



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABBES LAGHROUR- KHENCHELA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE MOLECULAIRE ET CELLULAIRE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADIMIQUE

FILIERE : SCIENCES BIOLOGIQUE

OPTION : GENETIQUE

Thème

**ETUDE CYTOGENETIQUE ET
SPECTROSCOPIQUE D'UNE VARIETE DE BLE
DUR (*Triticum durum Desf*) SOUS STRESS
HYDRIQUE**

Présenté par :

BOULIF Saida

Soutenu le : 12 juin 2018

Jury de soutenance Présidente

Président : Dr. Bouazza Liyass

MCB Université Abbes Laghrour _ Khenchela

Encadreur : Dr. Hamada Youcef

MAA Université Abbes Laghrour _ Khenchela

Examineur : Dr. Bensaada Mostafa

MCB Université Abbes Laghrour _ Khenchela

Promotion : 2017-2018

REMERCIEMENT

Je souhaite remercier, tout d'abord, **ALLAH**, le **TOUT PUISSANT**, de m'avoir aidé à achever ce modeste travail, les plus sincères remerciements aux personnes qui ont contribué de loin ou de près à l'élaboration de ce mémoire.

En premier lieu, j'exprime tout ma gratitude au mon encadreur Monsieur HAMADA Yousef pour l'attention qu'ils m'ont accordée durant ce semestre, pour leur disponibilité, les conseils précieux et fructueux qu'ils n'ont cessé de me prodiguer, Merci énormément pour tout ce que vous avez pu apporter dans la lecture et les corrections pertinentes de ce document. Votre esprit critique et votre capacité impressionnante à dénicher les erreurs ont été un atout dans la réussite de ce travail.

Mes vifs remerciements vont également au docteur monsieur BENZAADA Mustafa pour avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Mes sincères remerciements s'adressent également au docteur monsieur BOUAZZA Ilias pour avoir accepté d'examiner mon travail et pour le temps consacré à le.

Je tiens à remercier aussi Mlle BOUZIAN Zahira. et monsieur BOUMAZZA Charif Pour le temps qu'ils ont consacré et au pour toutes les suggestions qu'il a apportés pour en améliorer le document.

Je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude et ma plus grande reconnaissance envers ma famille.

Merci à tous.

Dédicaces

***A* ma famille**

***A* mes amies**

***A* tous les membres de ma promotion**

***A* tous mes enseignants depuis mes premières années d'études**

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des photos

Liste des tableaux

Introduction..... 01

CHAPITRE 01: ETUDE GENERALE SUR LE BLE DUR

I- Production du blé..... 05

I- 1. Le blé dans le contexte international..... 06

I- 2. Le blé dans le contexte national..... 07

II- Origine de blé..... 08

II- 1. Origine Géographique..... 08

II- 2. L'origine génétique..... 09

III- Classification botanique de blé dur..... 10

IV- Composition biochimique..... 11

V- Le cycle de développement de blé dur..... 15

V- 1. La période végétative..... 16

V- 2. La période reproductrice..... 17

V- 3. La période de maturation..... 17

VI- La répartition du blé dur en Algérie..... 20

CHAPITRE 02: LES CONTRINTES ABIOTIQUES

I- Les contraintes climatiques de blé.....	22
II- Définition du stress.....	22
II- 1. Définition de stress hydrique.....	22
II- 2. Effet du stress hydrique sur le blé.....	23
II- 2. 1. Effet du stress hydrique sur la germination.....	23
II- 2. 2. Effet du stress hydrique sur tallage.....	23
II- 2. 3. Effet du stress hydrique sur gonflement-Epiaison.....	23
II- 2. 4. Effet du stress hydrique sur Epiaison-Floraison.....	24
II- 2. 5. Effet du stress hydrique sur Maturation.....	25
IV- L'adaptation à la sécheresse.....	25
IV- A. Ajustement osmotique	25
IV- A. 1. Accumulation de la proline	25
IV- A. 2. L'accumulation de sucres solubles.	26
IV- B. Adaptations phénologiques	26
IV- C. Adaptations morphologiques	27
IV- C. 1. Système racinaire.....	27
IV- C. 2. Surface foliaire.....	27
IV- C. 3. Longueur des barbes.....	28
IV- 3. 2. Adaptations physiologiques.....	28
IV- D. 1. Régulation stomatique.....	28
V- Les gènes appliqués au cours du stress hydrique.....	29

CHAPITRE 03: MATERIELS ET METHODES

I- MATERIEL BIOLOGIQUE.....	31
II- METHODES.....	31
II- Mise à germination et disposition de l'essai.....	31

II- 1. Conditions de la Germination.....	31
II- 2. Prélèvement des racines.....	32
II- Technique de marquage des chromosomes « C Banding.....	33
III- Paramètres étudiées.....	34
III- 1. Paramètres physiologiques.....	34
III- 1. 1. Taux de germination (G%).....	34
III- 1. 2. Teneur moyenne en eau (TME %)......	34
III- 2. Paramètres morphologiques.....	35
III- 2. 1. Longueur de racine (cm).....	35
IV- spectroscopie infra-rouge.....	35
IV- 1. Principe.....	35
IV- 2. Appareil.....	35
IV- 3. Protocole.....	36

CHAPITRE 04: RESULTAT ET DISCUSSION

I- Analyse des paramètres physiologiques.....	40
I- 1. Analyse du taux de germination finale.....	40
I- 2. Analyse de teneur moyenne en eau.....	41
II- Analyse des paramètres morphologiques.....	42
II- 1. Analyse de longueur des racines.....	42
III- Concept de l'hétérochromatine.....	43
IV- Spectroscopie dans le proche infrarouge.....	44
Conclusion.....	47

Liste des annexes

Résumé

Liste des références

LISTE DES ABREVIATIONS

- **ABA:** L'acide abscissique
- **ARNm:** acide ribonucléique messenger
- **DRE:** Dehydration Responsive Element
- **G%:** Taux de germination
- **ICARDA:** The International Center for Agriculture Research in the Dry Areas
- **KBr:** Bromure de Potassium
- **LEA :** Late-Embryogenesis-Abundant
- **mL:** Millilitre
- **mM:** milli molaire
- **mm:** Millimètre
- **PF:** Poids frais
- **PS:** Poids sec
- **SH1/2:** stress hydrique 1/2
- **SIFR:** Spectrophotomètre Infra Rouge
- **SS:** sans stress
- **TME %:** Teneur moyenne en eau

LISTE DES PHOTOS

Photo 01. Jour "0" de mettre en germination de blé waha.....	31
Photo 02. Le jour "3" de mettre en germination de blé waha.....	32
Photo 03. Les prélèvements des points racinaires.....	32
Photo 04. L'hydrolyse des parois cellulaires des racines.....	33
Photo 05. Préparation de mélange waha/KBr.....	36
Photo 06. Les éléments de la presse hydraulique.....	37
Photo 07. Les spectres d'absorbance obtenir par la spectroscopie infra-rouge.....	38

LISTE DES FIGURES

Figure 01: Evolution de la production mondiale en millions de tonnes.....	05
Figure 02: Classement des principaux producteurs de blé mondiaux de 2015 à 2017 (en milliers de tonnes).....	06
Figure 03: Les dix grands premiers producteurs du blé dans le monde (10^6 t/an) à (2016-2017).....	07
Figure 04: Evolution du rendement de blé en Algérie de 1961 à 2011.....	08
Figure 05. Origine et diffusion de <i>Triticum turgidum</i>	09
Figure 06: Origines possibles du blé.....	10
Figure 07: Composition chimique de blé dur.....	12
Figure 08: composition protéique de la farine du blé.....	15
Figure 09: Différents stades de développement du blé.....	18
Figure 10: La carte de la répartition de blé dur en Algérie.....	20
Figure 11: Vitesse de germination de variété waha sous deux de stress hydriques en fonction de jour.....	40
Figure 12: La teneur relative en eau enregistrée chez variété waha sous deux stress hydrique.....	41
Figure 13: La mesure de la longueur de racine avec un papier millimètre.....	42
Figure 14: Observation microscopique des chromosomes métaphasiques	43
Figure 15: Spectre FTIR représentatif de blé "waha" 4000-500 (cm-1)	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N °1: Classification botanique de blé.....	11
Tableau N °2: La composition chimique du tissu d'un grain de blé.....	13
Tableau N °3: Affectations des bandes étiquetées.....	45

INTRODUCTION

INTRODUCTION

En Algérie, les céréales constituent les principales cultures, puisqu'elles sont cultivées sur une superficie annuelle d'environ 3,6 millions d'hectares (**MADR, 2012**). Parmi les céréales, le blé dur occupe une place de choix dans l'alimentation des populations algériennes (**Megherbi et al., 2012**). Cependant le rendement grain national de cette culture reste le plus faible du bassin méditerranéen (**Belaid, 2000**)

Le problème auquel est confrontée l'Algérie réside notamment dans le fait que le niveau de production céréalière nationale est loin de répondre aux besoins de la consommation ce qui fait de l'Algérie un important importateur du blé, particulièrement du blé dur.

Durant ces dernières années, la question de la qualité prend de plus en plus d'importance au niveau des recherches, tout particulièrement dans les programmes d'amélioration génétique. L'amélioration du rendement et de la qualité du blé dur passe donc par la création variétale et le choix de critères fiables pour l'identification de mécanismes d'adaptations aux contraintes environnementales. Parmi ces critères, la stabilité du rendement, la tolérance aux stress abiotiques.

La phase de germination constitue une étape primordiale dans l'installation des cultures et sur laquelle repose la réalisation de la croissance précoce des plantes et le mode de déroulement des stades ultérieures de développement. L'eau constitue un élément principal et déterminant dans le déroulement du processus de la germination des graines. Le passage de la vie latente des graines desséchées à la vie active, est conditionné par une absorption massive de l'eau, dont la quantité et la qualité influent grandement la réalisation de ce processus. L'activation du processus métabolique au niveau des graines en germination est gérée par le potentiel hydrique interne de ces organes et dont l'eau constitue l'élément moteur de sa régulation.

Différents travaux démontrent que le déficit hydrique constitue le principal stress qui réduit significativement le déroulement optimal de la germination. L'abaissement du potentiel du milieu de germination traduit une réduction prononcée de la prise d'eau par les graines en germination (**Rebetzke et al., 2008**)

L'objectif du présent travail consiste à une analyse du comportement d'une variété de blé dur, « waha », soumise à deux niveaux de stress hydrique au stade germinatif, en effectuant une étude comparative de quelques mécanismes de tolérance.

INTRODUCTION

Notre mémoire est composé de deux parties : La première partie qui est une étude bibliographique comporte deux chapitres : le premier chapitre est consacré aux généralités sur le blé dur, tandis que le deuxième chapitre présente des généralités sur le stress hydrique et ses effets sur la phase de germination. La deuxième partie est une étude expérimentale qui comporte deux chapitres : le premier chapitre est consacré aux matériel et méthodes utilisés dans les différents tests technologiques (Spectre IR, Paramètres physiologiques, Paramètres morphologiques, C-banding) et le deuxième chapitre présente les résultats et leur interprétation. Une conclusion et des perspectives sont enfin données

I- Production du blé

I- 1. Le blé dans le contexte international

Le blé occupe la première place pour la production mondiale et la deuxième après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines, il assure 15% de ses besoins énergétiques (Bajji, 1999). L'utilisation mondiale de blé en 2017-2018 devrait atteindre un niveau record de 736,4 millions de tonnes, soit 0,4 pour cent (2,8 millions de tonnes) au-dessus des prévisions précédentes ; qui concernant l'utilisation mondiale de blé et qui sont désormais supérieures de 0,3 % (2,5 millions de tonnes) à celles de 2016-2017. La hausse tient essentiellement au relèvement des prévisions pour l'utilisation industrielle, tandis que l'augmentation par rapport à 2016-2017 est due principalement à un accroissement prévu de 1,2 % de la consommation alimentaire de blé. En Afrique australe, les pluies récentes ont partiellement apaisé les préoccupations initiales suscitées par le temps sec, mais la production devrait tout de même reculer par rapport aux niveaux élevés de 2017 (FAO, 2018).

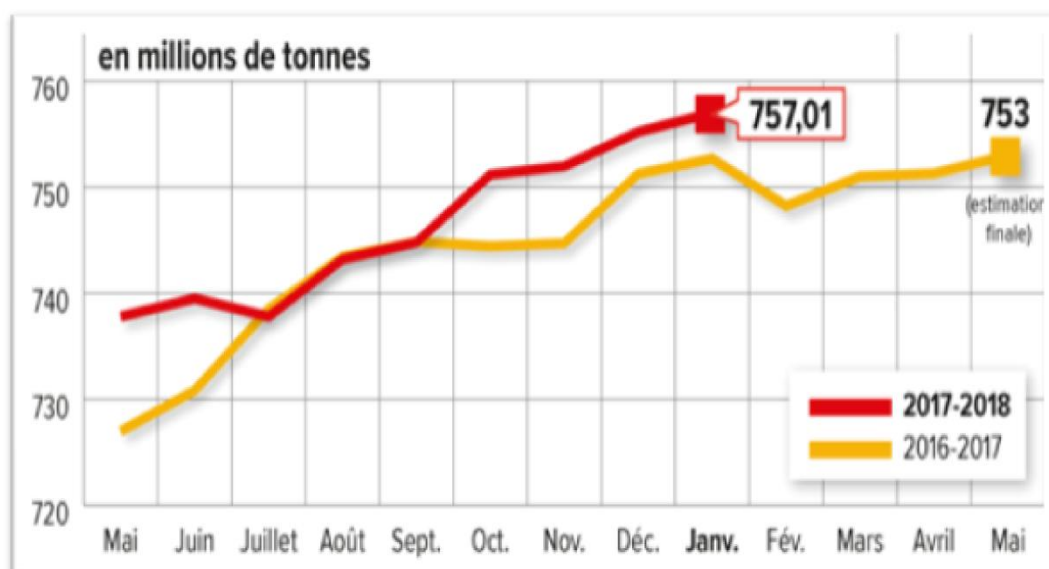
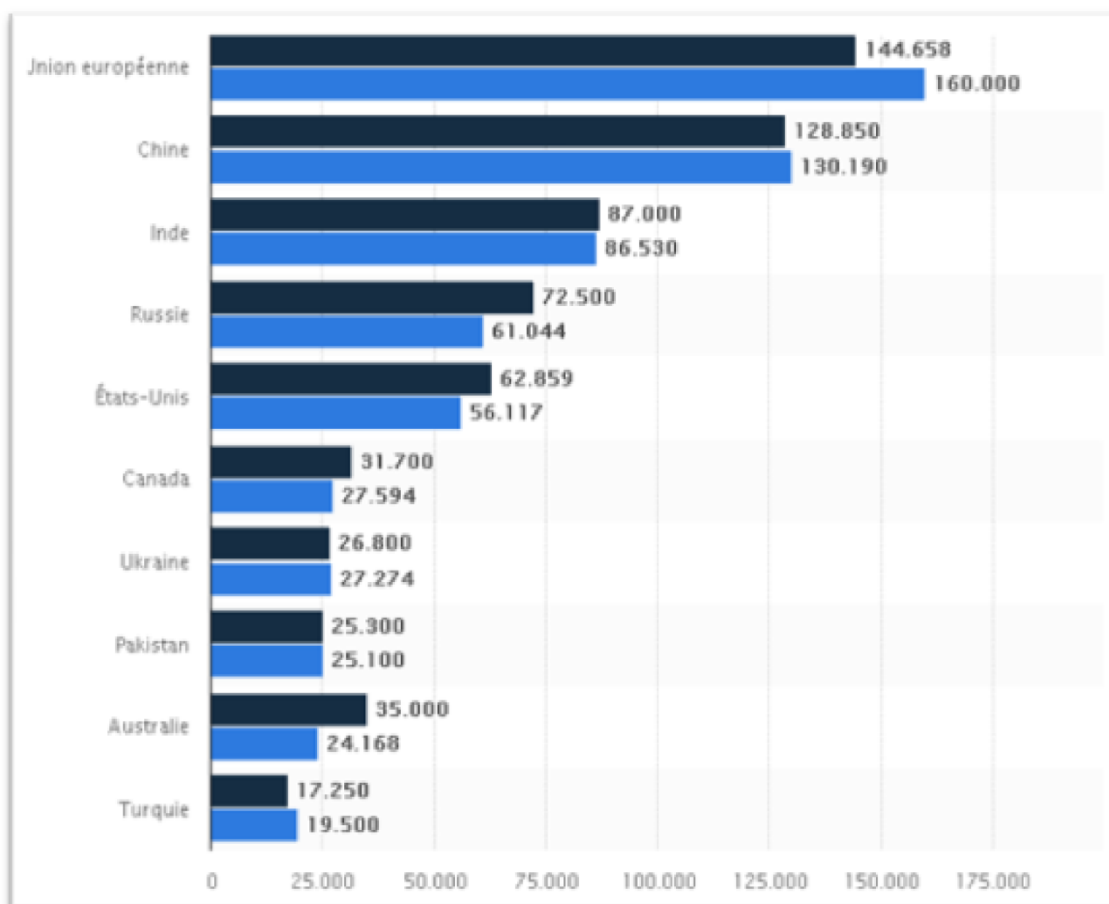


Figure 01. Prévisions d'évolution de la production mondiale en millions de tonnes (2017-2018) d'après (<https://fr.statista.com>)



● 2015/2016

● 2016/2017

Figure 02. Classement des principaux producteurs mondiaux de blé de 2015 à 2017 (en milliers de tonnes) d'après (<https://fr.statista.com>)

I- 1. 1. Importance économique

A travers le monde, le blé est cultivé dans différentes conditions climatiques, des latitudes Nord du Canada et de la Chine aux régions Sud de l'Amérique du Sud et de l'Australie. Le blé est adapté à une large gamme de conditions climatiques et pédologique et il est cultivé principalement en conditions pluviales. (Curtis, 2002).

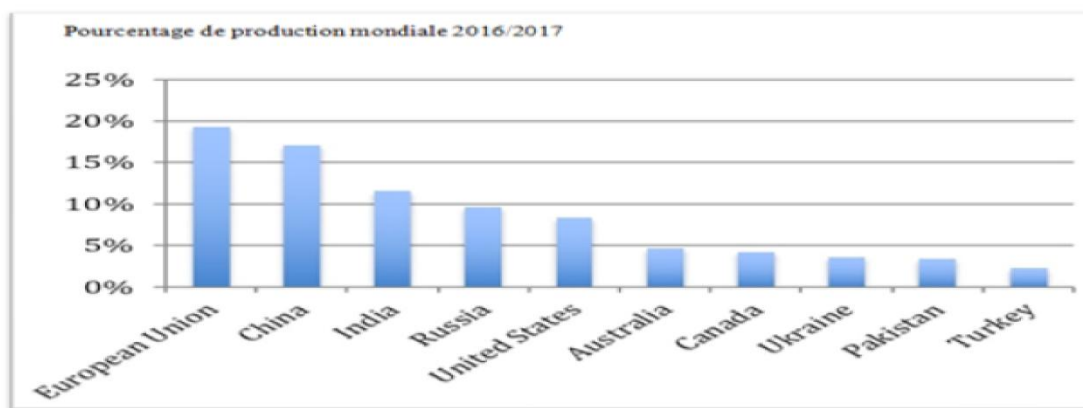


Figure 03. Les dix grands premiers producteurs de blé dans le monde (10^6 t/an) à (2016-2017) d'après (<https://fr.statista.com>)

I- 2. Le blé dans le contexte national

La superficie totale de l'Algérie est de 238 174 100 hectares dont 4/5 sont occupés par le Sahara. La surface agricole utile est de 7,14 millions d'hectares, dont près de la moitié est laissée en jachère à chaque campagne. Les cultures herbacées couvrent 3,8 millions d'hectares, la céréaliculture constitue la principale activité, notamment dans les zones arides et semi-arides. Les terres annuellement emblavées représentent 50,42% des terres labourées (**Kadi et al., 2010**). La superficie occupée par le blé dur varie de 544 000 hectares en 2000 à 1,7 millions hectares en 1998, avec 1,12 millions d'hectares, en moyenne pour la période 1997/98 – 2011/2012. Son aire culturale actuelle correspond à l'ensemble des zones céréalières de l'Algérie, où la pluviométrie annuelle moyenne varie entre 350 et 600 mm (**Hamadache et al., 2002**). L'importance des superficies occupées par le blé dur, comparativement à la superficie occupée par le blé tendre et l'orge est influencée par le prix à la production garanti par l'état. Ces prix sont de 4800, 3800 et 2800 respectivement pour le blé dur, le blé tendre et l'orge. La production nationale en blé dur est encore faible, elle ne couvre que 20 à 25 % des besoins du pays, le reste étant importé. Au niveau national, la culture du blé souffre encore de plusieurs carences techniques. En effet, le potentiel génétique des variétés cultivées actuellement au niveau national n'est exploité qu'à 30 ou à 40% (**Hamadache et al., 2002**).

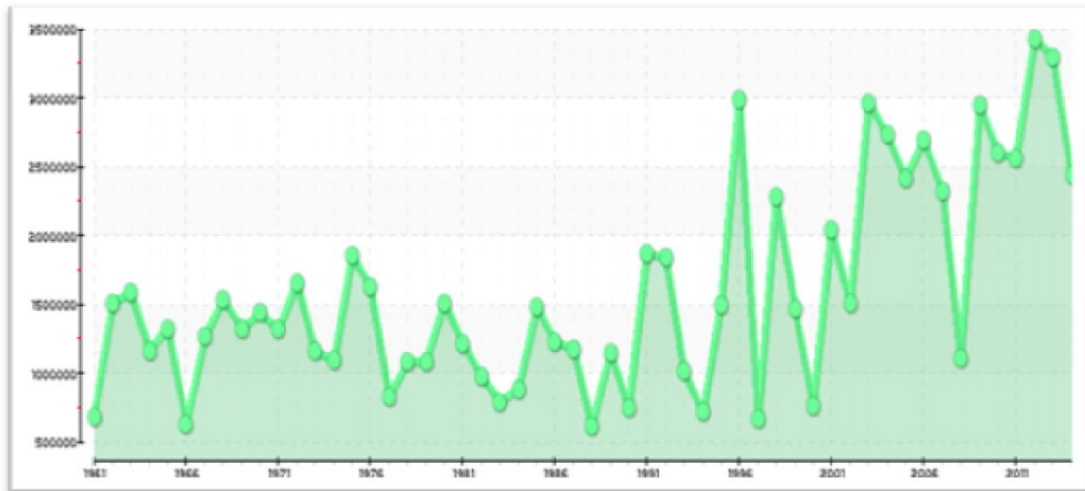


Figure 04. Evolution du rendement de blé en Algérie de 1961 à 2011 d'après (<https://fr.actualitix.com>)

II- Origine du blé

II- 1. Origine Géographique

Du latin médiéval « blada » (plusieurs collectif neutre, récolte, dérivé du francique « bled » produit de la terre). En ancien français, le mot s'employait d'une façon générale à propos de diverses céréales dont le grain sert à l'alimentation. Il est devenu, en France et en Suisse mais pas en Belgique, synonyme de « froment » (Couplan F., 2000). Le blé est l'une des premières espèces cultivées par l'homme. Depuis plus de 7000 à 10000 ans le blé occupe le croissant fertile, zone couvrant la Palestine, la Syrie, l'Irak et une grande partie de l'Iran (Cherfia, 2010).

L'aire géographique du blé est le Tigre et L'Euphrate en Iraq, elle s'est étendue jusqu'au Nil en Egypte où des variétés de blé ont été découvertes dans les temples égyptiens. Par ailleurs, des peintures murales témoignent de son existence 1300 ans avant notre ère en Amérique et même en Australie.

On a retrouvé en Palestine le blé sauvage à l'Est de la mer morte et dans les régions de Syrie ainsi que sur les côtes et dans les vallées Magrébines.

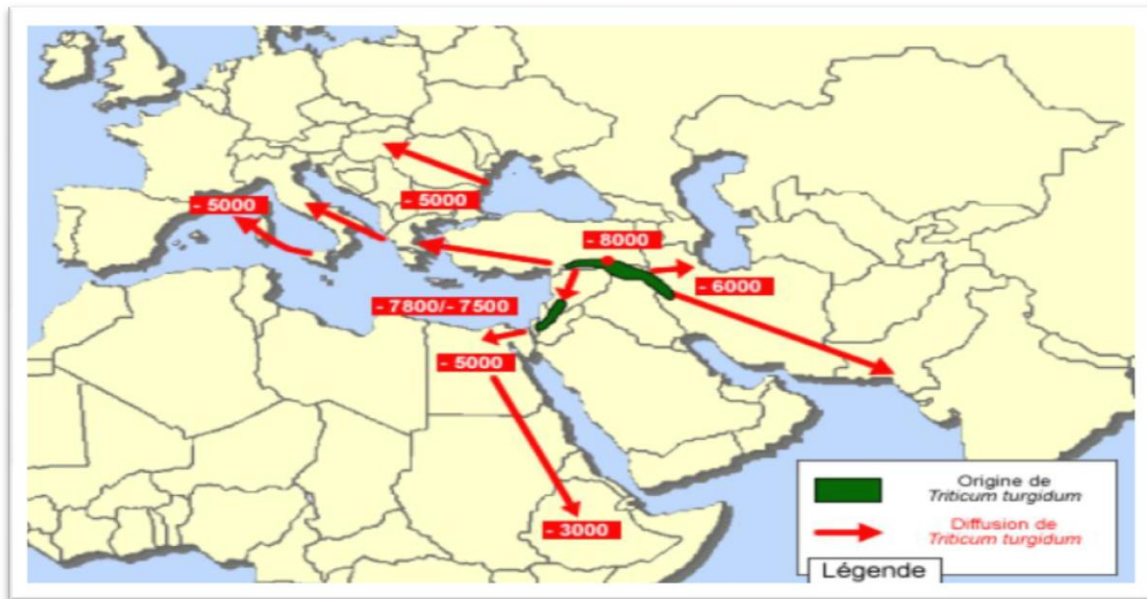


Figure 05. Origine et diffusion de *Triticum turgidum* (Bonjean, 2001).

II- 2. L'origine génétique

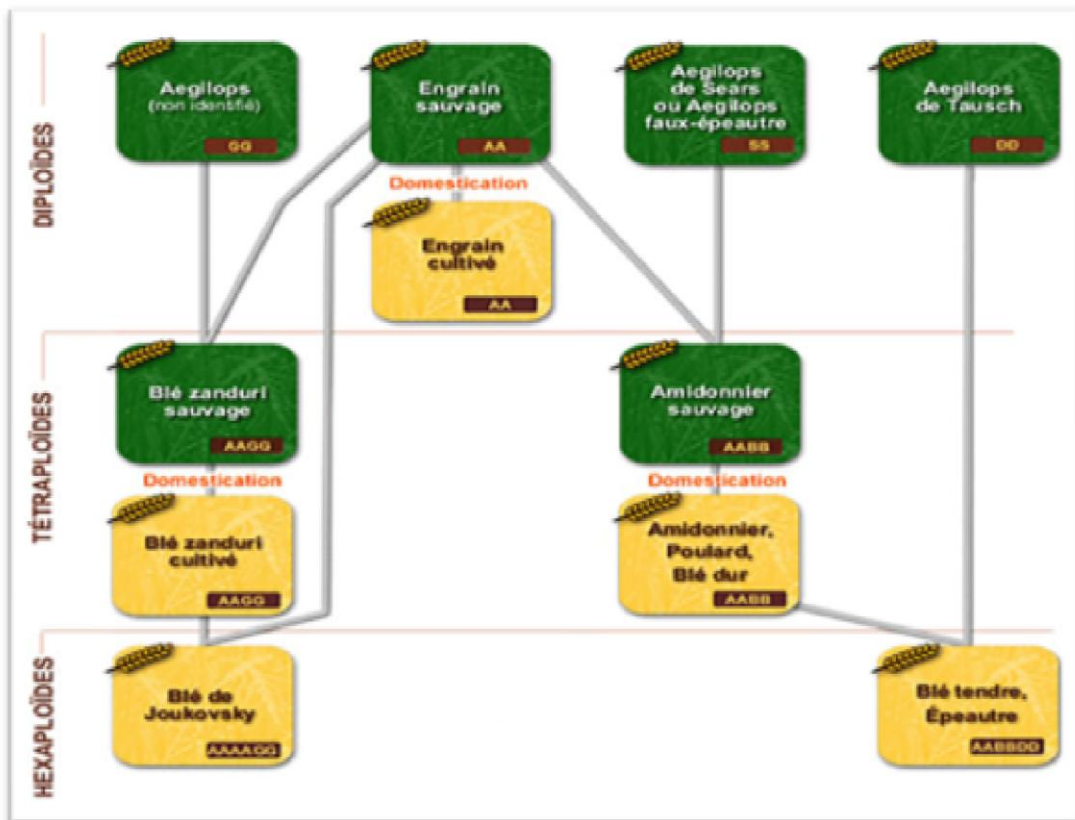
Le blé est composé de deux espèces ; Le blé dur *Triticum turgidum* var durum possédant ($2n= 4X=28$ chromosomes), dont l'aire d'extension est surtout constituée de zones arides et semi-arides, Le blé tendre *Triticum aestivum* var. *aestivum* possédant ($2n =6X= 42$ chromosomes) dont l'adaptation agrotechnique est très large (Bonjean et Picard, 1990). L'aire d'origine des blés est le proche Orient, dans la zone dite du Croissant fertile, l'Irak, la Syrie et la Turquie (Baldy, 1986). La diffusion du blé vers l'Europe, l'Asie et l'Afrique du Nord est très ancienne. Le blé tendre (*Triticum aestivum*) est apparu entre 5000 et 6000 ans avant Jésus-Christ dans le croissant fertile puis s'est dispersé à partir de la Grèce en Europe (Doussinault et al., 1992). La route la plus ancienne de diffusion des céréales vers les pays du Maghreb fut à partir de la péninsule italienne et de la Sicile (Boulal et al., 2007). D'après, (Feillet, 2000) les deux espèces de céréales les plus cultivées sont :

- Le blé dur (*Triticum durum*) : AABB ($2n = 4x = 28$) Tétraploïde ;
- Le blé tendre (*Triticum aestivum*) : AABB DD ($2n = 6x = 42$) Hexaploïde.

La filiation génétique des blés est complexe et incomplètement élucidée. Le croisement naturel *Triticum monococcum* (génome A) X *Aegilops* (génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoïdes*), qui a ensuite progressivement évolué vers *Triticum turgidum* ssp *Dicoccom*, puis vers *Triticum durum* (blé dur cultivé). Les blés tendres cultivés (AABBDD) seraient issus d'un

CHAPITRE 01: ETUDE GENERALE SUR BLE DUR

croisement, également naturel, entre *Triticum turgidum* ssp, *dicoccum* (AABB) et *Aegilops squarrosa* (DD). Le blé dur est allo tétraploïde (deux génomes : AABB), comptant au total 28 chromosomes ($2n=4x=28$), contenant le diploïde complet des chromosomes de chacune des espèces souches. Comme tel chaque paire de chromosome du génome à une paire de chromosomes homologues dans le génome B, à laquelle elle est étroitement apparentée. (Meyer *et al.*, 2008)



Taxon:



sauvage



domestique

Figure 06. Origines possibles du blé d'après (<http://www.zeblog.com>)

III- Classification botanique de blé dur

Le blé dur obéit à la classification suivante dans le tableau N°1 (Feuillet, 2000): C'est une espèce annuelle qui fait partie de la classe botanique des monocotylédones et de la famille des graminées .C'est une espèce autogamie de jours longs. C'est la première céréale cultivée et largement consommée en Algérie et dans le monde (Hamadache A.,

CHAPITRE 01: ETUDE GENERALE SUR BLE DUR

2001). C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscant, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments. Les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*) (Feuillet, 2000).

Tableau N °1. Classification botanique de blé (Feuillet, 2000).

Embranchement	Angiospermes
Sous embranchement	Spermaphytes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Glumiflorales
Super ordre	Comméliniflorales
Famille	Gramineae
Tribu	Triticeae
Sous tribu	Triticinae
Genre	Triticum
Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf

IV- Composition biochimique du grain de blé

Le grain est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (10 à 15% selon les variétés et la condition de culture) et de pétouanes (8 à 10%) les autres constituants, pondéralement mineurs (quelques % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (Hamadache, 2001)

IV- 1. Les glucides (sucres)

Sont des composés constitués de carbone, d'hydrogène et d'oxygène et renfermant un groupement "ose". Substances particulièrement énergétiques, les glucides sont nettement majoritaires dans le blé (plus de 60% de la matière humide ou 80% de la matière sèche), ils sont principalement constitués par de l'amidon, sucre complexe, rassemblé sous forme de granules sphériques ou lenticulaires de 1 à 40 µm de diamètre.

IV- 2. Les protéines

CHAPITRE 01: ETUDE GENERALE SUR BLE DUR

Quantitativement, c'est le deuxième constituant du grain : sa teneur varie entre 10 et 12.5% de la matière humide. Il s'agit essentiellement de protéines polymères d'acides aminés de poids moléculaire relativement élevé (plus de 70.000 Daltons) et constituées d'une cinquantaine d'éléments classés d'après leurs propriétés de solubilité saline diluée) (Feuillet, 2000)

IV- 3. Les lipides

Ils représentent, en moyenne, 2-3% du grain sec de blé et sont en majorité associés aux protéines et à l'amylose. Ils comportent les acides gras insaturés (acide oléique et acide linoléique) ainsi que les acides gras saturés (acide palmitique, acide stéarique) et enfin les lipides libres

IV- 4. Les matières minérales

Sont présentes dans 2 à 3% de la substance humide du grain. Le potassium (K) et le phosphore (P) constituent 50% des matières minérales. On y trouve également du soufre, du magnésium, du chlore et du calcium. (Feuillet, 2000)

IV- 5. Les vitamines

La teneur du grain de blé en vitamines est très faible; elle s'exprime en milligrammes pour 100 grains. Cependant, son intérêt nutritionnel est important. Il est à noter que le grain de blé est surtout riche en vitamine B1 (thiamine), vitamine B2 (riboflavine)

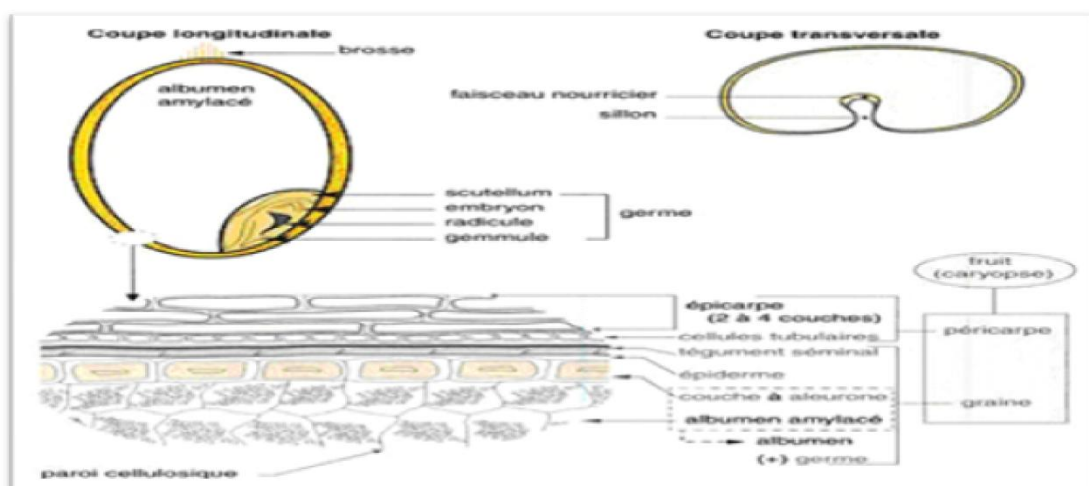


Figure 07. Composition chimique de blé dur d'après (Feuillet, 2000).

CHAPITRE 01: ETUDE GENERALE SUR BLE DUR

Tableau N °2. La composition chimique du tissu d'un grain de blé d'après (Feuillet, 2000).

	Germe (3)		Albumen (84)		Aleurone (7)		Péricarpe (6)		grain %G
	%G	%T	%G	%T	%G	%T	%G	%T	
Protéines	6.8	31	73.5	12	15.3	30	4.4	10	13.7
Lipides	13.5	12	62.9	2	23.6	9	0	0	2.7
Amidon	0	0	100	82	0	0	0	0	68.9
Sucres réducteurs	37.3	30	62.7	1.8	0	0	0	0	2.4
Pentosane	2.9	7	18.3	1.6	43.8	4	35.1	43	7.4
Cellulose	2.2	2	3.1	0.1	7.6	3	87.1	40	2.8
Minéraux	9.7	6	22.6	0.5	43.6	12	22.6	7	1.9

%G = % du constituant dans le grain ; %T = % du constituant dans tissu
= % du tissu dans le grain (Feuillet, 2000).

IV- 6. Caractéristiques biochimiques des protéines du blé

Osborne, en 1907, a été le premier à s'intéresser à la classification des protéines du grain de blé. En 1924, il définit quatre groupes de protéines caractérisés par leur solubilité dans différents milieux (Osborne, 1924) :

- les albumines qui sont solubles dans l'eau ;
- les globulines qui sont solubles dans les tampons salins ;
- les gliadines qui sont solubles dans une solution d'alcool à 70% ;
- les gluténines qui sont solubles dans une base ou un acide ou des détergents en présence d'un réducteur.

Cette classification a été revue en **1986** par **Shewry** et collaborateurs qui ont proposé deux grandes catégories :

- les protéines métaboliques : les albumines et globulines, les amphiphiles ;
- les protéines de réserves : les gliadines et les gluténines.

IV- 6. 1. Les protéines métaboliques

IV- 6. 1. a) Les albumines et globulines

Les albumines et globulines représentent 15 à 20% des protéines présentes dans la farine de blé et sont solubles respectivement dans l'eau et les tampons salins. Ce groupe de protéines est très diversifié de par ses propriétés physicochimiques (compositions en acides aminés, points isoélectriques et poids moléculaires). Ces protéines participent à la formation du grain et à l'accumulation des réserves dans l'albumen (**Vensel *et al.*, 2005**).

IV- 6. 1. b) Les protéines amphiphiles

Les protéines amphiphiles représentent entre 5 et 9% des protéines présentes dans la farine de blé. Elles possèdent un pôle hydrophobe et un pôle hydrophile. Ces protéines sont solubles dans le détergent Triton X114 et sont liées aux membranes. Elles jouent un rôle important dans la qualité, notamment les puroindolines qui sont connues pour avoir un effet sur les propriétés technologiques de la pâte (**Igrejas *et al.*, 2001**). Les travaux réalisés par (**Amiour *et al.*, 2003**) ont permis d'assigner certaines de ces protéines sur les chromosomes du blé tendre.

IV- 6. 2. Les protéines de réserves

Les protéines de réserves font partie des prolamines et sont constituées par un mélange complexe de protéines. Chez le blé, les gènes codant pour ces protéines sont situés sous forme de « cluster » de 2 à plus de 40 séquences codantes dépourvues d'introns sur les bras courts et longs des chromosomes du groupe 1 et les bras courts des chromosomes 6A, 6B et 6D. Ces protéines ont largement été étudiées du fait de leur relation avec la qualité technologique du blé. Une synthèse bibliographique a été rassemblée par **Wrigley, Békés et Bushuk** en **2006** dans l'ouvrage « Gliadin and Glutenin : the unique balance of wheat quality ». Les prolamines regroupent d'une part les protéines monomériques (les gliadines) et d'autre part les protéines polymériques (les gluténines) qui

CHAPITRE 01: ETUDE GENERALE SUR BLE DUR

sont elles mêmes constituées de deux sous groupes : les sous unités de gluténines de haut poids moléculaire (SG-HPM) et les sous unités de gluténines de faible poids moléculaire (SG-FPM). D'une manière générale, la proportion entre ces différentes prolamines est la suivante : 40% de gliadines, 40% SG-FPM et 20% de SG-HPM.

Ces protéines ont aussi été classées selon leur composition et séquences. On distingue :

- les prolamines riches en soufre ;
- les prolamines pauvres en soufre ;
- les prolamines de haut poids moléculaire

Les prolamines riches en soufre représentent 70% des prolamines et sont constituées des gliadines de type α , β , γ et des SG-FPM. Les prolamines pauvres en soufre représentent entre 10 et 12% des prolamines totales et sont exclusivement constituées des gliadines de type ω . Les prolamines de haut poids moléculaire représentent 20% des prolamines. Les SG-HPM peuvent être de deux types différents : x et y. Ces prolamines ont la capacité de former des structures polymériques avec les SG-FPM et certaines gliadines par l'intermédiaire de ponts disulfures. La masse du réseau polymérisé, en fonction des allèles de gluténines et gliadines, va de 600000 Da à plus de 107 Da.

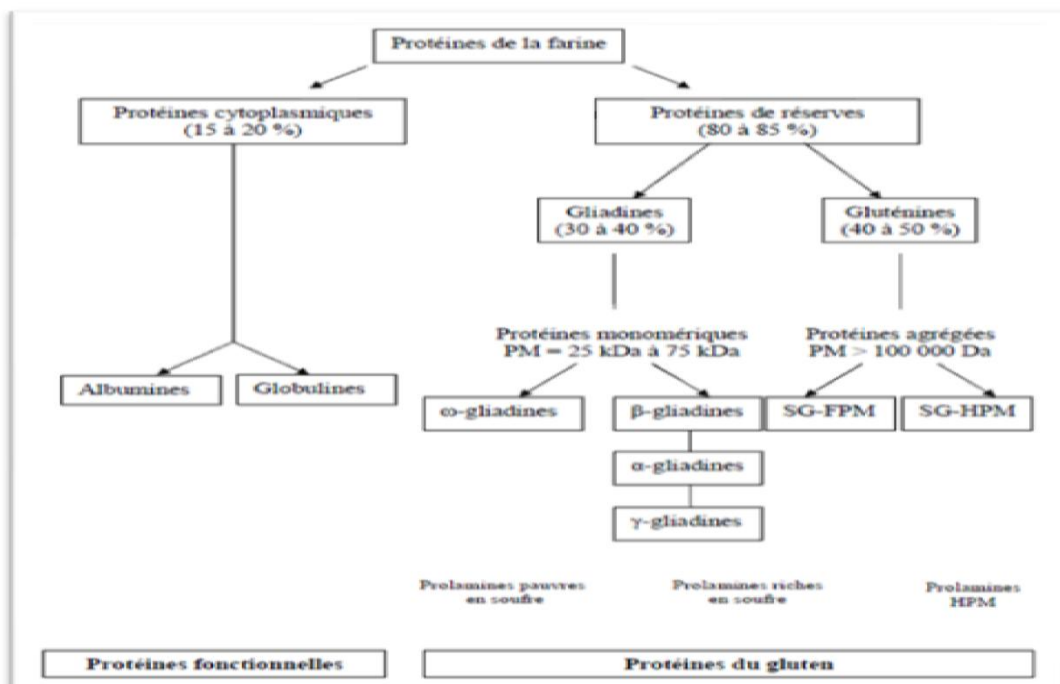


Figure .8 composition protéique de la farine du blé (rapprochement des classifications de Shewry P., et al., 1986)

V- Le cycle de développement du blé dur

Dans ce cycle annuel, une série d'étapes séparées par des stades repères permettant de diviser en trois périodes la vie des céréales:

- La période végétative
- La période reproductrice
- La période de maturité (**Soltner, 2005**).

V- 1. La période végétative

Cette période s'étale de la levée jusqu'à la fin tallage :

V- 1. 1. La levée :

La levée se fait réellement dès la sortie des feuilles à la surface du sol. La levée est notée quand 50% des plantes sont sorties de la terre. Pendant cette phase, les jeunes plantes sont sensibles au manque d'eau qui provoque une perte des plantes et au froid qui provoque le déchaussage (**Karou et al., 1998**).

V- 1. 2. Stade de 02 à 03 feuilles :

Cette période est caractérisée par le nombre de feuilles de la jeune plante et leur stade de développement. Après la levée, les ébauches foliaires entassées en position alternée de la base jusqu'au tiers médian de l'apex croissent et émergent les unes après les autres selon un rythme régulier, (exprimé par degrés jour) à ce stade, le nombre de pieds au m² première composante de l'élaboration du rendement est définitivement établi sauf accident ultérieur. A ce stade il n'est pas nécessaire d'arracher les plantes ; le comptage est effectué sur 20 ou 40 plantules selon le niveau d'hétérogénéité de la levée. La détermination d'un stade foliaire précis oblige des comptages successifs pour l'encadrer il est alors recommandée d'observer toujours les mêmes plantes ce qui nécessite un étiquetage préalable afin de les identifier sans ambiguïté (**Rapilly, 2003**).

V- 1. 3. Le stade « 3-4 feuilles » :

Le stade "3-4 feuilles" est une phase repère pour le développement du blé. Des bourgeons se forment à l'aisselle des feuilles et donnent des pousses – ou thalles, ou talles.

Chaque thalle primaire donne des thalles secondaires. Apparaissent alors, à partir de la base du plateau de tallage, des racines secondaires ou adventives, qui seront à l'origine de l'augmentation du nombre d'épis (**Lehavre, 2011**).

V- 1. 4. Le tallage :

Le tallage est caractérisé par l'entrée en croissance de bourgeons différenciés à l'aisselle de chacune des premières feuilles : il s'agit d'un simple processus de ramification.

a. Début tallage :

C'est la ramification de la tige principale ou maître brin. La première talle (T1) apparaît à l'aisselle de la première feuille (F1). D'autres talles primaires naissent à l'aisselle de la 2^e, 3^e et 4^e feuille du maître brin. Cette zone de ramification s'appelle le plateau de tallage. Au même temps, on note l'apparition d'une ou deux racines dites adventives. Ce sont des racines de tallage ou coronales. Le tallage est une caractéristique variétale, il dépend donc de la vitesse de la croissance de la variété, qui est elle-même sous le contrôle des facteurs externes. (humidité du sol, la température, la photopériode,.....) (**Hamadache, 2001**).

b. Fin de tallage :

La fin de tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive (**Hadria, 2006**).

V- 2. La période reproductrice

La période reproductrice comprend plusieurs stades :

1- le stade A, il correspond à l'initiation florale c'est-à-dire transformation du bourgeon végétative en bourgeon florale.

2- Le stade B, il marque la fin du tallage et le début de la montaison. A ce stade, la croissance des talles est stoppée et les glumes sur le jeune épi à se former.

3- La montaison, elle correspond à l'allongement des entre-nœuds, sa durée est de 28 à 30 jours. (**Soltner, 2005**). À ce stade, un certain nombre de talles herbacées commence à régresser alors que, d'autres se trouvent couronnées par des épis. Pendant ce

CHAPITRE 01: ETUDE GENERALE SUR BLE DUR

stade de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus (Mazouz, 2006).

4- L'épiaison, l'épi émerge de la gaine de la dernière feuille, la formation des organes floraux est terminée et la fécondation s'effectue, la durée de ce stade est de 32 jours.

5- Le grossissement des grains, l'activité photosynthétique à ce stade est intense et la matière sèche synthétisée est destinée à l'accumulation des réserves (Soltner, 2005).

V- 3. La période de maturation

La teneur en humidité atteint environ 20%; le grain est mûr et prêt à être récolté, c'est alors la période des moissons (Bellebcir, 2008).

Durant cette période, les substances de réserve (amidon, matières protéiques) s'élaborent et migrent dans l'albumen. L'embryon se forme. Elle comprend trois phases principales :

V- 3. 1. Une phase de multiplication cellulaire intense (12 à 15 jours chez le blé)

Un accroissement du poids d'eau et de matière sèche dans le grain se produit. A la fin de cette phase, l'amande encore verte a pris sa forme définitive, l'albumen est devenu laiteux : c'est le stade laiteux.

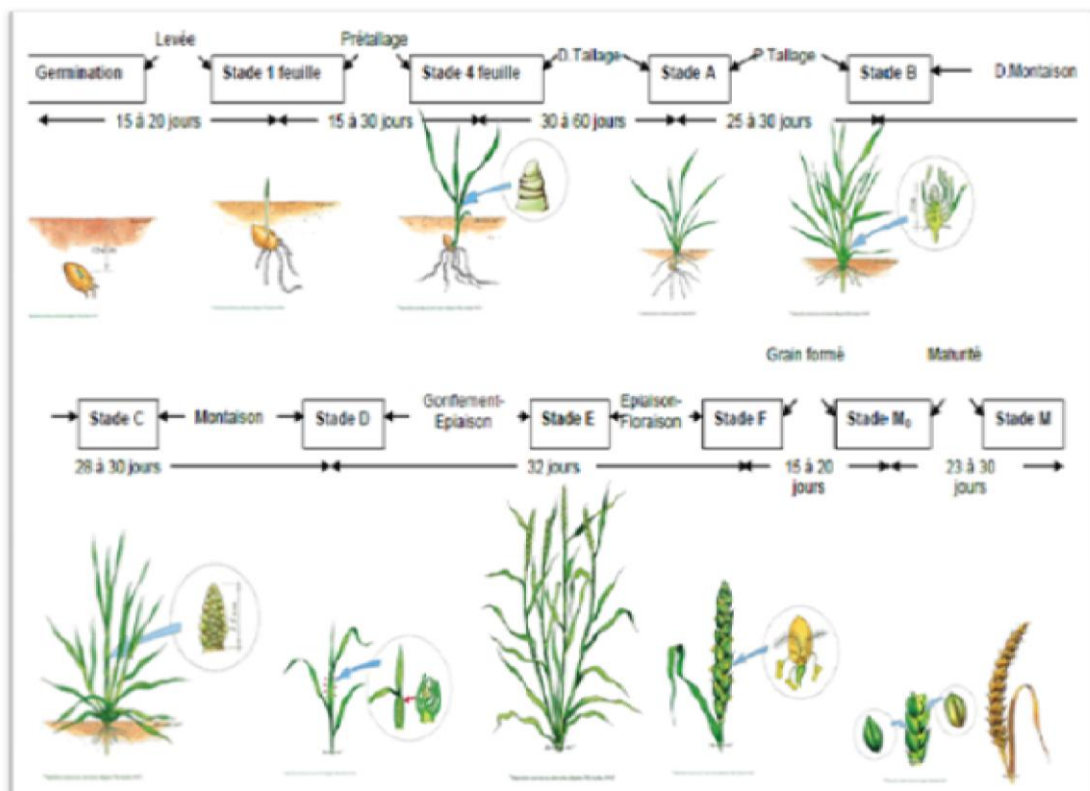


Figure 09. Différents stades de développement du blé (cycle de **Soltner, 2005** modifié)

VI- La répartition du blé dur en Algérie

En Algérie, le blé dur (*Triticum durum* Desf), est la première céréale cultivée dans le pays. Elle occupe annuellement plus d'un million d'hectares. La production nationale en blé dur est encore faible, elle ne couvre que 20 à 25 % des besoins du pays, le reste étant importé.

La cause principale de la faiblesse de la production du blé dur en Algérie est le faible niveau de productivité (rendement) obtenu, soit 9 à 11 quintaux/hectare. Cette faible productivité est elle-même due à des contraintes abiotiques (pluviométrie surtout), biotiques (adventices, surtout) et humaines (itinéraires techniques appliqués etc...)

A cet effet, on distingue trois zones céréalières en fonction des quantités de pluie reçues au cours de l'année et des quantités de céréales produites (**Mouelef, 2010**)

1- Une zone à hautes potentialités (Z1) : on y trouve une pluviométrie moyenne supérieure à 500 mm/an, avec des rendements moyens de 20qx/ha.

Del' Algérois et Mitidja, bassin des Issers, vallées de la Soummam et de l'Oued El Kébir, vallée de la Seybouse...).

2- Une zone à moyennes potentialités (Z2) : caractérisée par une pluviométrie supérieur comprise entre 400 et 500 mm/an, mais sujette à des crises climatiques élevées, les rendements peuvent varier de 5 à 15qx/ha (coteaux de Tlemcen, vallées du Chélif, massif de Médéa...).

3- Une zone à basses potentialités (Z3) : caractérisée par un climat semi-aride et située dans les hauts plateaux de l'Est et de l'Ouest et dans le Sud du Massif des Aurès. La moyenne des précipitations est inférieure à 350 mm par an. Ici, les rendements engrains sont le plus souvent inférieurs à 8qx/h

CHAPITRE 01: ETUDE GENERALE SUR BLE DUR

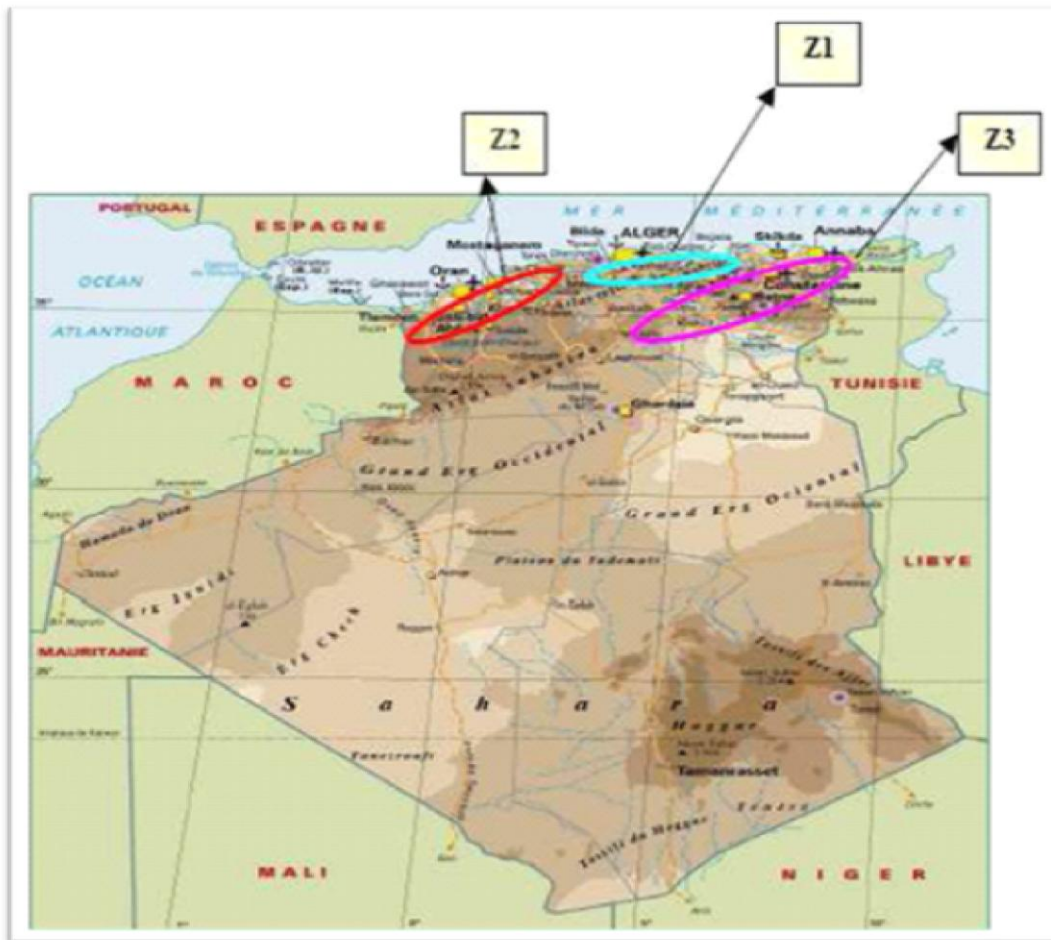


Figure 10. La carte de la répartition de blé dur en Algérie (Moulléf F, 2010)

I- Les contraintes climatiques du blé

La situation géographique du pays au sud de la Méditerranée, lui impose un régime pluviométrique des plus irréguliers. De plus les terres portant l'essentiel des superficies céréalières sont situées à l'intérieur du pays, dont le climat est de type méditerranéen continental, très contrasté (**Abbassenne, 1997**). Cette situation limite dès le départ, et dans la plus part des cas, les espérances de productions (**Bouzerzour et al., 2002**).

Parmi plusieurs contraintes de blé on peut citer :

- Les basses températures (le gel)
- Les hautes températures
- La sécheresse (**Boussekar R. et Hassouni N., 2009**)

II- Définition du stress

Le stress chez les plantes apparaît avec des significations différentes en biologie, qui convergent principalement en attribuant le stress à n'importe quel facteur environnemental défavorable pour une plante (**Soltner, 2005**) considèrent que le stress a une signification relative, avec un contrôle comme état de référence, ils considèrent le stress comme une déviation du contrôle à une contrainte. un stress désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé, une force qui tend à inhiber les systèmes normaux. (**Meliche et al., 2003**)

D'autre part, les stress environnementaux issus de la fluctuation des facteurs abiotiques (sécheresse, salinité, température) affectent les conditions de croissance, le développement et le rendement des plantes (**Lehaver, 2011**)

II- 1. Définition du stress hydrique

Pour les agriculteurs le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire .La demande en eau de la plante est quant à elle

déterminée par le niveau de transpiration ou évapotranspiration, ce qui inclut les pertes d'eau tant au niveau des feuilles qu'au niveau du sol .

Le stress hydrique est toute restriction hydrique qui se traduit par une baisse ou bien une augmentation anormale de potentiel de la plante suite à une perturbation de son activité physiologique provoquée par un déficit de consommation en eau et communément appelé stress hydrique. (Mouellef, 2010)

II- 2. Effet du stress hydrique sur le blé

II- 2. 1. Effet du stress hydrique sur la germination

la sécheresse est une des causes principales des pertes de rendement, qui varient de 10 à 80% selon les années, en région méditerranéenne (Nachit *et al.*, 1998).

En absence d'humidité suffisante, la graine même si elle est correctement placée dans le sol, elle n'évolue pas, retardant ainsi, la levée de la culture et en cas de persistance de sécheresse la situation peut se traduire par une absence de levée (Feliachi *et al.*, 2001)

De nombreux gènes contrôlant le métabolisme des sucres simples sont régulés en amont par les variations de l'hydratation cellulaire. Quoique l'hydrolyse de l'amidon et la libération des sucres réducteurs énergétiques constituent une étape incontournable dans le déroulement de la germination, mais indirectement la disponibilité des carbohydrates pendant cette phase assure un rôle de protection contre le déficit hydrique. Ils constituent les principaux osmolytes impliqués dans l'ajustement osmotique, assurent une protection des macromolécules essentiellement membranaires (Bray *et al.*, 1989).

II- 2. 2. Effet du stress hydrique sur tallage

Les travaux de Ben Naceur *et al.*, (1999) ont montré qu'une sécheresse survenant au stade jeune (tallage) réduit surtout la croissance en hauteur et le nombre d'épis par unité de surface. Par contre, lorsqu'elle survient aux stades gonflement ou anthèse, elle réduit, plutôt le poids des épis et le rendement en grains.

II- 2. 3. Effet du stress hydrique sur gonflement-Epiaison

Ainsi, Le stade juste avant épiaison (gonflement) est le stade le plus sensible au déficit hydrique puisqu'une sécheresse survenant à ce stade peut réduire les rendements en

grains d'environ 70% par rapport au témoin. Ces stress réduisent les assimilats stockés dans les tiges après l'épiaison et affectent l'appareil photosynthétique au cours de la phase de remplissage (**Ben Naceur *et al.*, 1999**).

Le nombre d'épillets fertiles est réduit lorsque la sécheresse se produit pendant la phase de différenciation des épillets se traduisant par une réduction du nombre de grains par épi (**Bouzerzour *et al.*, 2002**)

II- 2. 4. Effet du stress hydrique sur Epiaison-Floraison

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, provoquant ainsi l'échaudage. Ce qui entraîne une réduction du rendement. Par ailleurs, et pour bien se développer, la plante doit disposer de mécanismes d'adaptation qui lui permettent de supporter la sécheresse (**Slama *et al.*, 2005**)

II- 2. 5. Effet du stress hydrique sur la maturation

La phase de maturation correspond à la période de remplissage du grain. L'effet du déficit hydrique, au cours de cette dernière phase, se traduit par une diminution de la taille du grain. D'après **Ben Naceur *et al.*, 1999**, la diminution du poids du grain est liée au dessèchement de la dernière feuille, du dernier entre-nœud, et de l'épi.

IV- L'adaptation à la sécheresse

La sécheresse est une notion relative, car non seulement ses manifestations sont diverses mais sa définition même varie en fonction de son impact et selon l'approche scientifique (**Reyes-Gómez *et al.*, 2006**). D'un point de vue météorologique, la sécheresse est une absence prolongée, un déficit significatif, voire une faible distribution, des précipitations, en relation avec une valeur dite normale. En hydrologie, on parle de sécheresse dès lors qu'à l'échelle régionale la hauteur des pluies est inférieure à la moyenne saisonnière, ce qui se traduit par un approvisionnement insuffisant des cours d'eau et des réserves d'eau superficielles ou souterraines. Les socio-économistes, quant à eux, parlent de sécheresse quand les pluies sont insuffisantes et ont des effets désastreux sur les populations et sur l'économie régionale. Les agro-pastoralistes mettent davantage l'accent sur la sévérité et la fréquence d'un phénomène qui reste tout relatif. Pour eux, une année

sèche chaque décennie est souvent critique et permet d'évaluer les effets réels du manque d'eau (Dyer, 1984).

IV- A. Ajustement osmotique

De nombreuses plantes réagissent au stress hydrique par une diminution du potentiel osmotique, provoqué par l'accumulation de soluté. Ce processus est appelé ajustement osmotique (William et Hopkins, 2003).

IV- A. 1. Accumulation de la proline

Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, la proline représente des manifestations les plus remarquables des stress hydriques et osmotiques.

La proline est l'un des solutés compatibles le plus fréquemment accumulé en réponse à des contraintes environnementales variées et joue un rôle important dans la tolérance des plantes (Ben Rejeb *et al.*, 2012). L'accumulation de proline est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes pour limiter les effets du stress hydrique. Elle est liée à l'osmorégulation cytoplasmique. Selon (Tahri *et al.*, 1997) l'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires: stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines.

La proline est synthétisée selon deux voies distinctes, via le glutamate et l'ornithine (Neffar, 2013). La chaîne de réaction commence par la réduction du glutamate en glutamyl-5-semi-aldéhyde. Ce composé se cyclise spontanément et forme l'acide pyrroline-5-carboxylique qui est réduit ensuite en proline. La proline peut être issue aussi de l'ornithine, précurseur de l'acide pyrroline-2-carboxylique, transformé ensuite en proline (Jean-François et Morot-Gaudry, 1997). Son accumulation dans les feuilles de plantes qui souffrent d'un manque d'eau a été décrite très anciennement (Cornic, 2008). On pense que l'accumulation se fait dans le cytoplasme où sa concentration atteint parfois 230 à 250 mM. Elle peut à cette concentration participer effectivement à l'ajustement osmotique de la plante (Samars *et al.*, 1995). Un déficit hydrique plus grave amplifie davantage l'accumulation de la proline dans les tissus foliaires (Hireche, 2006). Outre son rôle osmotique, la proline semble aussi avoir un rôle dans l'enroulement foliaire, constituant un mécanisme de limitation de la transpiration chez les céréales, qui serait lié à l'accumulation

d'acide absicissique (ABA) au niveau des feuilles. Elle pourrait en outre jouer plusieurs rôles dans le métabolisme intracellulaire, dans la protection des membranes et des systèmes enzymatiques, et favoriserait la reprise après réhydratation (**Lepoivre, 2003**).

IV- A. 2. L'accumulation de sucres solubles

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante. Le potentiel osmotique peut être maintenu pour un stress hydrique de faible ou moyenne intensité, par ajustement osmotique. Les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique. Ils permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (**Dubos, 2001**).

Généralement, on pense que l'accumulation de sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse de réserves (en particulier, d'amidon) mais aussi une modification du métabolisme carboné, la dégradation de polysaccharides et une réduction de l'utilisation de carbohydrates plus importante que la réduction de la photosynthèse en conditions de déficit hydrique (**Lepoivre, 2003**).

De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Une idée principale en ressort: différents sucres solubles peuvent être présents dans des tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation (**Dubos, 2001**). Chez le soja, la teneur foliaire en saccharose contribuerait au maintien d'une pression osmotique élevée limitant les pertes d'eau par transpiration. (**Berka et Aïd, 2009**) montrent que la teneur en sucres solubles des feuilles des plants stressés augmente régulièrement et d'une manière significative en fonction de la diminution de la teneur relative en eau.

IV- B. Adaptations phénologiques

Les paramètres phénologiques d'adaptation, ou paramètre de précocité, constituent un important mécanisme d'esquive à la sécheresse de fin de cycle (**Ben Naceur et al., 1999**).

La précocité au stade épiaison est une composante importante d'esquive des stress de fin de cycle chez le blé dur. Compte tenu de la distribution aléatoire des précipitations,

l'adoption de variétés à cycle relativement court est nécessaire dans les régions arides à semi-arides (**Mekhlouf *et al.*, 2006**). **Fischer et Maurer en 1978** notent que chaque jour de précocité confère un gain en rendement de 30 à 85 kg/ha. 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**).

IV- C. Adaptations morphologiques

L'effet de la sécheresse peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilât. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine : réduction de la surface foliaire et du nombre de talles, enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire (**Slama, 1996**).

IV- C. 1. Système racinaire

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol est un trait essentiel pour la résistance à la sécheresse (**Subbarao *et al.*, 1995**). Les cultivars de blé à système racinaire extensif peuvent exploiter un grand volume de sol, absorber une grande quantité d'eau et avoir un rendement considérable (**Hurd, 1974**).

IV- C. 2. Surface foliaire

La diminution de la surface de la feuille sous stress hydrique est considérée comme une réaction de résistance moyenne ou d'adaptation au manque d'eau (**Blum, 1996**).

Un autre type d'adaptation foliaire développé par la plante face à un manque d'eau est l'enroulement de la feuille qui peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation (**Amokrane *et al.*, 2002 ; O'toole et Cruz, 1980**) ont montré que l'enroulement des feuilles entraîne une diminution de 40 à 60% de la transpiration. La glaucescence, la pilosité des feuilles ou des tiges, la couleur claire des feuilles et la présence des cires sont des caractères génétiques et qui s'extériorisent en condition de stress (**Gate, 1995**) induisent tout une

augmentation de la réflectance qui conduit à une réduction des pertes en eaux (**Al Hakimi, 1992**)

IV- C. 3. Longueur des barbes

La longueur des barbes est un paramètre morphologique qui semble être étroitement lié à la tolérance au déficit hydrique terminal, tout au moins chez le blé dur (**Hadjichristodoulou, 1985**). (**Slama, 2002**) mentionne que la variété ayant la barbe la plus développée, sous contrainte hydrique présente le meilleur rendement. En plus, la présence des barbes augmente l'efficacité d'utilisation de l'eau et l'élaboration de la matière sèche lors de la phase de maturation du grain (**Nemmar, 1980**).

Lors de la phase du remplissage des grains, La photosynthèse est moins sensible à l'action inhibitrice des hautes températures chez les géotypes barbus comparativement aux géotypes glabres (**Fokar et al., 1998**).

IV- D. Adaptations physiologiques

Les paramètres physiologiques d'adaptation permettent de rendre compte des phénomènes de tolérance avec le potentiel hydrique élevé qui est liée à la réduction des pertes d'eau par la régulation stomatique (**Monneveux, 1991**) de tolérance avec un abaissement de potentiel hydrique qui s'exprime par un maintien de la turgescence, rendu possible grâce à l'ajustement osmotique (**Monneveux et This, 1997**).

IV- D. 1. Régulation stomatique

La surface des feuilles est percée de pores microscopiques et nombreux (environ 10.000 par cm²) : les stomates, qui jouent un rôle fondamental dans la régulation des pertes en eau de l'appareil foliaire. La régulation de l'ouverture-fermeture des stomates dépend, du potentiel hydrique foliaire et de l'humidité de l'air au champ (**Turner, 1997**)

Une faible conductance conduit à une fermeture des stomates rapide en conditions de déficit hydrique. Les géotypes à faible conductance sont plus sensibles au déficit de vapeur et à la baisse du potentiel hydrique foliaire que les géotypes à forte conductance. Une faible conductance est généralement proposée comme un trait favorable à l'adaptation à la sécheresse (**Jones et Rawson, 1979**).

V- Les gènes appliqués au cours du stress hydrique

Un grand nombre des gènes qui répondent à la sécheresse au niveau transcritionnel ont été décrits dans la littérature (**Bohnert *et al.*, 1995 ;Ingram et Bartels, 1996**). L'analyse de la régulation transcriptomique par des stress hydrique modérés et progressifs sur des plantes d'*Arabidopsis* a indiqué que globalement 1/3 des gènes sont induits ou réprimés en réponse à la déshydratation (**Harb *et al.*, 2010**). Ces gènes ne sont pas régulés en même temps et au cours des mêmes phases, ils n'ont donc pas tous un rôle dans la tolérance à la déshydratation; certains pourraient être induits en raison des dommages provoqués par le stress. De la même manière que les fonctions des gènes impliqués dans la réponse au stress hydrique sont très variées, l'activation de ces gènes est sous le contrôle de nombreux facteurs. L'acide abscissique (ABA) intervient dans la régulation de l'expression de nombreux gènes lors d'un déficit hydrique. Les gènes induits par l'ABA sont souvent des gènes codants pour des protéines de type LEA : Late-Embryogenesis-Abundant ; Les protéines LEA sont, dans leur grande majorité, extrêmement hydrophiles : leur accumulation en cas de stress hydrique en séquestrant les ions et en stabilisant les protéines et les membranes en interagissant directement avec elles (**wang *et al.*, 2003**) mais également des gènes impliqués dans la synthèse d'osmolyte et dans la perméabilité membranaire. L'induction des gènes non gouvernés par l'ABA est modulée par des facteurs de transcription dont les séquences les plus connues sont de type DRE (Dehydration Responsive Element).

La déshydratation entraîne l'agrégation des macromolécules biologiques, notamment des protéines, donc leur inactivation irréversible.

Le déficit hydrique affecte aussi la traduction des transcrits en protéines, ainsi que le devenir des protéines :

tous les ARNm ne sont pas traduits dans les mêmes proportions, et le taux de traduction est modifié au cours du déficit hydrique (**Kawaguchi *et al.*, 2004**). Les quantités de protéines ne sont donc que partiellement corrélées aux quantités d'ARNm. Par ailleurs les protéines subissent ensuite des modifications (post-traductionnelles) qui ont une influence sur leur activité.

I- MATERIEL BIOLOGIQUE

Notre étude a porté sur le comportement de la germination de la variété "waha" de blé dur (*triticum durum desf*) dans des niveaux de déficit hydrique différents. Le génotype utilisé est répertorié selon le catalogue officiel de l'ITGC et fournies par la station expérimentale de l'ITGC khenchela. L'expérimentation est réalisée au niveau des laboratoires pédagogiques de l'université Abbes Laghrour Khenchela.

II- METHODES

II- Mise à germination et disposition de l'essai

II- 1. Conditions de la Germination

Les graines choisies doivent être saines, elles ont été sélectionnées selon leur taille et leur forme

➤ Stérilisation

Elle se fait dans un mélange d'eau de javel (12°) et d'eau distillée (1:1) pendant une minute suivie d'un rinçage à l'eau distillée. Les graines sont mises à germer dans des boîtes de Pétri tapissées de papier filtre humide à température ambiante. Les boîtes de pétri sont tapissée par deux couches de papier filtre.

Les tests de germination ont été effectués sous différentes concentrations de l'eau distillé ("5"ml sans stress hydrique (SS), "15", "2,5"ml avec le stress hydrique (SH1) et (SH2)). Pour chaque boîte de pétri, les graines au nombre de 30. Ensuite, Les boîtes sont mises à l'obscurité.

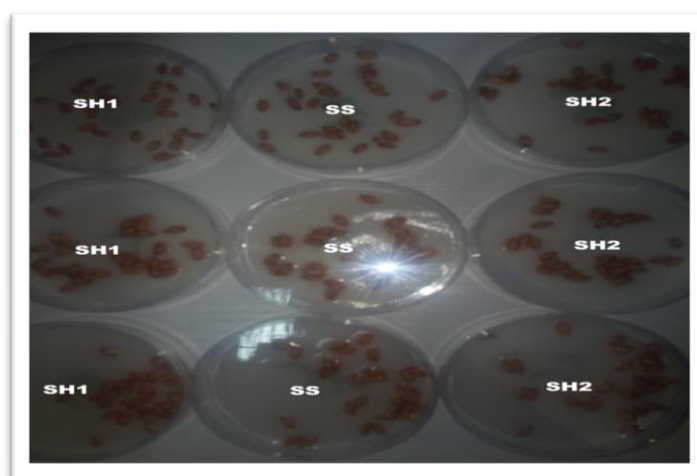


Photo 01. Jour "0" de mettre en germination de blé waha

CHAPITRE 03: MATERIELS ET METHODES

- La germination est repérée par la sortie de la radicule hors des téguments de la graine dont la longueur est d'au moins de 2 mm

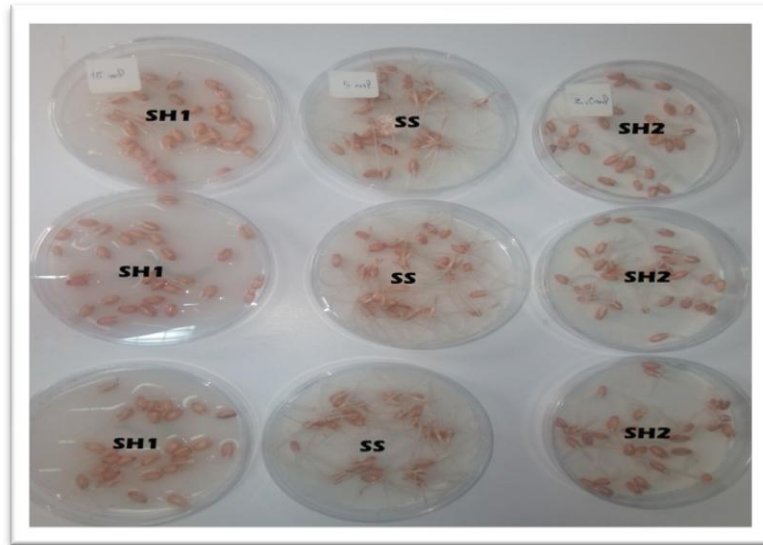


Photo 02. Le jour "3" de mettre en germination de blé waha

II- 2. Prélèvement des racines

Lorsque les apex racinaires atteignent environ 1 à 1,5 cm de longueur (c'est à ce stade que la zone de division cellulaire est plus active), les prélèvements sont effectués préférentiellement le matin à 8 h, où la période est propice à l'observation d'un grand nombre de divisions cellulaires



Photo 03. Les prélèvements des points racinaires

➤ Prétraitement

Cette étape a pour but :

- de bloquer les divisions mitotiques en métaphase.
- de contracter les chromosomes.

CHAPITRE 03: MATERIELS ET METHODES

- d'obtenir un grand nombre de plaques métaphasiques.

Dans notre cas, les méristèmes racinaires de l'espèce étudiée sont prétraités dans la colchicine, pendant 2 h 30 min.

➤ **Fixation**

Elle permet de détruire toute vie cellulaire. Elle doit avoir une action rapide pour bloquer toute évolution des divisions cellulaires et permettre de conserver l'intégrité structurale des chromosomes

Les fixateurs utilisés sont très nombreux. Dans notre cas, les racines prétraitées et non prétraitées sont placées, pendant au moins 24 heures, dans une solution d'éthanol Acétique (3 :1)

➤ **Hydrolyse**

Après fixation, les racines sont trempées dans de HCl (1N), (Annexe 01) ensuite chauffées à l'aide d'une bougie jusqu'à l'apparition des premières vapeurs



Photo 04. L'hydrolyse des parois cellulaires des racines

III- Technique de marquage des chromosomes « C Banding d'après Jahier J., 1992 .

- Les pointes racinaires sont écrasées dans une goutte d'acide acétique à 45% (solution fraîchement préparée) entre lame et lamelle.
- Les préparations sont observées au microscope pour s'assurer de la présence des plaques métaphasiques. (Annexe 02)
- Les lamelles sont décollées à la neige carbonique, ensuite les lames sont rincées à l'éthanol, et mises à sécher pendant au moins une nuit à température ambiante. (Annexe 02)

➤ Après séchage, la dénaturation est effectuée dans une solution saturée d'hydroxyde de baryum $Ba(OH)_2$, pendant 5min à 45°C.

Cette étape permet la séparation des deux brins d'ADN de chaque chromosome.

➤ Les lames lavées à l'eau distillée, subissent la renaturation dans le tampon 2 x SSC (Salt Sodium Citrate) à 60°C au bain-marie pendant 15 à 20 min, suivie d'un rinçage à l'eau de robinet et dans l'alcool à 95%. (Annexe 01)

C'est l'étape de la réassociation des deux brins d'ADN.

➤ La coloration est obtenue par immersion des lames dans une solution de Giemsa à 3% dans le tampon phosphate à pH 6.8 pendant 20min à température ambiante. Chimiquement ce sont des liaisons qui se forment entre l'ADN et les composants de Giemsa. (Annexe 01)

➤ Les lames sont enfin rincées à l'eau distillée pour éliminer l'excès de colorant, séchées pendant une nuit.

L'observation et la révélation des bandes « C » correspondant à l'hétérochromatine constitutive sont faites à l'aide d'un photo-microscope « Optika », on allant du faible grossissement au plus fort grossissement (X 100) (Annexe 02)

IV- Paramètres étudiées

IV- 1. Paramètres physiologiques

IV- 1. 1. Taux de germination (G%)

Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines. Sur l'essai de germination ont été déterminé le pourcentage définitif de germination (G%) selon la formule suivante :

$$\text{Où : } G(\%) = 100 (XT/N)$$

XT : le nombre total de graines germées ;

N : le nombre total des graines mises à germer.

IV- 1. 2. Teneur moyenne en eau (TME %)

La teneur moyenne en eau de la plante est une méthode très utilisée actuellement, afin d'estimer l'état hydrique de la plante en condition de stress hydrique. Les teneurs moyennes en eau des plantules sont déterminées par le calcul de poids frais (PF) de chaque échantillon avant de mettre à sécher dans l'étuve à 80°C pendant 48 heures (Annexe 02).

Le poids sec est ensuite déterminé (PS). La teneur moyenne en eau est calculée par la formule suivante :

$$\text{TME (\%)} = (\text{PF} - \text{PS})/\text{PF}$$

(Monneveux P, 2002)

IV- 2. Paramètres morphologiques

IV- 2. 1. Longueur de racine (cm)

La longueur maximale des racines est la longueur de la racine la plus longue, la mesure de la longueur de racine a été réalisée avec un papier millimètre.

IV- spectroscopie infra-rouge

La partie de caractérisation spectroscopique "FTIR" a été réalisée au niveau du laboratoire de recherche ASPI².

IV- 1. Principe

Exposer l'échantillon à une gamme de rayonnements électromagnétiques de l'IR moyen. Certains d'entre eux provoquent des modifications de l'état énergétique vibrationnel de la molécule étudiée. Traiter le signal obtenu pour faire apparaître les bandes (ou pics) d'absorption qui correspondent aux radiations absorbées, celles dont l'énergie a été convertie en énergie vibro-rotationnelle. Essayer ensuite sur le spectre d'absorption ainsi obtenu d'identifier des bandes qui caractérisent les modes normaux de vibrations de groupes d'atomes et de groupements fonctionnels remarquables, présents dans la molécule.

V- 2. Appareil

Spectrophotomètre IR à transformée de Fourier (FTIR ou IRTF). Le fonctionnement du spectroscopie. IR ne sera pas détaillé. L'utilisation raisonnée de l'appareil nécessite cependant de savoir qu'il comporte.

- une source IR émettant un rayonnement poly chromatique couvrant une gamme allant de 1,28 μm à 28,57 μm (de 7800 cm^{-1} à 350 cm^{-1}).

- un dispositif optique qui décompose le spectre du rayonnement incident, l'ensemble des fréquences étant envoyé sur l'échantillon;

CHAPITRE 03: MATERIELS ET METHODES

- un compartiment pour l'échantillon qui reçoit donc l'ensemble des λ simultanément mais ne les transmet pas de la même façon;

- un capteur qui enregistre la superposition des signaux (correspondant aux différentes fréquences) transmis et génère un signal résultant qui n'est pas directement informatif. Le signal collecté par la spectroscopie qu'est ensuite converti (logiciel) en spectre d'absorption par un traitement mathématique (transformée de Fourier). Il apparaît sur l'écran de l'ordinateur. En spectroscopie d'absorption IR, on utilise le nombre d'onde = $1/\lambda$ (λ en cm) plutôt que la fréquence ou la longueur d'onde. Il est possible de soumettre l'échantillon à plusieurs balayages pour minimiser le bruit de l'appareil

V- 3. Protocole

1. préparation de l'échantillon en pastille de KBr

l'échantillon de blé "waha" en poudre est incorporé à un support. Un mélange homogène à environ 1% de poudre blé "waha"/poudre KBr est préparé puis finement broyé.

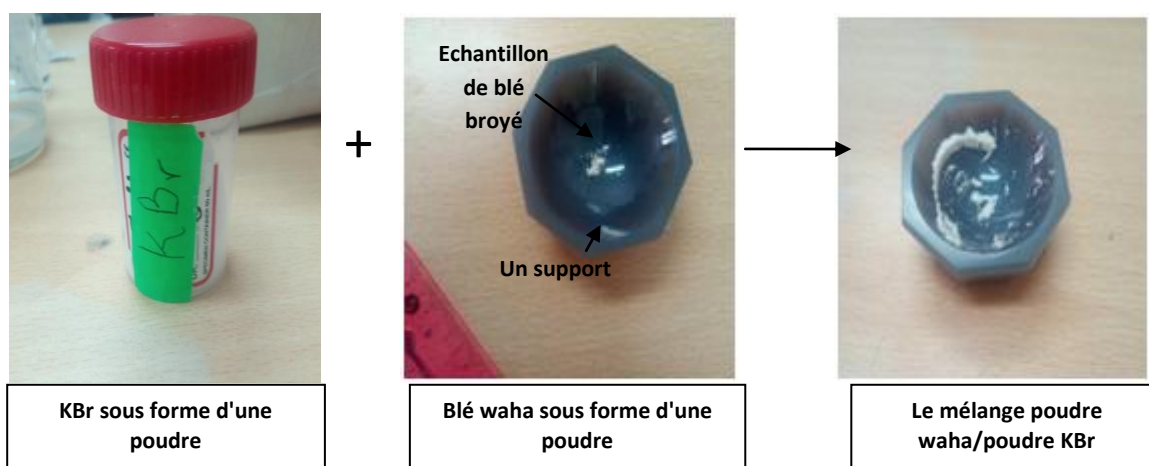


Photo 05. Préparation de mélange waha/KBr

2. Il est déposé dans un moule puis soumis à une très forte pression dans une presse hydraulique. Il est ensuite extrait du moule sous la forme d'une pastille.

Pastille de KBr, contenant l'échantillon à étudier, extraite du moule, prête à l'emploi. La qualité de la pastille conditionne celle du spectre. (voir l'image en bas)



L'appareil de la presse hydraulique



Une Moule de presse hydraulique



Formation d'une pastille

Photo 06. Les éléments de la presse hydraulique

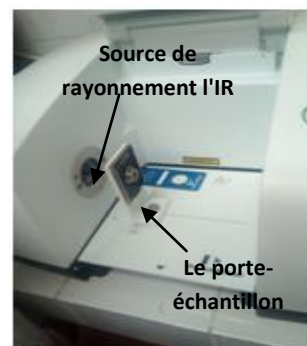
3. Le porte-échantillon contenant la pastille KBr/produit

est placé dans le compartiment de mesure du spectroscopie sur le trajet du faisceau incident (voir image à droite).

Le signal enregistré par le détecteur de la spectroscopie prend en compte, non seulement l'absorption du rayonnement l'IR par le produit à étudier, mais aussi par l'air présent dans le compartiment de mesure et éventuellement par le KBr s'il n'est pas complètement anhydre. Il faut donc enregistrer un spectre de bruit de fond (background) de l'air (éventuellement d'une pastille de KBr pure), qui sera ensuite soustrait du spectre obtenu avec la pastille contenant l'échantillon. Cela permet de se débarrasser des absorptions parasites.



Un porte-échantillon content la pastille à analyser



Analyse spectroscopique IR

4. un capteur qui enregistre la superposition des signaux (correspondant aux différentes fréquences) transmis et génère un signal résultant qui n'est pas directement informatif. Le signal collecté par la spectroscopie. est ensuite converti (logiciel) en spectre d'absorption par un traitement mathématique (transformée de Fourier). Il apparaît sur l'écran de l'ordinateur.

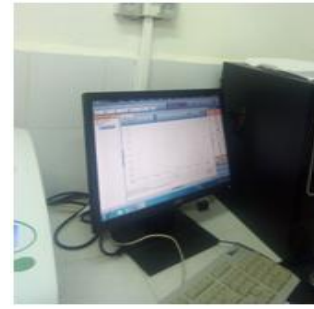


Photo 07. Les spectres d'absorbance obtenir par la spectroscopie infra-rouge

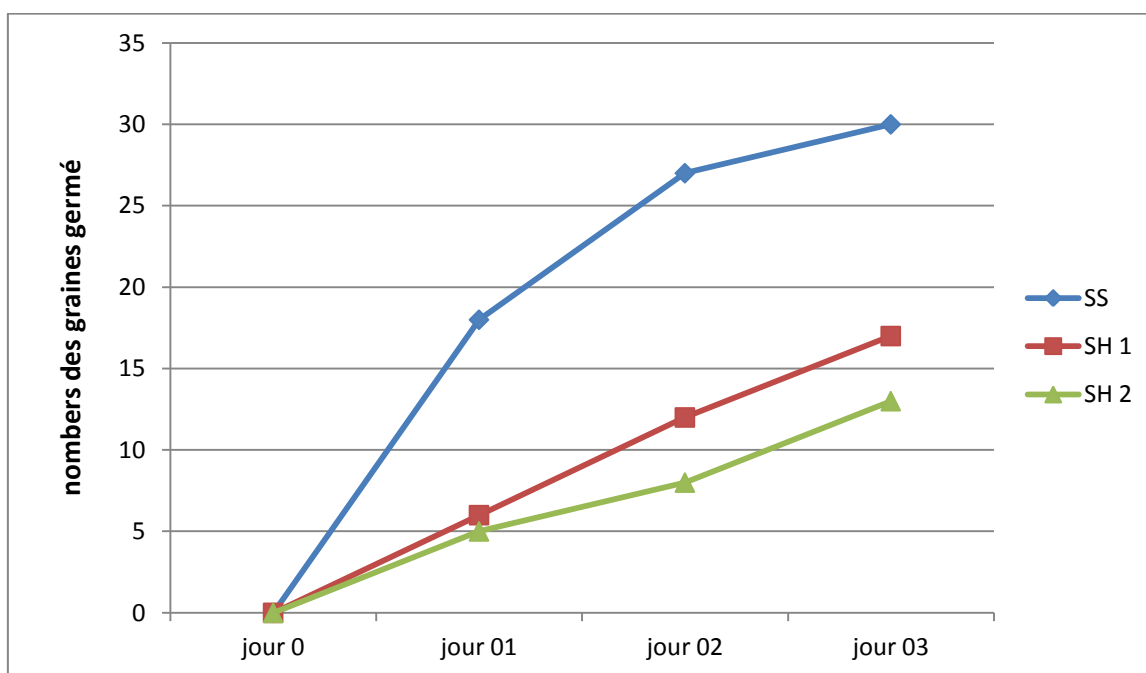
Résultat et discussion

I- Analyse des paramètres physiologiques :

I- 1. Analyse du taux de germination ou la pouvoir germinatif finale (G%) :

Bien qu'il ne reflète pas intégralement le comportement des plantes dans leurs conditions naturelles, le taux de germination, en conditions de stress hydrique, donne toujours une idée plus ou moins précise du comportement de variété étudiée (**Ben Naceur et al., 2001**). La courbe montre que, la capacité germinative des graines stressées est réduite comparativement au témoin SS et ceci pour les deux volumes d'eau utilisées.

Au niveau de témoin SS qui marque la meilleure valeur de taux de germination qui varient de (100 %). Sous l'effet du déficit hydrique, pour le premier niveau de stress, qui correspond à une SH1, 56.66% ". En stress SH2 qui concerne le deuxième niveau du stress, on remarque une diminution considérable de G% de l'ordre 43.33% "



SS: sans stress hydrique

SH1: stress hydrique 01

SH2: stress hydrique 02

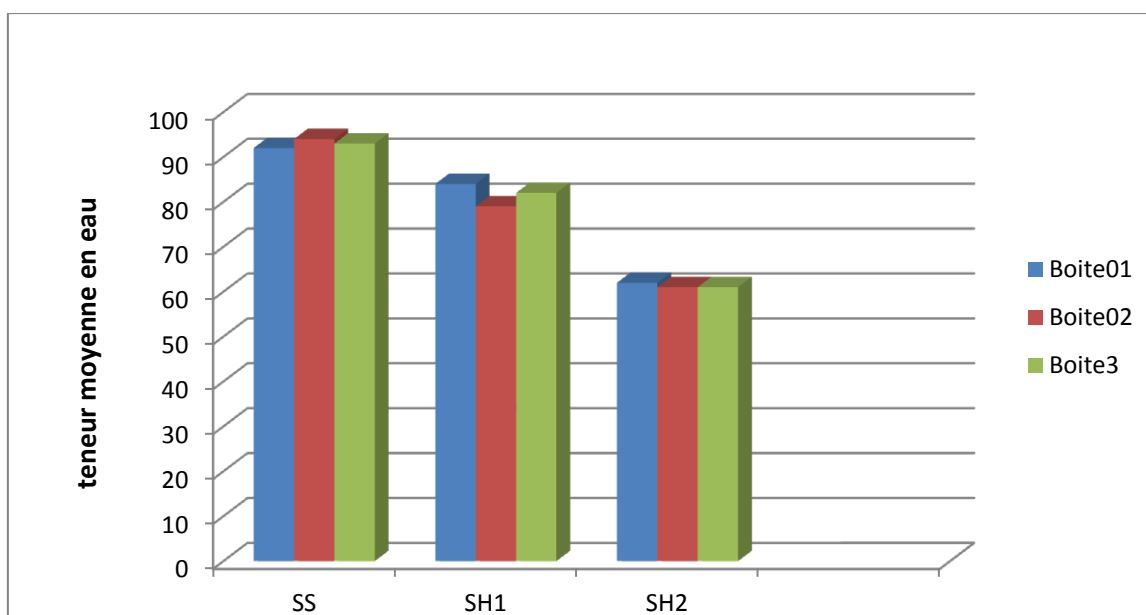
Figure 11. Vitesse de germination de la variété waha sous deux conditions de stress hydrique en fonction du temps

I- 2. Analyse de la teneur moyenne en eau :

La teneur moyenne en eau (TME) correspond à une signification physiologique directe de l'état hydrique du végétal. Ce paramètre est souvent affecté par une contrainte hydrique. Au niveau de témoin SS qui marque la meilleure valeur de TME.

Au stress SH1 d'eau la teneur moyenne en eau fluctue entre (82%)

Au stress SH2 une diminution de la teneur moyenne en eau (61%)



SS: sans stress hydrique

SH1: stress hydrique 01

SH2: stress hydrique 02

Figure 12. La teneur relative en eau enregistrée chez la variété waha sous deux stress hydrique

De nombreux travaux ont été réalisés sur les conséquences de la sécheresse sur la teneur moyenne en eau des feuilles de différentes espèces cultivées, leurs conclusions convergent souvent vers la conclusion suivante : la TME est affectée par une contrainte hydrique. La teneur relative en eau, c'est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique. Les espèces végétales qui maintiennent des teneurs foliaires relatives en eau élevées sont considérées comme étant des espèces résistantes à la sécheresse (**Berka et Aïd, 2009**)

Le manque d'eau est un élément déterminant pour la croissance des plantes, particulièrement en région arides et semi arides. Il induit chez les plantes stressées une

diminution du contenu moyenne en eau, et une réduction significative de la production de biomasse totale (Albouchi *et al.*, 2000). L'analyse du teneur moyenne en eau permet de décrire d'une manière globale, le statut hydrique en réponse au stress hydrique, et d'évaluer l'aptitude à réaliser une bonne osmorégulation, et maintenir une turgescence cellulaire (EL Jaafari *et al.*, 2000).

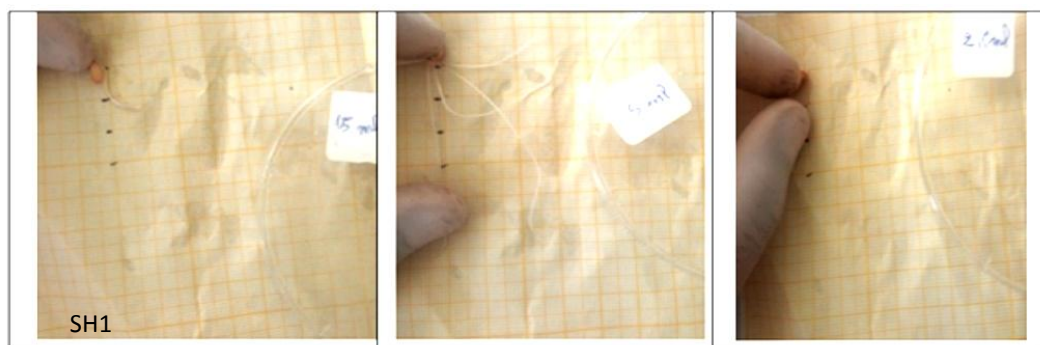
II- Analyse des paramètres morphologiques :

II- 1. Analyse de longueur des racines:

Une diminution de la longueur des racines est observée. Chez le témoin SS avec une valeur maximale de (5.8) cm

Au stress SH1 de (3.5) cm

Au stress SH2 de (1.8) cm



SS: sans stress hydrique

SH1: stress hydrique 01

SH2: stress hydrique 02

Figure 13. La mesure de la longueur de racine avec un papier millimètre.

Les plantes répondent au déficit hydrique par des modifications morphologiques, physiologiques et métaboliques.

Selon (LEPS, 2000), les déficits hydriques longs se traduisent par des changements progressifs dans la structure de la plante qui visent à réduire sa surface transpirante, mais qui induisent également une baisse de sa production. Au début du cycle végétatif, la plante ajuste sa taille à l'eau disponible dans le milieu. Ainsi ses besoins en eau sont plus faibles et sa biomasse réduite. Le résultat de la croissance indique que le stress hydrique a affecté négativement la croissance de l'appareil végétatif du blé comparativement à celle des

racines. Cette diminution de la croissance est le résultat au niveau cellulaire d'une baisse du nombre de divisions cellulaires lors des stress abiotiques. Selon (**Richards R. et Passioura J., 1981**) la réduction de croissance des parties aériennes est une capacité adaptative nécessaire à la survie des plantes exposées à un stress abiotique. Sous conditions de stress, l'assimilation de l'eau par la plante est directement liée au degré de développement du système racinaire. Toutefois, les caractéristiques du système racinaire varient en fonction des conditions édaphiques et climatiques. La relation entre le degré de développement du système racinaire et la tolérance de la sécheresse a été prouvée chez plusieurs espèces rapportent que sous stress hydrique la longueur totale de la racine diminue chez le maïs et augmente chez le millet et le sorgho. Ils estiment ainsi qu'il existe une relation positive entre la longueur de la racine et la tolérance à la sécheresse.

III- Concept de l'hétérochromatine

D'après, **Jahier et al., 1992** définit l'hétérochromatine comme les segments de chromosomes qui apparaissent très condensés et très colorés dans le noyau interphasique. En fait, la chromatine se présente comme un enchevêtrement de fibres dont le diamètre varie, non seulement au cours du cycle cellulaire, mais aussi en fonction des régions chromosomiques observées.

-Le rôle de l'hétérochromatine

L'hétérochromatine joue un rôle tout à fait essentiel dans l'adaptation et l'évolution des espèces végétales ainsi que dans l'organisation et la fonction du génome et déroulement de la méiose (attraction des homologues, régulation du Crossing-over, formation des chiasmas). Les séquences répétées télomériques sont hautement conservés. Elles sont impliqués dans l'organisation de l'ADN dans les nucléosomes. L'ADN télomérique a été déterminé pour avoir une fonction de stabiliser les chromosomes et protéger leurs extrémités des polymérases. L'amplification de ces séquences et leur dispersion sont les causes majeures du processus de l'évolution qui se traduisent sur la variation de la taille des génomes

La métaphase de mitose de *Triticum turgidum* (durum) montre 28 chromosomes et celle de méiose 1 montre 14 paires de chromosomes appariés. On arrive donc à la formule chromosomique $2n=28$.

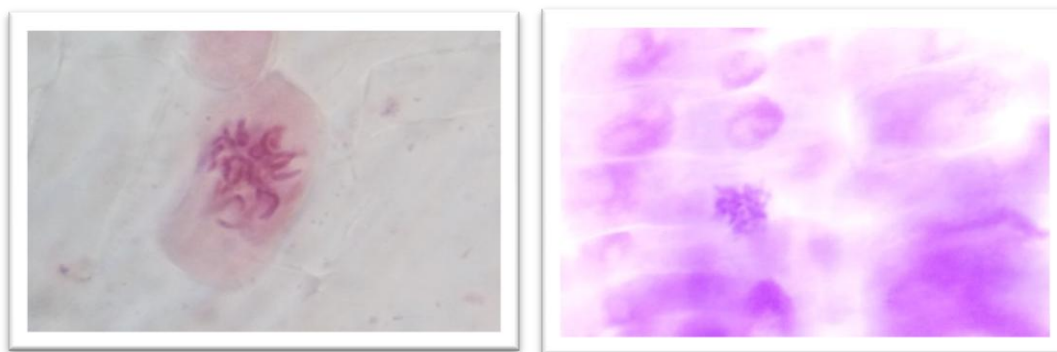


Figure 14. Observation microscopique des chromosomes métaphasiques

Dans mon travail on n'a pas pu obtenir les résultats attendus, Ceci peut être dû :

- Le temps précis du prétraitement par la colchicine non respecté
- Malgré, répétition réaliser mais, il n'était pas suffisamment pour de déterminer avec exactitude la raison ; ou alors d'obtenir les plaques caryotypiques espérées.

IV- Spectroscopie dans le proche infrarouge

La spectroscopie dans le proche infrarouge (SPIR) est une technique analytique indirecte qui permet d'estimer la composition de la matière à partir de ses propriétés d'absorption de la lumière (**Stenberg et al., 2010**). Cette technique consiste à soumettre l'échantillon aux rayonnements dans la gamme du proche infrarouge allant de 800 à 2500 nm et à mesurer la réflectance (R) de la lumière par des détecteurs à chaque longueur d'onde et la convertir par la suite en absorbance ($\log(1/R)$).

Les rayonnements infrarouges sont absorbés par les liaisons chimiques entre les atomes de la matière (C-H, O-H, N-H, C-O, S-H, CH₂, et C-C), causant des mouvements de torsion, de flexion ou d'étirement (**Ludwig et Khanna, 2000**)

La SPIR est une technique rapide, peu coûteuse, non destructive et permet d'analyser plusieurs propriétés de l'échantillon à partir du même spectre et de réduire les coûts d'analyse de l'ordre d'au moins 50%. Elle trouve des applications dans plusieurs domaines : la biologie, la chimie, la médecine et les industries pharmaceutique et agroalimentaire. Son utilisation dans les sciences du sol est de plus en plus considérée pour une évaluation plus rapide et plus précise de la qualité du sol (**Guerrero et al., 2010**).

CHAPITRE 04: RESULTATS ET DISCUSSION

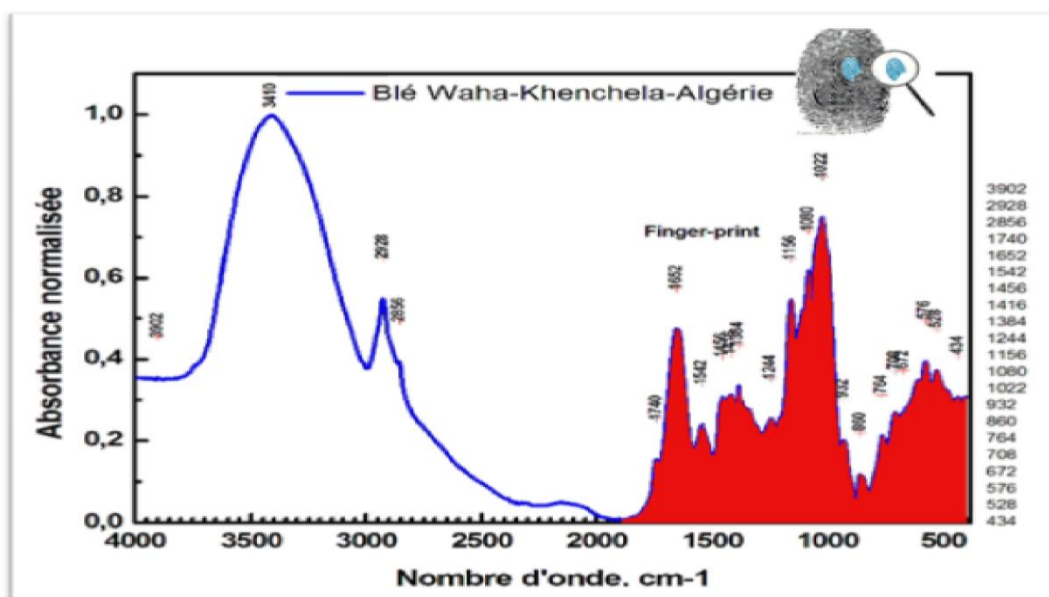


Figure 15. Spectre FTIR représentatif de le blé "waha" 4000-500 (cm-1)

Tableau N °3. Affectations des bandes étiquetées

De pointe	Numéro d'onde (cm-1)	Attribution de bande
1	3902	(O—H) alcool libre (https://adamphysiquechimie.termiales)
2	2928	(C—H) alcane (https://www.bac-s.net)
3	2856	(C—H) alkyle-méthylène (http://www.chim.lu)
4	1740	acides carboxyliques/dérivé-esters et lactones (http://www.chim.lu)
5	1652	Amide I (Mantsch, 1993) ,(C-C conjugué- diènes)
6	1542	Amide II (CAN stretching, NAH flexion): principalement des protéines (Gorgulu M. et al., 2007)
7	1456	Amide II (Goormaghtigh, 1994)
8	1416	OAH flexion: polysaccharides de la paroi cellulaire, alcools et acides carboxyliques (Gorgulu M. et al., 2007)
9	1384	(C—H) alkyle-méthyle (http://www.chim.lu)
10	1244	(C—O) acides carboxyliques (http://www.chim.lu)
11	1156	(C—O) éther (http://www.chim.lu)
12	1080	(b-(1 >6) ou b-(1 >3) lié galactan (Naumann D., 2000)
13	1022	Pectin (Robert P., et al., 2005)
14	932	Arabinoxylans (Saulnier L., et al., 2009)

CHAPITRE 04: RESULTATS ET DISCUSSION

15	860	Arabinogalactan, xyloglucan, galactoglucomannan (Naumann D., 2000)
16	764	Amidon (Robert P., et al., 2005)
17	706	(C—Cl) chloroalcane (https://www.bac-s.net)
18	672	(C—H) vinyle- alcènes cis-disubstitués (http://www.chim.lu)
19	576	(C—I) iodoalcane (https://www.bac-s.net)
20	528	(C—X) iodoalcanes (http://www.chim.lu)
21	434	Germanium (https http://www.chim.lu)

L'empreinte d'analyse par spectroscopie infra-rouge est la partie rouge dans la figure précédente. Car, cet partie est contenta les amides et les sucres. L'autre partie généralement représente H₂O.

CONCLUSION

CONCLUSION

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

La phase germination est considérée comme l'une des phases critiques sur laquelle repose le départ végétal. L'amélioration génétique du blé dur des zones sèches reste basée sur recherche d'une meilleure tolérance aux stress abiotiques, pour adapter la plante, à la variabilité du milieu de production. La plupart des travaux effectués sur le blé dur dans le cadre de l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique, se sont donnés pendant longtemps pour objectif primordial, l'augmentation de la productivité par une approche basée sur les performances agronomiques. Actuellement, les programmes d'amélioration du blé exigent d'étudier, d'identifier et de vérifier les caractères phénologiques, morpho-physiologiques et biochimiques liés au rendement en condition au stress abiotique.

Les travaux effectués dans cette étude ont porté sur l'adaptation de la variété waha de blé dur (variété sélectionnée par l'ICARDA), semée à différents niveaux de stress hydrique appliqués au stade germinatif. Les résultats obtenus, démontrent que l'adaptation de notre variété est étroitement dépendante et favorisée par les différentes réponses physiologiques, morphologiques et biochimiques dans les conditions de stress, par analyse comparative de quelques paramètres physiologiques, morphologiques. On a pu observer une diminution du taux de germination final, de la teneur moyenne en eau, de la longueur de la partie racinaire.

En conclusion, le blé dur manifeste effectivement des traits d'adaptation morphologiques et physiologiques en condition de contrainte hydrique. Ce sont des marqueurs de stress des indicateurs d'adaptation à ce type de stress hydrique. Ces indicateurs d'adaptation peuvent être utilisés comme paramètres de sélection et d'amélioration du rendement de blé dur dans les régions méditerranéennes.

Dans le cadre d'un travail futur, il serait souhaitable :

❖ D'établir une stratégie de sélection des variétés reproductives et résistantes aux multiples conditions climatiques, tout en continuant d'étudier les caractères phénologiques et morpho physiologiques qui restent importants dans la caractérisation variétale du blé.

CONCLUSION

- ❖ La compréhension approfondie des mécanismes physiologiques et génétiques impliquée dans la résistance.
- ❖ D'utiliser des marqueurs moléculaires spécifiques qui pourraient être liés à l'adaptation.
- ❖ Introduire les gènes impliqués dans la résistance et accélérer le processus de création variétale.

LISTE DES ANNEXS

Annexe 01

- Solutions du C banding

❖ Solution saturée d'hydroxyde de baryum

Mettez environ 7 grammes de $\text{Ba}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O}$ dans un bécher propre et sec de 250 ml puis en ajoutant 100 ml d'eau distillée. Mélangez pendant deux à trois minutes pour saturer la solution. Filtrez votre solution pour éliminer toute trace d'hydroxyde de baryum non dissout).

❖ Tampon phosphate

Mettre dans un erlenmeyer contenant 100 ml d'eau distillée, 1.17 g de phosphate dissodique (Na_2HPO_4) avec 0.69 g de phosphate monopotassique (KH_2PO_2).Mélanger .Ajuster le pH à 6,8.Cette préparation doit être extemporanée.

❖ Solution saline 2 x SSC (Salt Sodium Citrate)

Mélanger 17.5 g de chlorure de sodium et 8.8 g de citrate de sodium dans un litre d'eau distillée.

❖ Solution de Giemsa

Mettre 15ml de Giemsa dans 300ml de la solution tampon phosphate à pH 6.8

❖ l'alcool à 95%







95 ml d'alcool + 5 ml d'eau distillé



❖ HCl 1N

4.58 ml HCl + 45.42 ml H_2O

Annexe 02

Les appareils utilisés

La neige carbonique	
L'étuve	
Le bain mari	
L'agitateur magnétique	
Le Ph mètre	
Microscope optika	

<p>Balance analytique</p>	 A photograph of an analytical balance. The weighing pan is open, and the digital display shows a reading of 0.0112 g. The brand name 'Analytical' is visible on the front panel.
<p>Spectroscopie infra-rouge</p>	 A photograph of an infrared spectrometer. The instrument is white with a green accent on the top. It is a benchtop model with a sample compartment on top.

RESUME

RESUME

L'objectif de cette étude était étude phénotypiques et spectroscopique de différentes catégories, impliqués dans la réponse aux stress abiotiques, sur le blé dur locale waha. il est été exposé à différents régimes hydriques contrôlés par la mesure de la TME. L'expérimentation a été conduite de manière à avoir deux niveaux de stress hydrique (Au stress SH1 (82%) de TME Au stress SH2 (61%) de TME) aussi d'étudier le taux de germination G% qui est comparé les résultats effectuée .où nous trouvons le stress hydrique chez le SH1 manifeste beaucoup moins par rapport à stress hydrique chez SH2

Cette tolérance pourrait être traduite par l'existence d'osmolytes réputés pour leur implication dans la réponse aux effets de la sécheresse.

Mots clés: blé, waha, TME%, Stress hydrique

RESUME

ABSTRACT

The objective of this study was phenotypic and spectroscopic studies of different categories, involved in the response to abiotic stress, on the local durum waha. It has been exposed to different water regimes controlled by the measurement of TME. The experiment was conducted in such a way as to have two levels of water stress (Stress SH1 (82%) of TME at SH2 stress (61%) of TME) also to study the germination rate G% which is compared the results in which we find the water stress in the SH1 manifests more than water stress in SH2 .

This tolerance could be translated by the existence of osmolytes known for their involvement in the response to the effects of drought.

Key Words: wheat, waha, TME%, water stress

RESUME

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى دراسة مورفولوجيا و معرفة مختلف الخصائص، بالتحديد تلك التي لها دور في الاستجابة للتوتر غير الحيوي، وذلك على عينة نبات القمح المحلي "واحة" الذي أختير لهذه الدراسة عرضت العينة على حالات نقص في المياه والتي تمت مراقبتها بقياس مردودية الماء. طبقت الدراسة التجريبية بطريقة سمحت بالحصول على مستويين من التوتر المائي " عند SH1 كانت مردودية المياه 82% اما عند SH2 كانت مردودية المياه (61% كذلك قمنا بدراسة نسبة الانتاش التي تمت فيها مقارنة النتائج المتحصل عليها حيث وجدنا ان التوتر عند SH1 لا يؤثر بطريقة كبيرة على مقارنة بالتوتر عند SH2 يمكن تفسير هذه المقاومة بتواجد العناصر الأسمولية المعروفة بدورها الفعال في الإستجابة لتأثيرات الجفاف.

الكلمات المفتاحية: قمح . واحة. المردودية المتوسطة للماء . جهد مائي

LISTE DES REFERENCES

1. **Abbassene F., 1997.** Etude génétique de la durée des phases de développement leur influence sur le rendement et ses composantes chez le blé dur. Thèse de magistère INA. Alger, 70 p.
2. **Albouchi A., Bejaoui Z., Hedi El Aouni M., 2003.** Influence d'une stress hydrique modéré ou severe sur la croissance de jeunes plants de *Casuarina glauca*. Edit. Science et changements planétaires, Sécheresse. Vol. 14, (3), 137-142 p.
3. **Al Hakimi A., 1992.** Evolution de la variabilité génétique des caractères d'adaptation à la sécheresse chez les espèces primitive (sauvages et cultivées) de blé tétraploïde. Thèse DEA Montpellier, 186p.
4. **Amiour N., Merlino M., Leroy P., Branlard G., 2003.** Chromosome mapping and identification of amphiphilic proteins of hexaploid wheat kernels. *Theoretical and Applied Genetics* 108, 62-72 p.
5. **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. *Sciences et Technologie*, numéro spécial D, 33-38 p.
6. **Bajji M., 1999.** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur. caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés In vitro. Thèse de doctorat. Univ. Louvain.
7. **Ben Naceur M., Nailly M., & Selmi M., 1999.** Effet d'un déficit hydrique, survenant à différents stades de développement du blé, sur l'humidité du sol, la physiologie de la plante et sur les composantes du rendement. *MEDIT*, 2 : 53-60 p.
8. **Ben Rejeb K., Abdelly C., & Savoré A., 2012.** La proline, un acide aminé multifonctionnel impliqué dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales. *Biologie Aujourd'hui*, 206 (4) : 291-299 p.
9. **Berka S., & Aïd F., 2009.** Réponses physiologiques des plants d'*Argania spinosa* (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. *Sécheresse*, 20 (3) : 296-302 p.
10. **Blum A., 1996.** Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation*, 20 : 135-148 p.
11. **Bohnert HJ., Nelson D E., Jensen R G., 1995.** Adaptation to environmental stress.
12. **Bonjean A., 2001.** Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Dossier de l'environnement de l'INRA, 21: 29-37 p.

13. **Boulal H., Zaghouane O., EL Mourid M., et Rezgui S., 2007.** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. ITGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
14. **Boussekar R et Hassouni N., 2009.** analyse des eaux usées, d'oued chaabet roba et l'étude de leur impact sur les paramètres physiologiques du blé dur au laboratoire , Mémoire d'ingénieur d'état en écologie et environnement. Université de Biskra.
15. **Bouzarzour H., Dekhili M., 2002.** Heritabilites, gains from selection and genetic correlations for grain yield of barley grown in two constructing environments.F.C.R.41:173-178 p.
16. **Bray E A., 1997.** Plant responses to water deficit. *Trends Plant Sci*, **2**: 48-54.
17. **Chaves M M., Flexas J., and Pinheiro C., 2009.** Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, **103**, 551-560 p.
18. **Cherfia R., 2010.** Etude de la variabilité morpho-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur algérien (*Triticum durum* Desf.). Magistère en Biotechnologies végétales, Université Mentouri, Constantine, 3-5 p.
19. **Cornic G., (2008).** Effet de la contrainte hydrique sur la photosynthèse foliaire: De l'utilisation expérimental des relations A/Ci et ACc, article, 36 p.
20. **Couplan F., 2000.** Dictionnaire étymologique de botanique, édition Delachaux et Niesté SA, Paris, 37 p.
21. **Curtis B C., 2002.** Wheat in the world. In Curtis, B.C., Rajaram, S., Macpherson, H.G. eds, Bread wheat improvement and Production. 567 p.
22. **Doussinault G., Kaan F., Lecomte C., et Monneveux P., 1992.** Les céréales à paille : présentation générale. In : Gallais A. et Bannerot H. (Eds.), Amélioration des espèces végétales cultivées. Ed. INRA, Paris,13-21 p.
23. **Dubos C., 2001.** Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat en biologie Forestière, Université Henri Poincaré, Nancy I: 225 p.
24. **Dyer JA., 1984.** Monitoring drought for grazing land management's. *J Soil Water Conserv* ; **39** : 176-8 p.
25. **El Jaafari S., Paul R., 1993.** Accumulation foliaire de proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*triticum aestivum* L.). *Arch. Int. Physiol. Biochem. Biophys.* **101**, B8.
26. **Feillet P., 2000.** Le grain de blé, composition et utilisation. *INRA*, Paris, 308 p.

27. **Feliachi K., Amroune R., et Khaldoune., 2001.** Impact de la sécheresse sur la production des céréales cultivées dans le nord de l'Algérie: céréaliculture N0 35.ED. ITGC. Algérie.
28. **Fischer RA., Maurer R., 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivar. Grain yield responses. *Aus J. Agr. Res* 29 : 897-912 p.
29. **Fokar M., Nguyen H T., Blum A., 1998.** Heat tolerance in spring wheat Grain filling. *Euphytica* 104 : 9-15 p.
30. **Gate P., 1995.** Ecophysiologie du Blé, de la Plante à la Culture. Editions technique et documentation, Lavoisier, Paris Cachan, 351 p.
31. **Guerrero C., Rossel R A V., and Mouazen A M., 2010.** Special issue 'Diffuse reflectance spectroscopy in soil science and land resource assessment'. *Geoderma*, 158: 1-2.
32. **Hadjichristodoulou A., 1985.** Stability of Performance of Cereals in Low- Rain fall Areas as Related to Adaptive Traits. Drought Tolerance in Winter Cereals Proceedings of an International Workshop, 27-31 October, Capri, Italy, 191-199 p.
33. **Hamadache A., 2002.** Evolution récente des principales ressources fourragères et possibilités d'amélioration en Algérie. *Céréaliculture*, 35 : 13-20 p.
34. **Harb A., Krishnan A., Ambavaram M R., Pereira A., 2010.** Molecular and physiological analysis of drought stress in Arabidopsis reveals early responses leading to acclimation in plant growth. *Plant -Physiology*. 1254-1271p.
35. **Hireche Y., 2006.** Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de magister, Département d'Agronomie. Université EL-Hadj Lakhdar, Batna. 83 p.
36. **Hurd EA., 1974.** Phenotype and drought tolerance in wheat. *Agric Meterol*. 19: 39-55 p.
37. **Jahier J., 1992 .** Techniques de cytogénétique végétale. INRA. Paris. 57- 67 p.
38. **Jean-François., & Morot-Gaudry., 1997.** Assimilation de l'azote chez les plantes: aspects physiologique, biochimique et moléculaire. *INRA, Paris*, 119-235 p.
39. **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 p.

40. **Kadi Z., Adjel F., & Bouzerzour H., 2010.** Analysis of the genotype X environment interaction of barley grain yield (*Hordeul vulgare* L.) cultivars. *Adv. Environ. Biol*, 4: 34-40 p.
41. **Karou M., Haffid R., Smith D N., & Samir K., 1998.** Roots and growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early-season drought. *Agronomy*, 18: 181-186 p.
42. **Kawaguchi R., Girke T., Bray E A and Bailey-Serres J., 2004.** Differential mRNA translation contributes to gene regulation under non-stress and dehydration stress conditions in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Journal* 38: 823-839 p.
43. **Lepoivre P., 2003.** Phytopathologie: Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte. De Boeck Supérieur, 27-28 p.
44. LEPS (Labourtoire d'Ecophysiologie des Plantes sous stress environnementaux). 2000. La résistance des plantes à la sécheresse. INRA. Montpellier
45. **Ludwig B., Khanna PK., Bauhus J., and Hopmans P., 2002.** Near infrared spectroscopy of forest soils to determine chemical and biological properties related to soil sustainability. *Forest. Ecol. Manag.* 171: 121- 132 p.
46. **MADR., 2012.** Annuaire statistiques du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Série B.
47. **Mantsch H H., Perczel A., Hollosi M., et Fasman G D., Biopolymers 1993,33,201-207**(Goormaghtigh E., Cabiaw V. et Ruyschaert LM. Subcellular Biochemisiry. PhysicochemicaZ methoak in study *of* biomembranes, Hilderson H.J. et Ralston G.B. Eds, Plenum Press, New-York, 1994b, Volume 23, Chapitre 10).
48. **Mazouz L., 2006.** Etude de la contribution des paramètres phéno- morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans l'étage bioclimatique semi-aride .Mémoire de Magistère. Université Hadj Lakhdar Batna.
49. **Megherbi A., Mehdadi Z., Toumi F., Moueddene K., & Bouadjra S E B., 2012.**
50. **Mekhlouf A., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hadj Sahraoui A., Harkati N., 2006.** Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse*. 17(4) : 507-13 p.
51. **Mekliche A., Boukacha D., Et Hanifi-Mekliche L., 2003.** Etude la tolérance a la sécheresse de quelques variétés de blé bur (*Triticum durum* Desf). *Annales de l'institut national agronomique*, 24 (1 ,2), 99-114 p.
52. **Meyer S., Reeb C., Bosdeveix R., 2008.** Botanique : biologie et physiologie végétales. 2^eed, Collection sciences fondamentales, Maloine, Paris, 57-416 p.

53. **Monneveux P., 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 p.
54. **Monneveux P., This D., 1997.** La génétique aux problèmes de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés. *Sécheresse*. 1(8) : 29-37 p.
55. **Monneveux P., 2002.** Bilan d'activités du laboratoire sur le thème : amélioration de la tolérance à la sécheresse du blé dur. UER de génétique et amélioration des plantes, ENSA-INRA Montpellier.
56. **Mouellef A., 2010.** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Thèse de magistère en Biotechnologies Végétales. École Doctorale, constantine, 15 p.
57. **Nachit M M., Picard E., Monneveux P., Labhilili M., Baum M., & Rivoal R. 1998.** Présentation d'un programme international d'amélioration du blé dur pour le bassin méditerranéen. *Cahiers Agric*, 7 : 510-515 p.
58. **Naumann D., Chichester, 2000** in: R.A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, John Wiley & Sons Ltd, pp. 102-131p.
59. **Neffar F., 2013.** Analyse de l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress abiotiques dans différents génotypes de blé dur (*Triticum durum*) et d'orge (*Hordeum vulgare*) soumis à la sécheresse. Thèse doctorat en Sciences, Université Sétif. 86 p.
60. **Nemmar M., 1980.** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) et chez le blé tendre (*Triticum.aestivum* L.) : étude de l'accumulation de la proline sous l'effet du stress hydrique. thèse D.A.A. ENSA. Montpellier. France. 65 p.
61. **O'toole J C., Cruz R T., 1980.** Response of leaf water potential, stomatal resistance and leaf rolling to water stress. *Plant Physiol*. 51: 993-997 p.
62. **Rapilly F., 2003.** Stades du blé. Ed., © ITCF ,8 avenue de président Wilson 75116 paris, 3-12 p.
63. **Rebetzke G J., Condon A G., Farquhar G D., Appels R., Richards R A., 2008.** Quantitative trait loci for carbon isotope discrimination are repeatable across environments and wheat mapping populations. *Theoretical and Applied Genetics*, **118** :123-137 p.
64. **Reyes-Gómez V M., López D N., Robles C A M, Pineda, J A R, Gadsden, H Ortíz., M L., Hinojosa de la Garza, O.R., 2006.** Caractérisation de la sécheresse

hydrologique dans le bassin versant du Río Conchos (État de Chihuahua, Mexique). Sécheresse. 17(4) : 475-84 p.

65. **Richards R A., et Passioura J B., 1981.** Seminal root morphology and water use of wheat. II. Genetic. Crop Sci. 21 : 253-255 p.
66. **Robert P., M.L. Marquis C C., Barron F., Guillon L., Saulnier J., 2005.** Agr. Food Chem. (53) 7014–7018 p.
67. **Samars Y., Bressan, R A., Csonka L N., Garcia-Rios M G., Paino D’Urzo M., & Rhodes D., 1995.** Proline accumulation during drought and salinity. In : Environment and plant metabolism, Smirnoff N, ed. Bios scientific publisher, Oxford.
68. **Saulnier L P., Robert M., Grintchenko F., Jamme B., Bouchet F., Guillon J., 2009.** Cereal Sci. (50) 312–317 p.
69. **Shewry P., Tatham A.S., Forde J., Kreis M and Miflin B.J., 1986.** The classification and nomenclature of wheat gluten proteins. A reassessment, J. Ceral Sci., 4, 97-106 p.
70. **Slama A., 1996.** Effet d’une contrainte hydrique édaphique sur le développement du système racinaire de deux variétés de blé dur. DEA de physiologie végétale, faculté des sciences de Tunis.
71. **Slama A., 2002.** Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie, faculté des sciences de Tunis.
72. **Soltner D., 2005.** Les grandes production végétales. 20^{ème} Edition. Collection science et techniques agricoles. Pp: 215-220-301 -303-308 p.
73. **Stenberg B., Rossel R.A.V., Mouazen, A.M., and Wetterlind J., 2010.** Visible and near infrared spectroscopy in soil science. Adv. Agron. 107: 163- 215 p.
74. **Subbarao G.V., Johansen C., Slinkard A.E., Nageswara R.C., Saxena N.P., Chauhan Y.S. 1995.** Strategies for improving drought resistance ingrain legume. Crit Rev Plant Sci. 14 : 469-523 p.
75. **Turner N.C., 1997.** Further progress in crop water relations. Adv Agron. 58: 293-338.
76. **Tahri E., Belabed A., & Sadki K., 1997.** Effet d’un stress osmotique sur l’accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*). *Bulletin de l’Institut Scientifique*. Rebat, 21: 81-89 p.
77. **Velasco R., Salaminif et Bartlets D., 1994.** Dehydration and ABA increasemRNAlevels and enzyme activity of cytosolic GAPDH in the resurrection plant. Plant mol. Biol., 26: 541-546 p.

78. **Wang W X., Vinocur B., Altman A., 2003.** Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*. 1-14p.

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

LES SITES D'INTERNET

- FAO, 2018. <http://www.fao.org/home/fr/>
- <http://www.zeblog.com/blog/uploads/s/scorpion2/ble.gif>
- <https://fr.statista.com/statistiques/559831/principaux-pays-producteurs-de-ble-dans-le-monde/>
- <https://fr.actualitix.com/pays/dza/algerie-ble-production.php>
- Lehavev ,Le Blé: Une culture indispensable.
http://www.univlehavre.fr/enseign/fst/projets/alternative_desherbages/cultures/cult_bl%E9.html
- <http://www.chim.lu/ch1784.php>
- <https://adamphysiquechimieterminales.wordpress.com/2016/10/06/chap-4-analyse-spectrale/>
- <https://www.bac-s.net/document/physique-chimie/analyse-spectrale-spectroscopie-infrarouge--3150.html>
- http://www.chim.lu/ch1784.php://www.shimadzu.fr/sites/default/files/shimadzu_lb_ftir_2015-bd.pdf