	54,66 ±3,29	-7,19
WAHBI	58,4 ±1,73	53,26 ±1,04	-8,80
<b>Moyenne</b>	58,65 ±1,34	53,96 ±2.16	-8

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; HP : hauteur de la plante.

**b. Le nombre de talle par plante**

Les résultats notent que le nombre de talle est influencé négativement par le stress hydrique. Au niveau du lot stressé (ADH), une nette diminution du nombre de talle herbacée (NTH) est observée chez les deux génotypes testés, soit une diminution de 44,57% par rapport au lot témoin. Le (NTH) varie entre (4,66 ±0,96) chez le génotype GTA et (3,33 ±0,58) chez le génotype WAHBI (Tableau III<sub>3</sub>).

**Tableau III<sub>3</sub> : Variation du nombre de talle herbacée (NTH).**

	NTH		
	SDH	ADH	Evolution %
GTA	8,00 ±0,96	4,66 ±0,96	-41,75
WAHBI	6,33 ±1,26	3,33 ±0,58	-47,39
<b>Moyenne</b>	7,16 ±1,11	3,99 ±0,77	-44,57

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; NTH : nombre de talle herbacée.

Quant au nombre de talle épi nous avons noté cependant une baisse plus importante chez les deux génotypes étudiés, soit une diminution de 51,46% avec un (NTE) maximal égal à (2,33 ±0,58) chez le génotype GTA et un (NTE) minimal égal à (1,73 ±0,82) chez le génotype WAHBI (Tableau III<sub>4</sub>).

**Tableau III<sub>4</sub> : Variation du nombre de talle épi (NTE).**

	NTE		
	SDH	ADH	Evolution %
GTA	4,33 ±0,96	2,33 ±0,58	-46,18
WAHBI	4,00 ±0,82	1,73 ±0,82	-56,75
<b>Moyenne</b>	4,16 ±0,89	2,03 ±0,7	-51,46

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; NTH : nombre de talle épi.

**c. La longueur du col de l'épi**

Les résultats notent une diminution de La longueur du col de l'épi (LCE) chez les deux génotypes étudiés. La longueur moyenne de cet organe passe de (6,69 ±0,71) cm dans le lot témoin à (4,74 ±0,64) cm dans le lot stressé, soit une baisse de 28,5% par rapport au lot témoin.

Dans le traitement avec déficit hydrique (ADH), le génotype GTA présente la longueur du col de l'épi la plus élevée ( $5,76 \pm 0,72$ ) cm, la plus faible valeur de (LCE) est obtenu par le génotype WAHBI ( $3,73 \pm 0,57$ ) cm (Tableau III<sub>5</sub>).

**Tableau III<sub>5</sub> : Variation de la longueur du col de l'épi (LCE).**

	LCE (cm)		
	SDH	ADH	Evolution %
GTA	$6,46 \pm 0,85$	$5,76 \pm 0,72$	-10,83
WAHBI	$6,93 \pm 0,58$	$3,73 \pm 0,57$	-46,17
<b>Moyenne</b>	$6,69 \pm 0,71$	$4,74 \pm 0,64$	-28,5

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; LCE (cm) : longueur du col de l'épi.

**d. La longueur de l'épi**

La longueur de l'épi moyenne passe de ( $8,35 \pm 0,4$ ) cm dans le lot témoin à ( $7,56 \pm 0,33$ ) cm dans le lot stressé soit une diminution de 9,09%. Quel que soit le cas de figure envisagé (stressé ou irrigué), le génotype WAHBI possède la longueur de l'épi la plus élevée. Le génotype GTA enregistre des valeurs du (LE) sensiblement les mêmes (Tableau III<sub>6</sub>).

**Tableau III<sub>6</sub> : Variation de la longueur de l'épi (LE).**

	LE (cm)		
	SDH	ADH	Evolution %
GTA	$7,70 \pm 0,47$	$7,30 \pm 0,50$	-5,19
WAHBI	$9,00 \pm 0,33$	$7,83 \pm 0,15$	-13
<b>Moyenne</b>	$8,35 \pm 0,4$	$7,56 \pm 0,33$	-9,09

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; LE : longueur de l'épi

**e. La longueur des barbes**

Il est admis que la longueur des barbes est un caractère variétal intrinsèque à la variété. Les résultats obtenus montrent que la longueur des barbes passe en moyenne de ( $10,79 \pm 0,72$ ) cm dans le traitement irrigué (SDH) à ( $10,33 \pm 0,62$ ) cm dans le traitement stressé (ADH). La longueur moyenne en conditions stressés et irrigués est pratiquement la même (Tableau III<sub>7</sub>).

**Tableau III<sub>7</sub> : Variation de la longueur des barbes (LB).**

	LB (cm)		
	SDH	ADH	Evolution %
GTA	10,90±0,62	10,76±0,63	-1,28
WAHBI	10,68±0,83	10,33±0,62	-3,27
<b>Moyenne</b>	10,79±0,72	10,54±0,63	-2,27

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; LB (cm) : longueur des barbes.

#### f. La teneur en chlorophylle totale (TCT)

Sous conditions de stress hydrique (ADH), nous avons observé une augmentation de la teneur en chlorophylle totale (TCT) chez les deux génotypes testés, cette augmentation est de l'ordre de 11,85% par rapport au lot témoin, les valeurs obtenues varient entre (55,50±1,20) SPAD et (54,06±2,19) SPAD chez WAHBI et GTA respectivement (Tableau III<sub>8</sub>).

**Tableau III<sub>8</sub> : Variation de la teneur en chlorophylle totale (TCT).**

	TCT (SPAD)		
	SDH	ADH	Evolution %
GTA	49,33±2,01	54,06±2,19	9,58
WAHBI	48,63±1,77	55,50±1,20	14,12
<b>Moyenne</b>	48,98±1,89	54,78±1,69	11,85

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; TCT (SPAD) : teneur en chlorophylle totale

#### 1.1.3. Les paramètres d'enracinements

##### a. La profondeur maximale racinaire (PMR)

Les résultats montrent une nette augmentation des valeurs moyennes du (PMR) chez les deux variétés testées soit 74,38% d'augmentation par rapport au lot témoin, la valeur maximale est observée chez le génotype GTA (122,25±1,26) cm alors que la valeur minimale est enregistrée par le génotype WAHBI (121,37±1,80) cm (Tableau III<sub>9</sub>).

**Tableau III<sub>9</sub> : Variation de la profondeur maximale racinaire (PMR).**

	PMR (cm)		
	SDH	ADH	Evolution%
GTA	70,00±0,65	122,25±1,26	74,64
WAHBI	69,70±1,24	121,37±1,80	74,13
<b>Moyenne</b>	69,85±0,94	121,81±1,53	74,38

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; PMR (cm) : la profondeur maximale racinaire.

**b. Le volume racinaire (VR)**

En conditions de stress hydrique (ADH), le volume racinaire (VR) a été fortement réduit par rapport au témoin (SDH) à la suite d'un ralentissement de croissance se traduisant par une faible ramification des racines séminal chez les deux génotypes testés. Les résultats obtenus ont varié de (11,50±1,31) cm<sup>3</sup> pour WAHBI à (10,83±0,75) cm<sup>3</sup> pour GTA, soit une réduction de 25.93% par rapport au lot témoin (Tableau III<sub>10</sub>).

**Tableau III<sub>10</sub> : Variation du volume racinaire (VR).**

	VR (cm <sup>3</sup> )		
	SDH	ADH	Evolution%
GTA	14,50±1,11	10,83±0,75	-25,31
WAHBI	15,66±0,91	11,50±1,31	-26,56
<b>Moyenne</b>	15,05±1,01	11,16±1,03	-25,93

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; VR (cm<sup>3</sup>) : volume racinaire

## 1.2. Cas des blés tendre

### 1.2.1. La date d'épiaison

La durée d'épiaison varie de (107,00 ±1,20) jours (lot témoin) à (109,00 ±1,36) jours (lot stressé), soit une différence de 2 jours. D'après les résultats obtenus durant notre expérimentation, et quel que soit le traitement (irrigué ou stressé), le génotype FLORENCE AURORE est considéré comme un génotype très précoce, alors que MAHON DEMIAS est supposé être un génotype tardif (Tableau III<sub>11</sub>).

**Tableau III<sub>11</sub> : Variation de la date d'épiaison (DE).**

	DE (jours)		
	SDH	ADH	Evolution %
FLORENCE AURORE	94,00 ±1,41	96,00 ±0,82	2,12
MAHON DEMIAS	120,00±1,00	122,00 ±1,91	1,66
<b>Moyenne</b>	107,00 ±1,20	109,00 ±1,36	1.89

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; DE (jours) : date d'épiaison.

### 1.2.2. Les paramètres morpho physiologiques de la partie aérienne

#### a. La hauteur de la plante

Les résultats notent que la moyenne de la hauteur des génotypes (HP) passe de (98,82 ±2,65) cm dans le traitement irrigué (SDH) à (94,3 ±1,83) cm dans le traitement stressé, soit une diminution de 4,24%.

Dans l'essai irrigué (SDH), le génotype MAHON DEMIAS a eu la plus grande taille (104,65 ±3,02) cm, tandis que le génotype FLORENCE AUROR est à paille plus courte (93,00 ±2,29) cm. Dans le lot stressé (ADH), la hauteur de plante varie de 99,2 ±1,41cm à 89,4 ±2,26cm enregistrés chez MAHON DEMIAS et FLORENCE AUROR respectivement (Tableau III<sub>12</sub>).

Tableau III<sub>12</sub> : Variation de la hauteur de la plante (HP).

	HP (cm)		
	SDH	ADH	Evolution%
FLORENCE AURORE	93,00 ±2,29	89,4 ±2,26	-3,87
MAHON DEMIAS	104,65 ±3,02	99,2 ±1,41	-4,61
<b>Moyenne</b>	98,82 ±2,65	94,3 ±1,83	-4,24

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; HP (cm) : la hauteur de la plante.

**b. Le nombre de talle par plante**

Les résultats obtenus notent une baisse importante du nombre de talle herbacée (NTH) chez les deux génotypes étudiés, soit une diminution de 36,56% avec un (NTH) maximal égal à (4,00 ±0,82) chez le génotype FLORENCE AURORE et un (NTH) minimale égale à (3,66 ±0,82) chez le génotype MAHON DEMIAS (Tableau III<sub>13</sub>).

Tableau III<sub>13</sub> : Variation du nombre de talle herbacé (NTH).

	NTH		
	SDH	ADH	Evolution%
FLORENCE AURORE	7,00 ±0,96	4,00 ±0,82	-42,85
MAHON DEMIAS	5,25 ±0,96	3,66 ±0,82	-30,28
<b>Moyenne</b>	6,12 ±0,96	3,83 ±0,82	-36,56

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; NTE : nombre de talle herbacé.

Par ailleurs, l'on nette également une diminution du nombre de talle épi chez les deux génotypes, la valeur moyenne du (NTE) passe de (3,62 ±0,54) dans le lot irrigué à (2,02 ±0,54) dans le lot stressé ce qui nous donne une baisse hautement significatif avoisinant les 45,16%.

Dans le traitement avec déficit hydrique (ADH), le génotype FLORENCE AURORE présente la valeur du (NTH) la plus élevée (2,75 ±0,50), la plus faible valeur est attribué au génotype MAHON DEMIAS (1,30 ±0,58) cm. (Tableau III<sub>14</sub>).

**Tableau III<sub>14</sub> : Variation du nombre de talle épi (NTE).**

	NTE		
	SDH	ADH	Evolution%
FLORENCE AURORE	4,00 ±0,50	2,75 ±0,50	-31,25
MAHON DEMIAS	3,25 ±0,58	1,30 ±0,58	-59,07
<b>Moyenne</b>	<b>3,62 ±0,54</b>	<b>2,02 ±0,54</b>	<b>-45,16</b>

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; NTE : nombre de talle épi.

**c. La longueur du col de l'épi**

L'effet du déficit hydrique est néfaste sur ce caractère. La moyenne de la longueur du col de l'épi passe de (18,65±0,42) cm dans le traitement avec irrigation (SDH) à (13,63±0,77) cm dans le traitement avec déficit hydrique (ADH), soit une différence en apparence moyenne mais statistiquement significatif de 27.88%.

Quel que soit le cas de figure envisagé (stressé ou irrigué), le génotype FLORENCE AURORE possède la longueur du col de l'épi la plus élevée (20,70±0,13 cm dans le lot témoin et 16,80±0,24 cm dans le lot stressé). Le génotype MAHON DEMIAS enregistre des valeurs du (LE) plus faible variant de (16,60±0,71) cm dans le lot témoin à (10,47±0,53) cm dans le lot stressé (Tableau III<sub>15</sub>).

**Tableau III<sub>15</sub> : Variation de la longueur du col de l'épi (LCE).**

	LCE (cm)		
	SDH	ADH	Evolution%
FLORENCE AURORE	20,70±0,13	16,80±0,24	-18,84
MAHON DEMIAS	16,60±0,71	10,47±0,53	-36,92
<b>Moyenne</b>	<b>18,65±0,42</b>	<b>13,63±0,77</b>	<b>-27,88</b>

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; LCE (cm) : longueur du col de l'épi.

**d. La longueur de l'épi**

La longueur de l'épi est une caractéristique variétale peu ou pas influencée par les variations du milieu. Dans notre étude, la longueur moyenne de l'épi varie de 11,15±0,42 cm (lot irrigué) à 10,63±0,77 cm (lot stressé) soit une réduction de 4,45%.

Au niveau du lot stressé (ADH) les génotypes affichent des valeurs de (LE) très rapprochées, ces valeurs varient de (10,80±0,24) cm à (10,47±0,53) cm chez FLORENCE AURORE et MAHON DEMIAS respectivement. (Tableau III<sub>16</sub>).

**Tableau III<sub>16</sub> : Variation de la longueur de l'épi (LE).**

	LE (cm)		
	SDH	ADH	Evolution%
FLORENCE AURORE	11,70±0,13	10,80±0,24	-7,69
MAHON DEMIAS	10,60±0,71	10,47±0,53	-1,22
<b>Moyenne</b>	11,15±0,42	10,63±0,77	-4,45

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; LE (cm) : la longueur de l'épi.

**e. La longueur des barbes**

Les résultats notent que le génotype FLORENCE AURORE est naturellement dépourvu de barbes. Chez le génotype MAHON DEMIAS La longueur des barbes passe de (6,42±0,30) cm dans le traitement irrigué(SDH) à (6,22±0,39) cm dans le traitement stressé (SDH). La longueur des barbes en conditions stressés et irriguées est pratiquement la même. (Tableau III<sub>17</sub>).

**Tableau III<sub>17</sub> : Variation de la longueur de la longueur des barbes (LB).**

	LB (cm)		
	SDH	ADH	Evolution%
FLORENCE AUROR	0,10±0,00	0,10±0,00	0
MAHON DEMIAS	6,42±0,30	6,22±0,39	-3,11
<b>Moyenne</b>	3,26±0,30	3,16±0,39	-1,55

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; LB (cm) : la longueur des barbes.

**f. La teneur en chlorophylle totale (TCT)**

Sous conditions de stress hydrique (ADH), nous avons observé une augmentation de la teneur en chlorophylle totale (TCT) chez les deux génotypes testés, cette augmentation est de l'ordre de 13,19 % par rapport au lot témoin. Les valeurs obtenues dans le lot stressé varient entre (59,05±1,22) SPAD et (58,10±1,42) SPAD chez FLORENCE AURORE et MAHON DEMIAS respectivement. (Tableau III<sub>18</sub>).

Tableau III<sub>18</sub> : Variation de la teneur en chlorophylle totale (TCT).

	TCT (SPAD)		
	SDH	ADH	Evolution%
FLORENCE AURORE	51,4±1,18	59,05±1,22	14,88
MAHON DEMIAS	52,10±1,35	58,10±1,42	11,51
<b>Moyenne</b>	51,75±1,26	58,57±1,32	13,19

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; TCT (SPAD) : teneur en chlorophylle totale.

### 1.2.3. Les paramètres d'enracinements

#### a. La profondeur maximale racinaire (PMR)

La profondeur maximale racinaire (PMR) présente une variabilité importante. Les résultats montrent que la moyenne du (PMR) passe de (68,05±1,16) cm dans le traitement (SDH) à (123,91±1,86) cm dans le traitement avec déficit hydrique (ADH), soit une augmentation de 82,05%. (Tableau III<sub>19</sub>).

Dans le lot stressé (ADH), les deux génotypes affichent des valeurs La profondeur maximale racinaire (PMR) supérieurs aux valeurs enregistrées dans notre expérimentation irrigué (SDH), ces valeurs varient de (128,16±1,65) cm à (119,66±2,08) cm chez MAHON DEMIAS et FLORENCE AURORE respectivement. (Tableau III<sub>19</sub>).

Tableau III<sub>19</sub> : Variation de La profondeur maximale racinaire (PMR).

	PMR (cm)		
	SDH	ADH	Evolution%
FLORENCE AURORE	66,20±0,91	119,66±2,08	80,76
MAHON DEMIAS	69,90±1,41	128,16±1,65	83,34
<b>Moyenne</b>	68,05±1,16	123,91±1,86	82,05

ADH : avec déficit hydrique ; SDH : sans déficit hydrique ; PMR (cm) : la profondeur maximale racinaire.

#### b. Le volume racinaire (VR)

Dans les conditions stressées (ADH), les résultats montrent une réduction importante du volume racinaire (VR) chez les deux génotypes testés, soit une baisse de 23,46% par rapport au lot témoin.

Dans le lot stressé (ADH), les géotypes affichent des valeurs du volume racinaire (VR) inférieures aux valeurs enregistrées dans notre expérimentation témoin (SDH). Ces valeurs varient de  $(10,87 \pm 0,85) \text{ cm}^3$  à  $(10,75 \pm 0,65) \text{ cm}^3$  chez FLORENCE AURORE et MAHON. (Tableau III<sub>20</sub>).

**Tableau III<sub>20</sub> : Variation du volume racinaire (VR).**

	VR (cm <sup>3</sup> )		
	SDH	ADH	Evolution%
FLORENCE AURORE	14,00±1,08	10,75±0,65	-23,21
MAHON DEMIAS	14,25±1,85	10,87±0,85	-23,71
<b>Moyenne</b>	14,12±1,46	10,81±0,75	-23,46

**ADH** : avec déficit hydrique ; **SDH** : sans déficit hydrique ; **VR (cm<sup>3</sup>)** : volume racinaire.

## 2. Discussion

La phénologie rythme le développement de la plante et ajuste le cycle végétatif de manière à l'assortir aux conditions optimales de croissance de l'environnement de production. La stratégie appliquée en amélioration variétale, pour réduire les effets des stress, consiste à raccourcir la durée du cycle de la variété. On parle alors de précocité qui est un mécanisme qu'utilise la plante pour échapper voire éviter le stress hydrique. La précocité correspond alors à la capacité de la plante à achever son cycle pendant la période où l'eau est disponible.

Au cours de notre étude, la précocité de quelques génotypes a été pleinement et expérimentalement confirmée. Ainsi nous avons noté que les génotypes FLORENCE AURORE (blé tendre) et GTA (blé dur) sont les plus précoces comparativement aux autres génotypes testés, ce qui nous autorise à dire que les génotypes précoces à l'épiaison sont plus tolérants au stress hydrique. Notre résultat semble corroborer et aller dans le même sens avec ceux de Zoghmar et Kara, (2016) qui mentionnent que la précocité à l'épiaison peut être utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions dans les zones semi-arides, en particulier le constantinois. Il est connu d'après la littérature consultée dans ce domaine que les blés précoces sont caractérisés en général par une hauteur moyenne, alors que le blé tardif présente une hauteur conséquente, en sommes, précocité-paille courte tardivité-paille longue sont consubstantielles.

La hauteur de la plante quant à elle apparaît comme un critère de sélection importante. Fisher et Maurer, (1978) attestent que les blés hauts ont un indice de sensibilité à la contrainte hydrique plus faible par rapport aux blés nains et semi-nains.

Dans notre étude nous avons noté une diminution de la hauteur de la plante chez tous les génotypes testés. Ainsi, nous avons noté que les génotypes de blé tendre FLORENCE AURORE et MAHON DEMIAS, à paille haute, semblent moins affectés par le stress hydrique que les génotypes de blé dur GTA et WAHBI à paille courte. Nos résultats vont dans le même sens que ceux notamment évoqués par Ben Abdallah et Ben Salem, (1993) qui stipulent que les variétés de blé tendre hautes à très hautes semblent être les plus adaptées au déficit hydrique.

Pour ce qui est du paramètre tallage, tous les génotypes (dur et tendre) testés semblent être affectés par le stress hydrique. Les moyennes de tallage herbacé par plante et de tallage épi par plante donnent les résultats suivant : de 3,99 et 2,03 pour le blé dur et de 3,83 et 2,02 pour le blé tendre, ce constat semble être en faveur des blés durs apparemment plus performants.

Cependant, la capacité de transformation des talles herbacées en talles épis varie en fonction de la nature des génotypes. Il s'agit d'un caractère variétal génétique intrinsèque comme rapporté par Benlaribi, (1984) sur le blé dur.

Les génotypes de blé dur GTA et WAHBI notent un nombre des talles herbacées élevé et donc un nombre des talles épis élevé, alors que les génotypes de blé tendre FLORENCE AURORE et MAHON DEMIAS sont caractérisés par un faible nombre de talles herbacées et donc un nombre réduit des talles épis. Nos résultats semblent corroborer avec ceux de Benbelkacem et *al.*, (1984) qui ont constaté qu'une augmentation importante du nombre de talles herbacées engendre une augmentation du nombre de talles épis.

Tous les génotypes étudiés sont affectés par le stress hydrique au niveau de la longueur du col de l'épi. Notons aussi que ce paramètre présente une variabilité élevée chez les deux espèces étudiées. Les génotypes de blé tendre FLORENCE AURORE et MAHON DEMIAS se distinguent par un long col d'épi, alors que les génotypes de blé dur GTA et WAHBI se caractérisent par une faible longueur du col de l'épi, ce qui nous amène à suggérer que les génotypes de blé tendre tolèrent mieux au stress hydrique.

Notre résultat concorde avec celui de Fisher et Maurer, (1978) qui affirment que la longueur du col de l'épi est un caractère variétal, il a souvent été proposé comme critère de sélection de génotypes tolérants au déficit hydrique. Le rôle de ce caractère s'expliquerait par les quantités d'assimilats stockés dans cette partie de la plante qui sont susceptibles d'être transportés vers le grain en conditions de déficit hydrique terminal. En effet, les meilleurs rendements, dans les conditions de déficit hydrique, sont fournis par les génotypes à col d'épi plus long comme le rapporte Mekliche, (1983).

Quant à l'épi qui constitue un paramètre prédictif d'un indice de récolte et du potentiel de rendement élevé, il est évident que la longueur de l'épi est non seulement une composante de rendement mais également un critère d'adaptation au stress hydrique (Djekoun et *al.*, 2002). Par ailleurs d'un point de vue physiologique, l'épi assure une activité photosynthétique importante au cours du remplissage du grain et contribue ainsi à la photosynthèse de la plante entre 13 et 76% (Biscope et *al.*, 1975 ; Febrero et *al.*, 1990 ; Berkat, 2005). Selon Baldy (1993), la part de la photosynthèse de l'épi serait plus importante que celle de la dernière feuille (feuille drapeau).

Au cours de notre étude on note que les blés tendres, FLORENCE AURORE et MAHON DEMIAS, ont les plus longs épis par rapport aux blés durs, GTA et WAHBI, qui possèdent des épis courts.

La présence des barbes joue un rôle important dans le remplissage du grain et le rendement (Kara, 2000 ; Zoghmar, 2007). Gate et *al.*, (1993) ont mentionné qu'après l'épiaison, quand la dernière feuille devient sénescence, les derniers organes chlorophylliens (glumes et barbes) jouent un rôle prédominant dans le remplissage des grains.

Blum (1988), mentionne que l'activité photosynthétique des barbes est moins sensible à l'action inhibitrice des hautes températures comparativement à celle des glumes ou de la feuille étendard.

Au cours de notre étude, nous avons observé que les barbes les plus longues concernent les génotypes de blé dur. Alors que chez le blé tendre le génotype FLORENCE AURORE est dépourvu naturellement des barbes, par contre MAHON DEMIAS présente des barbes.

Ce résultat nous permet de dire que les génotypes avec barbes chez les deux espèces conviennent dans les climats secs et chauds et tolèrent mieux le déficit hydrique, alors que le génotype de blé tendre sans barbes FLORENCE AURORE s'adapte dans les régions tempérées et humides, comme rapporté par Teich (1982).

La quantité de la chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la phyllotaxie et les facteurs environnementaux tels que lumière, température et disponibilité en eau (Hikosaka et *al.*, 2006).

Au cours notre expérimentation, nous avons observé une augmentation de la teneur en chlorophylle totale chez tous les génotypes soumis au stress hydrique, cette réaction est probablement la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet du stress hydrique qui engendre une plus grande concentration, comme mentionné par Siakhène, (1994).

Au niveau de la rhizosphère, nous avons observé que le stress hydrique entraîne dans notre cas une profondeur racinaire maximale chez tous les génotypes étudiés, ce qu'est à notre avis paradoxal, néanmoins l'explication réside dans le fait que le stress imposé a provoqué une élongation des racines afin que le système racinaire explore un volume de terre important et de la pomper de l'eau qui serait disponible. Ce résultat est en parfaite adéquation avec notamment ceux de Larbaa, (1991) ; Kara, (2000) et Slama et *al.*, (2005) mentionnant que l'adaptation au déficit hydrique peut se traduire par des modifications morphologiques de l'appareil racinaire qui améliorent l'exploitation en profondeur des réserves en eau du sol.

La plus grande profondeur maximale racinaire est observée chez les géotypes de blé tendre FLORENCE AURORE et MAHON DEMIAS qui se caractérisent par de une paille haute. Ce résultat concorde avec celui de Bagga et *al.*, (1970) qui stipulent qu'une paille haute s'accompagne souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure.

Par ailleurs, nous avons remarqué une diminution du volume racinaire chez tous les géotypes soumis au stress hydrique. Cette diminution est probablement due au ralentissement de la croissance qui se traduit par une faible ramification racinaire. Ce résultat semble corroborer les travaux de Benlaribi (1990) et Khaldoun et *al.*, (1990) qui mentionnent que la sécheresse réduit considérablement les volumes racinaires à différentes profondeurs du sol chez l'orge et le blé dur.

# **Conclusion**

### Conclusion

L'étude a porté sur les variations des caractères phénologiques, morphologiques et physiologiques d'un groupe de blé dur et de blé tendre pour la tolérance au stress hydrique dans les zones semi-arides (constantinois).

L'expérience réalisée dans les conditions semi contrôlées a permis en un temps très court et moyennant de faibles dépenses d'aboutir à des résultats probants et encourageants malgré les contraintes sanitaires très difficile à gérer.

Il se dégage de notre étude que la précocité de maturation offre un éventail de choix dans les variétés en fonction des zones de culture par rapport aux facteurs climatiques limitant.

Ainsi, nous avons remarqué que la quasi-totalité des paramètres mesurés sont affectés par le stress hydrique : la hauteur de la plante, la longueur des barbes et des épis, la longueur du col de l'épi, la teneur en chlorophylle, la profondeur et le volume racinaire.

Pour ce qui est de la hauteur de la plante, les génotypes de blé dur GTA et WAHBI notent des réductions, alors que les génotypes de blé tendre FLORENCE AURORE et MAHONE DEMIAS sont sensiblement affectés par ce paramètre vis-à-vis du stress hydrique. Néanmoins, les génotypes de blé dur GTA et WAHBI possèdent le nombre de talle le plus élevé.

Les génotypes de blé tendre FLORENCE AURORE et MAHONE DEMIAS enregistrent une diminution importante de la longueur du col de l'épi, en revanche les génotypes de blé dur GTA et WAHBI enregistrent une diminution sensiblement faible. Néanmoins, les génotypes de blé tendre FLORENCE AURORE et MAHONE DEMIAS possèdent les épis les plus longs.

Par ailleurs, nous assistons à une augmentation de la teneur en chlorophylle totale chez tous les génotypes testés, notamment chez les génotypes de blé tendre qui sembleraient être les plus affectées par le stress hydrique que les blés durs.

Au niveau de la rhizosphère, nous assistons à une forte élongation des racines avec une diminution du volume racinaire notamment chez les génotypes de blé tendre FLORENCE AURORE et MAHONE DEMIAS qui sont les plus adaptées au stress hydrique comparativement au génotypes de blé dur GTA et WAHBI qui semblerait les plus tolérant.

Ainsi au terme de cette étude quoi que courte et n'a concerné qu'un seul cycle végétatif et qui mériterait qu'elle soit approfondie en particulier dans une étude de stabilité de rendements et comportant un nombre de génotypes plus élevé en randomisation totale par exemple. Nous pouvons suggérer aux sélectionneurs de prendre GTA qui s'est distingué par sa performance aussi

## Conclusion

bien physiologique que phénologiques et aussi par sa tolérance à la sécheresse comme variété pilote.

Concernant les blés tendres, deuxième volet de notre expérimentation de privilégier FLORENCE AURORE définie comme étant une variété performante et tolérante au stress hydrique dans les futures programmes de sélection.

## *Références bibliographiques*

-A-

**Acevedo, E. & Ceccarelli, S., (1987).** Role of physiologist-breeder in a breeding program for drought resistance conditions. In: Drought Resistance in Cereals, Baker, F.W.G. (Ed.). CAB, Wallingford, pp. 117-139.

**Acevedo, E. (1991).** Improvement of winter cereal crops in Mediterranean environments. Use of yield, morphological and physiological traits. In Acevedo, E. (Ed): Physiology-Breeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments. INRA, Paris. Le Colloque. 55, 273–305.

**Adjabi, A. (2011).** Etude de la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum Durum* Desf) sous étage du semi-aride (Doctoral dissertation) 88p.

**Ali Dib T., Monneveux Ph. Et Araus J.L., (1992).** Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Caractères physiologiques d'adaptation. Agronomie, 12 :381-393.

**Amokrane A., Bouzerzour H., Benmahammed A. et Djekoun A., (2002).**Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées. Constantine, numéro spécial D, 33-38.

**Amokrane, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Djekoun, A. (2002).** Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. *Revue Sciences et Technologie (Univ. Mentouri, Constantine) numéro spécial D*, 33-38.

**Awatef, G., Chafia, Z., & Mostefa, B. (2017).** Étude de la diversité génétique de quelques variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et de blé dur (*Triticum durum* Desf.) selon la base des caractères de l'UPOV. *Journal of Applied Biosciences*, 113(1), 11246-11256.

-B-

**Ba Hoang, T., & Kobata, T. (2009).** Stay-green in rice (*Oryza sativa* L.) of drought-prone areas in desiccated soils. *Plant Production Science*, 12(4), 397-408.

**Bagga, A. K., Rawson, H. M., & Bremner, P. M. (1977).** Aspects of adaptation by wheat and barley to soil moisture deficits. *Functional Plant Biology*, 4(3), 389-401.

- Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Hassous, K. L. (2005).** Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi-arid conditions. *Journal of Agronomy*, 4: 360-365.
- Baldy, C. (1993).** Effets du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en Méditerranée occidentale. *Les Colloques de l'INRA*, (64), 83-99.
- Barkat M., (2005).** Caractérisations morpho-physiologiques et physico-chimique des descendants issus de cinq générations de backcross et de leurs géniteurs de blé dur (*Triticum durum* Desf. Thèse Doctorat en Sciences de la Nature.150p.
- Belaid D., (1986).** Aspects de la céréaliculture algérienne. Ed. OPU,Alger ,207 p.
- Belhassen, É, This, D., & Monneveux, P. (1995).** L'adaptation génétique face. *Cahiers agricultures*, 4, 251-61.
- Ben Abdallah N., (1993).** Paramètres morpho- physiologiques des sélections pour la résistance à la sécheresse des céréales. In : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration des variétés, (Montpellier, France, 15-17 Décembre). Eds. **Ben Salem M. et Monneveux P., INRA**, les colloques N°64, 173-190.
- Ben Abdallah, N., & Ben Salem, M. (1993).** Paramètres morpho physiologiques de sélection pour la résistance à la sécheresse. *Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale (Ed INRA, Paris)*, 253-264.
- Benbelkacem, A. (2013).** Rapport des résultats du projet “Enhancing Food Security in Arab Countries” Icarda-INRAA. 35 pages.
- Benbelkacem, A., Mekni, M. S., & Rasmusson, D. C. (1984).** Breeding for High Tiller Number and Yield in Barley 1. *Crop science*, 24(5), 968-972.
- Benkaddour, M. (2014).** *Modification physiologique chez des plantes de blé (Triticum durum desf) exposées à un stress salin. Université badji Mokhtar, Annaba (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat : 23-80-81p).*
- Benlaribi M. & Monneveux P. (1988),** Etude compare du comportement de situation de déficit hydrique de deux variétés Algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) adaptées à la sècheresse. *Cahier de Recherche d'Agriculture France*, 74(5) : 73-83.

- Benlaribi M. (1990).** Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) études des caractères morphologiques et physiologiques. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Constantine, 164p.
- Benlaribi M. Monneveux Ph. Et Grignac P., (1990).** Etude des caractères d'enracinement et leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) *Agronomie*, 10 :305-322.
- Benlaribi M., (1984).** Facteurs de productivité chez six variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivées en Algérie. Thèse de Magister, I.S.B. Université de Constantine : 111p.
- Bensalem M. et Vierra Da Silva J.B., (1991).** Mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse et création variétal. Rapport d'activité numero1, Ma/DGFRA/INRAT, Tunisie, 23 pages.
- Berka, S. & Aid, F. (2009).** Réponses physiologiques des plants d'*Argania spinosa* (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. *Sécheresse*, 20 : 296-302.
- Biscope, P. V., Gallagher, J., Littleton, E. J., Monteinth, K. L., & Scott, R. K. (1975).** Barley and its environment. *Sources of assimilates. J Appel, Ecologies*, 12, 395.
- Black, M. (1970).** Drying and the onset of germinability in developing wheat grains cereal.res-commun 8:151-156.
- Blum A., (1988).** Plant breeding for stress environment –Baco.reaton.Florida – Ed CRC Press INC. 223p
- Blum A., (1996).** Crop responses to drought and interpretation. *Plant growth regulation*, 20:135-148.
- Blum, A. (1989).** Plant breeding for stress environments. Boca Raton: CRC Press Eds; 223p
- Bonjean A. et Picard E., (1990)-** les céréales à paille origine, historique, économie et sélection. Ed. Nathan, 235p.
- Bonjean A., (2001).** Histoire de la culture des céréales et en particulier celle du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Dossier de l'environnement de l'INRA, N°21 :29-37.
- Bouzerzour H., Djekoune A., Benmahammed A. et Hassous L.K. ,(1998).** Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement grain

de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. Cahiers d'agricultures. 8, 133-137.

**Boyer, J. S., & McPherson, H. G. (1975).** Physiology of water deficits in cereal crops. In *Advances in Agronomy* (Vol. 27, pp. 1-23).

**Brown SC et al. (1987)** Effects of fertilizer, variety and location on barley production under rainfed conditions in North-ern Syria. I. Root and shoot growth. *Field Crops Res* 16, 53-66.

### -C-

**Ceccarelli S .et Grandos S., (1992).** Sélection environnement and environnemental sensivity in barley. *Euphytica* ; 57 :157-167.

**Clarck J.M., Romagosa I., Jana S., Srivastava J. P et Mvaid T.N., (1989).** Relation of excised leaf water lose rate and yield of durum wheat in diverse environment. *Can.J.plant.Sci.* 69. 1059-1081.

### -D-

**Dakheell, A.J., Nadji, I., Mahalazkshmi, V. & Peacock, J.M., (1993).** Morphophysiological traits associated with adaptation of Durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Apects of Applied Biology.* 34: 297-307.

**Debaeke P, J Puech, Ml Casals, P Petibon. (1996).** Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. I. Étude en lysimètres. *Agronomie, EDP Sciences,* 1996, 16 (1), pp.3-23.

**Debiton, C. (2010).** Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy (Doctoral dissertation) 132p.

### -E-

**El- Hakimi A., (1992)** - Evaluation de la variabilité génétique des caractères d'adaptation à la sécheresse chez les espèces tétraploïdes sauvages et cultivées du blé. Thèse de Doctorat Montpellier, 220p.

### -F-

**FAOSTAT, (2017).** Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>.

**Febrero, A., Bort, J., Brown, R. H., & Araus, J. L. (1990).** The role of durum wheat ear as photosynthetic organ during grain filling. *Advanced trends in photosynthesis. Mallorca.*

**Feldman M., (1976)-** Taxonomique classification and names of wild, primitive cultivated, and modern cultivated wheat. In simmonds N.W. Ed, Evolution of crop plant Longman, London, 120 -128.

**Feldman M., (2001) -** Origin of cultivated wheat. Dans Bonjean A.P. et Angus W.J. Ed. The world wheat Book: a history of wheat breeding. Intercept limited, Andover, Angle Terre, 3-58.

**Feldman M., Lupton F.G.H., Miller T.E., (1995) -** Wheats. In J. SMARTT, N.W. SIMMONDS: Evolution of crop plants. Longman Group Ltd., London, 184-192.

**Fellah A., Bemahammed A., Djekoune A et Bouzerzour H.,( 2002) -**Sélection pour améliorer la tolérance au stress abiotique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) .Actes de l'IAV Hassan II,(Maroc) 22,161-170.

**Fischer, R.A. (1973).** The effect of water stress at various stages of development in yield processes in wheat. In: Slatyer RO, ed. Plant response to climatic factors. Proc Uppsala Symp. Paris: Unesco.

**Fisher R.A. et Maurer R., (1978)-** Drought resistance in spring resistance wheat cultivar.In grain yield responses.Aust. J. Agric.Res, 29:105-912.

**Fisher, R. A., & Maurer, R. (1978).** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses in spring wheat. *Australian J. Agric. Sci*, 29, 892-912.

**Focar, M., Nguyen, H.T. & Blum, A. (1998).** Heat tolerance in spring wheat. Grain filling. *Euphytica* 104 : 9-15.

### -G-

**Gate P., (1995).** Ecophysiologie du blé. Paris, Ed. Tec et Doc-Lavoisier, 250p.

**Gate p., Bouthier A., Casablanca H.et Deleens E., (1992).** Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivées en France. Interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique du carbone des grains. In : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. INRA Montpellier (France). Les colloques n° :64.

**Geslin, H., & Jonard, J. (1948, January).** Maturation du blé et climat. In *Annales de la nutrition et de l'alimentation* (pp. 361-371).

**Gregersen, P. L., Holm, P. B., & Krupinska, K. (2008).** Leaf senescence and nutrient remobilisation in barley and wheat. *Plant Biology*, 10, 37-49.

**Grennan, A. K. (2006).** Abiotic stress in rice. An “omic” approach. *Plant Physiology*, 140(4), 1139-1141.

**Grieu, P., Maury, P., Debaeke, P., & Sarrafi, A. (2008).** Améliorer la tolérance à la sécheresse du tournesol: apports de l'écophysiologie et de la génétique. *Innovations Agronomiques*, (2), 37-51.

**Grignac P., (1965).** Contribution à l'étude du (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 246p.

**Grignac P., (1977).** Le blé dur. Morphologie succincte. *Annales de l'INA*, vol. II ,83-97.

**Guettouche, R. (1990).** Contribution à l'identification des caractères morphophysiologiques d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) [Ph. D. Thèse de diplôme d'agronomie approfondie].

### -H-

**Hadjichristodoulou A., (1985).** The stability of the number of tiller of barley varieties and its relation with consistency performance under semi-arid conditions. *Euphytica*, 34,641-649.

**Hadjichristodoulou A., (1987).** The effects of optimum heading date and its stability on yield and consistency of performance of barley and durum wheat in dry areas. *J.Agric ; Sci.Camb*, 108,599-608.

**Hakimi M., (1992).** Les systèmes traditionnels basés sur la culture de l'orge .Porc.Symp.on the agronometeorology of rainfed barley and durum wheat in dry areas. *J.Agric.Sci.Camb*.103,35-42.

**Hamed M., (1979).** Plantes et cultures céréalières et des légumineuses. Syrie, 300p.

**Hanson AD et al. (1982).** Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Ann Rev Plant Physiol* ; 33 : 163-203.

**Harlan J. R. ET De Wet. J. M. J., (1971).** Toward a rational classification of cultivated Plants. *Taxon* 20:509-517.

**Harlan J.R., (1975).** Our vanishing genetics resources. *Science*, 188:618-621.

**Hazmoune T., (2006).** Le semis profond comme palliatif à la sécheresse. Rôle de la coléoptile dans la levée et conséquences sur les composantes du rendement. Thèse de Docteur d'Etat. Université de Constantine, 168p.

**Herve Y., (1979).** Introduction à l'amélioration des plantes. Cours, Ecole nationale Supérieure agronomique de Rennes, 120p

**Hikosaka, K., Ishikawa, K., Borjigidai, A., Muller, O., & Onoda, Y. (2006).** Temperature acclimation of photosynthesis : mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *Journal of experimental botany*, 57(2), 291-302.

**Houassine, D., Zaghouane, O., & Abdellaoui, Z. (2006).** Quelles perspectives pour l'agriculture de conservation dans les zones céréalières en conditions algériennes. *Options Méditerranéennes. Zaragoza (Espagne) : CIHEAM-IAMZ*, 183-187.

**Hurd, E.A. (1974).** Phenotype and drought resistance in wheat. *Agricultural Meteorology* 14: 19-25.

### -J-

**Jones, M.M., Rawson, H.M. (1979).** Influence of rate of development of leaf water deficits upon photosynthesis, leaf conductance, water use efficiency, and osmotic potential in sorghum. *Physiologia Plantarum*. 45 : 103–111.

### -K-

**Kara y. (2000).** Etude de caractères morphophysologiques d'adaptation à la sécheresse du blé et de quelques espèces apparentées. Intérêt potentiel de ces espèces pour l'amélioration de ces caractères. Thèse Doctorat d'état, université de Constantine 159p.

**Kara, Y., & Bellkhiri, C. E. (2011).** Etude des caractères d'adaptation au déficit hydrique de quelques variétés de blé dur et d'espèces sauvages apparentées : intérêt potentiel de ces variétés pour l'amélioration de la production. *Courrier du Savoir*, (11), 119-126.

**Kara, Y., & Zoghmar, M. (2011).** Etude des caractéristiques racinaires du statut hydrique et de l'ajustement osmotique de quelques géotypes de blés durs et d'espèces sauvages apparentées. *European Journal of Scientific Research*, 48(3), 434-445).

**Kara, Y., Martin, A., Souyris, I., Rekika, D., & Monneveux, P. (2000).** Root characteristics in durum wheat (*T. turgidum* conv. durum) and some wild Triticeae species. Genetic variation and relationship with plant architecture. *Cereal Research Communications*, 28(3), 247-254.

**Khaldoun, A., Chery, J., & Monneveux, P. (1990).** Étude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L).

**Kramer, P.J. (1980).** Drought stress and the origin of adaptation. MC. Graw - HILL New York, p.7 - 29.

### -L-

**Larbi, A., & Mekliche, A. (2004).** Relative water content (RWC) and leaf senescence as screening tools for drought tolerance in wheat. *Options Méditerranéennes. Série A, Séminaires Méditerranéens*, 60, 193-196.

**Levitt, J. (1980).** Responses of plants to environmental stresses. I chilling, freezing, and high temperature stresses. 2 ed. Academic press. NY. 640 pp.

**Ludlow et Muchow, (1990).** A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. *Adv Agron* ; 43 : 107-53.

### -M-

**MADR. (2012).** Annuaire statistiques du Ministère de l'agriculture et du développement Rural. Série B.

**Mazouz, L. (2006).** Etude de la contribution des paramètres phénomorphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans l'étage bioclimatique semi-aride. Mémoire de Magistère, Université Hadj Lakhdar, Batna, 70 p.

**McFadden E.S., Sears E.S., (1946)** - The origin of *Triticum spelta* and its free-threshing hexaploid relatives. In K.S. QUISENBERRY & L.P. REITZ: *Wheat and Wheat Improvement*, Madison, USA, 19-87.

**Mekliche, A. (1983).** Contribution à l'établissement de la fertilisation azotée du blé d'hiver dans le haut Chélif. Mémoire de magister. INA El Harrach, 81p.

**Meriem, Z., Youcef, K., Laid, F., Abd Esselem, Z., & Radia, B. (2016).** Morphological and agricultural diversity of durum wheat varieties sown in a semi-arid area. *Advances in Environmental Biology*, 10(4), 108-120.

**Monneveux Ph., (1991).** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? Amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris. 165-186.

**Monneveux, P., & This, D. (1997).** La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés : *Sécheresse* ,1(8) : 29-37.

**Morgan, J.M., Hare, R.A. & Fletcher, R.J., (1986).** Genetic variation in osmoregulation in bread and durum wheats and its relationship to grain yield in a range of field environments. *Aust. J. Agric. Res.* 37, 449-457.

**Mouellef, A. (2010).** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur. *Triticum durum*, 9-11.

**Moule C., (1980).** Céréales. Techniques d'avenir (agriculture). Ed .la maison rustique, 318p.

**Munns, R., James, R. A., & Läuchli, A. (2006).** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of experimental botany*, 57(5), 1025-1043.

**Narayan, R. K. J. (1991).** Molecular organisation of the plant genome : Its relation to structure, recombination and evolution of chromosomes. *Journal of Genetics*, 70(1), 43.

### -O-

**O'toole.J.C ET Cruz R.C., (1980).** Response of leaf water potential, stomatal resistance, and leaf rolling to water stress.*Plant physiology*, 51,993-997.

### -P-

**Papadakis J.S., (1938).** Ecologie agricole.Ed. JULES Ducolot.Gembloux.303p.

### -S-

**Sakamura T., (1918).** Kurze Mitteilung ueber die Chromosomenzahlen und die Verwandtschaftsverhaeltnisse der Triticum Arten. *Bot. Mag; Tokyo.* 32, 151-154.

**Siakhène N (1984).** Effet du stress hydrique Sur quelques espèces de luzerne Annuelle. Mémoire Ing Agr. INA. El Harrach.

**Simmond F., (1974).** Selection for local adaptation in plant breeding program.*App.Gen*, 8:363-367.

**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, Faculté des Sciences de Tunis.

**Soltner D., (1987).** Les grandes productions végétales (céréales-plantes-prairies).15eme Edition. Collection sciences et techniques agricoles : 461p.

**Soltner D., (2005).** Les grandes productions végétales 20eme Edition. Collection sciences et techniques agricoles, 472p.

**Souilah, R., Djabali, D., Belhadi, B., Mokrane, H., Boudries, N., & Nadjemi, B. (2014).** In vitro starch digestion in sorghum flour from Algerian cultivars. *Food Science & Nutrition*, 2(3), 251-259.

### -T-

**Teich A.H., (1982).** Interaction of awns and environment on grain yield in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Res. Commun*: 10, 11-15.

**Teich, A. H. (1982).** Interaction of awns and environment on grain yield in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Research Communications*, 11-15.

**Triboi, E. (1990).** Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre (*Triticum aestivum* em Thell).

**Turner N.C. (1979).** Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In: *stress physiology of crop plants*. Mussel H & staples R, ED, New York.

**Turner N.C., (2004).** Sustainable production of crops and pastures under drought in a Mediterranean environment. *Annals of Applied Biology*: 144, 139-147.

**Turner, N.C. (1986).** Adaptation to water deficit: a changing perspective. *Aust J Plant Physiol*; 13 :175-90.

**Turner, N.C. (1997).** Further progress in crop water relations. *Advances in Agronomy* 58: 293 338.

### -U-

**USDA, F. (2014).** United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. *Livestock and poultry: World Market and Trade*.

-V-

**Van Oosterom, E. J., Jayachandran, R., & Bidinger, F. R. (1996).** Diallel analysis of the stay-green trait and its components in sorghum. *Crop science*, 36(3), 549-555.

**Vavilov N.I., (1926).** Studies on the origine of cultivated plants. Leningrad, state press.

**Vavilov N.L., (1934).** The effect of water stress on translocation in relation to photosynthesis and growth.I. Effect during grain development in wheat.Aust J.Biol.Sci; 20:25-39.

-W-

**Watson, D. J. (1952).** The physiological basis of variation in yield. In *Advances in agronomy* (Vol. 4, pp. 101-145).

**William, G., Hopkins. (2003).** Physiologie végétale. Edition de boeck université. Paris. 453 p.

-Z-

**Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F. (1974).** A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14 : 415-421.

**Zerafa, c. (2017).** Diversité biologique dans les *Triticum* et *Hordeum*, possibilités de création d'une nouvelle variabilité génétique. Thèse de doctorat. Université des frères Mentouri Constantine : 181p.

**Zoghmar, M. (2007).** Etudes de caractères morphophysiologiques liés au rendement en condition de sécheresse sur quelques variétés de blés cultivées dans le Constantinois. Thèse de magister. Université des frères Mentouri Constantine : 127p.

**Zoghmar, M. (2019).** Adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) contribution de quelques solutés à l'ajustement osmotique : cas des sucres solubles, proline, potassium et nitrates. Thèse de doctorat. Université des frères Mentouri Constantine : 162p.

**Webographie**

**[www.pinterest.fr](http://www.pinterest.fr)**

<b>Soutenu le :</b>	<b>Présenté par :</b>
09 /09 /2020	Bouhelit Mohamed Abd essamed et Aimen Kassah
<b>Le thème :</b>	
Etude de caractères racinaires et morfo-phrénologiques de quelques variétés de blé soumis au stress hydrique cultivés dans le constantinois.	
<b>Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master</b> <b>Domaine : Science de la nature et de la vie</b> <b>Filière : Science Biologique</b> <b>Spécialité : Biodiversité et physiologie végétale</b>	
<p>Divers caractères phénologiques et morfo-physiologiques liés à la tolérance au stress hydrique (la date d'épiaison, la hauteur de la plante, la teneur chlorophylle totale, caractères racinaires) ont été étudiés chez quatre génotypes de blé d'origine diverses (deux génotypes de blé dur et deux génotypes de blé tendre) et à comportements agronomiques contrastés.</p> <p>Les résultats ont montré que le stress hydrique a affecté de manière significative la quasi-totalité des paramètres mesurés. Les stratégies d'adaptation développées par chaque génotype ont été décrites.</p> <p>La durée d'épiaison a permis de classer les génotypes en précoces et tardifs.</p> <p>Les génotypes les plus tolérants au stress hydrique sont ceux à cycle de croissance court et à épiaison précoce.</p> <p>Cette étude a permis de mettre en évidence la contribution du système racinaire riche en informations en particulier dans l'adaptation au déficit hydrique. Ceci suggère l'utilisation de ce paramètre comme critère de sélection pour améliorer la tolérance à la sécheresse.</p> <p>Les variétés GTA, et FLORENCE AURORE ont été définies comme étant des variétés performantes et tolérantes au stress hydrique dans l'état actuel de nos connaissances.</p>	
<b>Mots clés :</b> Blé dur, blé tendre, déficit hydrique, sécheresse, tolérance, adaptation, système racinaire, paramètres phénologiques, paramètres morfo-physiologiques.	
Jury d'évaluation :	
<b>Président : BENLARIBI M.</b>	Professeur Univ. Des Frères Mentouri – Constantine 1
<b>Rapporteur : KARA Y.</b>	Professeur Univ. Des Frères Mentouri – Constantine 1
<b>Examineur : ZOGHMAR M.</b>	M.C.A Univ. Des Frères Mentouri – Constantine 1
<b>2019-2020</b>	