



République Algérienne Démocratique Et Populaire



Ministère De L'enseignement supérieur Et De La Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABBES LAGHROUR DE- KHENCHLA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT: DE BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLECULAIRE

MEMOIRE:

MASTER ACADEMIQUE

FILIERE: Sciences biologiques

OPTIONS: BIOLOGIE MOLECULAIRE ET GENETIQUE

Thème:

Étude Génétique et moléculaire des protéines impliquées dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique

Soutenu le : 23/06/2024

Présenté par:

Ferhati Houssam Eddine

Encadré

HAMADA . Y

Devant le jury de soutenance:

Président: Mr. BOUAZZA. L (M.C.B) UNIVERSITE ABBES LAGHROUR - KHENCHLA-

Promoteur: Mr. HAMADA .Y (M.A.A) UNIVERSITE ABBES LAGHROUR - KHENCHLA-

Examineur:Mr. HABIBATNI .S (M.C.B) UNIVERSITE ABBES LAGHROUR - KHENCHLA-

Promotion 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements:

Je tiens tout d'abord à exprimer ma gratitude envers ALLAH, le Tout-Puissant, qui m'a soutenu tout au long de mes années d'études, me donnant la volonté, la patience et le courage nécessaires pour mener à bien ce travail. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mon immense respect envers mon superviseur, le Professeur Y. HAMADA, pour son soutien, ses conseils précieux, sa gentillesse et son appréciation de ce travail.

Je souhaite également remercier les membres du jury (Dr. BOUAZZA Lyess et Dr. HABIBATNI S.) qui ont honoré notre thèse par leur participation et leur évaluation.

Je remercie tous les enseignants du département des sciences de la vie pour leur aide et leur encouragement tout au long de mes études.

Enfin, je tiens à remercier notre entourage pour leur soutien, ainsi que toutes les personnes qui ont contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de ce travail

Dédicaces

Louange à Dieu qui nous a permis de franchir cette dernière étape de notre parcours académique avec cette thèse, fruit de nombreuses années d'efforts. Je tiens à la dédier grâce à Dieu Tout-Puissant à mes chers parents, et je prie Dieu de les préserver et de les rendre toujours une lumière dans ma vie. Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude envers mon superviseur, M.

Hamada Youssef, pour tous les précieux conseils et informations qu'il m'a fournis, contribuant ainsi à l'achèvement de mon étude. Que Dieu le protège et lui accorde santé et bien-être.

Ensuite, je souhaite remercier mes frères "Kacem", "Fares" et "Mohammed", ainsi que "Manal" et "Souha", qui m'ont soutenu et continuent de le faire, ainsi que ma tante "Fatima". Je suis reconnaissant envers "Widad", ma compagne de route et de voyage, dont le soutien a été inestimable. Que Dieu vous bénisse tous. Enfin, je termine mon parcours universitaire après beaucoup de fatigue et d'épreuves... Je remercie tous ceux qui ont contribué à mon parcours éducatif, qui m'ont enseigné, même un seul mot, ma chère famille, mes amis et mes enseignants à toutes les étapes académiques.



Liste de Figures

Figure	Titre	page
Figure 01	Importation, exportation et taux de couverture des besoins en céréales (2000- 2015) (OAIC et ONS 2016)	
Figure 02	Origine et diffusion de <i>Triticum turgidum</i> (BONJEAN, 2001)	
Figure 03	l'origine des génomes portés par les différents blés	
Figure 04	Localisation subcellulaire multiple des aquaporines végétales.	
Figure 05	Carte de la totalité des loci connu des gluténines et des gliadine (chez le blé tendre et le blé dur) sur le chromosome A du groupe1. (Distances en centimorgans)	
Figure 06	Carte de la totalité des loci connu des gluténines et des gliadine (chez le blé tendre et le blé dur) sur le chromosome B du groupe1. (Distances en centimorgans)	
Figure 07	La taille et la masse d'un grain de blé WAHA	
Figure 08	La taille et la masse d'un grain de blé O,ELBARAD	
Figure 09	La taille et la masse d'un grain de blé simito	
Figure 10	La taille et la masse d'un grain de blé vitron	
Figure 11	Préparation des pots et le plan expérimental.	
Figure 12	Blé cultivé sur la parcelle selon les conditions naturelles	
Figure 13	La hauteur du plant mesuré à l'aide d'une Mètre ruban	
Figure 14	La longueur des racines a été mesurée à l'aide d'une Mètre ruban	
Figure 15	l'étape de la germination.	
Figure 16	Détermination du poids frais	
Figure 17	les étapes de dosage des sucres solubles.	
Figure 18	les étapes de dosage de la proline.	
Figure 19	variation de la Hauteur de la plante (HP) en fonction de la variété et du type de traitement.	
Figure 20	Variation de la hauteur des plantes (HP) dans des conditions naturelles	
Figure 21	variation de longueur des racines en fonction de la variété et du type de traitement	
Figure 22	variation de longueur des racines dans des conditions naturelles	
Figure 23	variation de Teneur relative en eau	
Figure 24	variation de Teneur relative en eau dans des conditions	
Figure 25	taux de germination chez les 4 variété de blé dur.	

Figure 26	variation de Teneur relative en proline	
Figure 27	variation de Teneur relative en proline dans du conditions N	
Figure 28	variation de Teneur relative en sucre	
Figure 29	variation de Teneur relative en sucre dans du conditions N	
Figure 30	chromosomes dans la métaphase de mitose du blé dur	
Figure 31	Cellule à grossissement X10	
Figure 32	Cellule à grossissement X40	
Figure 33	Cellule à grossissement X100	

Liste des Tableaux:

Tableaux	titre	Page
Tableaux 01	Origines possibles du génome B (Kerby , 1987)	
Tableaux 02	Classification botanique du blé (Sanah, 2015).	
Tableaux 03	Composition chimique des différentes parties du grain de blé	
Tableaux 04	Etude protéomique chez le blé et de l'orge en réponse à la sécheresse (Kosová et al. 2014 in Kacem 2017)	
Tableaux 05	Nom et origine des variétés de blé dur étudiées	

Les abréviations:

DHNs	Les Déhydrines.
ADN	Acide désoxyribonucléique
LEA	Late Embryogenesis Abundant
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
AQP	les aquaporines.
T.durum	Triticum durum
T.monococcum	Triticum monococcum.
TRE	La teneur relative en eau de la feuille.
TCV	Taux de croissance végétative.
ERD1	Un gene
AFLP	Amplified Fragment Length Polymorphisme
PCR	Polymerase Chain Reaction
RAPD	Random Amplified Polymorphic DNA
RFLP	Restriction Fragment Length Polymorphism
SSR	Simple Sequence Repeat
NCBI	nation center for biotechnology and information
ABA	Acide Abscissique
ARNm	acide ribonucléique messenger
DRE	Dehydration Responsive Element

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Liste de Figures

Liste des Tableaux

Liste des Abréviations

Chapiter I: généralités sur la céréale de blé

INTODUCTION:	13
1. Importance de ble Dans le monde et dans ALGERIE:	1
1.1. Dans le monde:	2
1.2. Dans LAlgérie:	2
2. Catégories et variétés de blé :	3
2.1. Catégorie de blé :	3
2.2 Variétés en Algérie:	4
3. Origine et classification:.....	4
3.1. Origine géographique :	
3.2. Origine génétique :	5
3.2.1. Origine du génome A:	6
3.2.2. Origine du génome B:	6
3.2.3. Origine du génome D:	6
3.3. Classification botanique de blé dur.....	7
3.4. Classification génomique:	8
Chapiter II	
1. Les changements climatiques:	10
2. Le stress hydrique :	10
3. Effet du stress hydrique sur le blé:.....	10
3.1. Effet du stress hydrique sur la germination:	10
3.2. Effet du stress hydrique sur tallage:	11
3.3. Effet du stress hydrique sur Epiaison-Floraison:	11

3.4.	Effet du stress hydrique sur la maturation:	11
3.5.	L'impact du déficit hydrique sur le rendement de blé dur:	11
3.6.	Effet sur les échanges gazeux et la transpiration:	11
3.7.	Effet sur la conduction stomatique:	12
3.8.	Effet sur la photosynthèse:.....	12
4.	L'adaptation à la stress hydrique:	12
4.1.	Adaptations phénologiques:.....	12
4.2.	Adaptations morphologiques:	13
4.3.	Adaptations physiologiques:	13
4.4.	Fonctionnement stomatique:	13
4.5.	Ajustement osmotique:.....	13
4.6.	L'accumulation de sucres solubles :.....	14
4.7.	Accumulation de la proline:.....	14
4.8.	La teneur en chlorophylle :.....	15
5.	Stratégie d'adaptation:	15
5.1.	L'esquive du stress ou l'échappement:	15
5.2.	L'évitement du stress:	15
5.3.	La tolérance du stress:	16
Chapitre III:.....		Erreur ! Signet non défini.
1.	Les composition biochimique du grain :.....	18
1.1.	Les proteins:	18
1.1.1.	Les protéines solubles : représente 15 à 20 % des protéines totales:	18
1.1.2.	Les protéines de réserves :.....	18
1.2.	Les aquaporines :.....	19
1.3.	Le gluten:	20
1.4.	L'amidon:	21
1.5.	Les pentosane:.....	21
1.6.	Les lipides:.....	21
1.7.	Interactions Lipides - protéines – amidon:.....	22
1.8.	Les enzymes:	22
1.9.	Les protéines déhydrines : LEA	23
2.	Les caractéristiques génétiques des protéines de reserve :	26
2.1.	Génome du blé et synthèse des protéines de réserve:.....	26

2.2.	Relation entre diversité de protéines de réserves et la qualité:.....	27
2.2.1.	Etape 2: La fixation:	27
2.2.2.	Etape 3: Stockage	28
2.2.3.	Etape 4: l'hydrolyse.....	Erreur ! Signet non défini.
2.2.4.	Etape 5: La coloration.....	Erreur ! Signet non défini.

Deuxième partie:

Matériels et Méthodes:

1.	MATERIEL VEGETAL:.....	31
2.	Installation et conduite de l'essai sous abris:	33
2.1.	Protocole Expérimental:	33
2.2.	Préparation des pots:.....	33
2.3	Préparation du la parcelle de terrain pour l'agriculture:.....	33
2.4	Calendrier d'irrigation.....	34
3.	Paramètres étudiés:	34
3.1	Les Paramètres morphologiques:.....	34
3.1.1	Longueur de la plante:.....	34
3.1.2	Longueur des racines:.....	35
3.2	Les paramètres physiologiques:	36
3.2.1	Taux de germination (G%):.....	36
3.2.2	Teneur relative en eau (TRE%):	37
3.3	Les Paramètre biochimique:.....	37
3.3.1	Dosage de sucre soluble:	37
3.3.2	Extraction et dosage de la proline:	39
4.	Etablissement de caryotype par la technique de cytogénétique:	40
4.1.	Le protocole experimental:	40
4.1.1.	Le matériel vegetal:	40
4.1.2.	Méthodes:	40
	Résultats et discussion	43
1.	Paramètres morphologique:	43

1.1. Hauteur des plantes:.....	43
1.2. Longueur des racines:	47
2. Paramètre physiologique:	49
2.1. Teneur relative en eau (TRE):.....	49
2.2. Taux de germination (G%):	51
3. Paramètre biochimique:	52
3.1. Teneur en proline:	52
3.2. Sucres solubles:	54
4. Le caryotype de blé dur:.....	55



Introduction

INTRODUCTION:

Le blé est l'une des ressources alimentaires principales de l'humanité. La production mondiale, en progression constante, et les échanges qui se multiplient entre les régions du monde font de cette céréale l'une des principaux acteurs de l'économie mondiale et justifient les nombreux travaux qui lui sont consacrés (**Lesage 2011**)

Cependant, la production agricole de blé est confrontée à d'importants défis, parmi lesquels se distingue le problème de la pression hydrique. Les conditions météorologiques changeantes et les variations climatiques entraînent des fluctuations dans la disponibilité de l'eau pour l'agriculture.

Les plantes sont souvent soumises à des graves déficits hydriques dus à une chute brutale de l'humidité ou à une augmentation de la température, la rareté des pluies ou des pluviosités. Beaucoup d'espèces peuvent également induire un stress hydrique du fait de la diminution de la croissance ainsi qu'une réduction de l'activité photosynthétique, affectant ainsi le rendement et provoquant la mort de la plante si le stress perdure (**May and Milthorpe 1962**)

Par conséquent, la compréhension des mécanismes de tolérance à ces stress constitue un enjeu économique majeur.

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, une approche basée sur les performances agronomiques. Actuellement, les programmes d'amélioration du blé s'intéressent de plus à l'amélioration génétique et moléculaire de la tolérance au stress hydrique. Cette amélioration exige d'étudier, d'identifier et de vérifier les caractères phénologiques, morpho-physiologiques et biochimiques liés au rendement en condition de stress hydrique (**Pfeiffer et al. 2000**)

L'importance de l'étude génétique et moléculaire des protéines liées à l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) à la pression hydrique réside dans son statut de domaine de recherche essentiel. En utilisant des techniques avancées telles que le séquençage du génome, la protéomique et l'analyse de l'expression génique, les chercheurs peuvent identifier les gènes et les protéines impliqués dans ces processus. Cette compréhension approfondie des mécanismes moléculaires ouvre la voie au développement de variétés de blé dur plus résilientes face à des conditions de pression hydrique, contribuant ainsi à assurer la sécurité alimentaire dans des environnements aux ressources hydriques limitées.

En Algérie, la culture des céréales occupe une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. La production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays. La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 million d'hectares. Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures (**DJERMOUM, 2009**). Aussi, les importations des céréales représentent 43% des valeurs globales des importations du pays et le blé dur représente la majorité des importations (**Smadhi and Zella 2009**).

Pour répondre à cette préoccupation, Ce travail a pour objectif de comparer le comportement des variétés de blé dur sous stress hydrique, ceci par l'étude de quelques paramètres morphologiques, cytogénétique, physiologiques, biochimiques et moléculaire.

Notre mémoire est présenté en trois chapitres:

Premiere partie: Synthèse bibliographique.

- Chapitre I: Généralités sur le blé
- Chapitre II: Effet du stress hydrique sur le blé dur et mécanismes d'adaptation
- Chapitre III: Étude Génétique et moléculaire des protéines impliquées dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique

Deuxieme partie: Partie pratique

- Matériel et Méthodes
- Résultats et discussion.

Chapitre I: généralités sur la céréale de blé

A large, stylized black letter 'C' is partially encircled by a golden wheat stalk wreath. The wreath starts from the bottom left and curves around the top and right sides of the 'C'.

Chapitre01

Importance du blé Dans le monde et en Algérie:

1.1. Dans le monde:

La nutrition et la sécurité alimentaire sont devenues vitales pour la survie de la nation. Avec une agriculture avancée et moderne, c'est une garantie d'approvisionnement alimentaire, de réduction de la pauvreté et un catalyseur de croissance économique. Pour les économistes, c'est le secteur qui assure une réduction durable de la pauvreté et s'attaque aux fondements de l'instabilité de la population, notamment des citadins. La guerre en Ukraine a montré aux gouvernements que la dépendance alimentaire constitue un danger constant et une menace pour l'équilibre politique, social et économique. La crise sanitaire et les perturbations commerciales consécutives à la pandémie de la COVID-19 ont entraîné une hausse des prix de nombreux produits agricoles et mis en évidence l'importance de l'autosuffisance agricole pour beaucoup.

Le blé, étant la céréale la plus consommée au monde, 70 % de sa production est utilisée pour l'alimentation, tandis que 20 % sont utilisés pour l'élevage et 2 à 3 % sont utilisés dans le secteur industriel. Il suffit de dire que ce produit de base est vital pour la survie de la population. En 2021, la taille du marché du blé était estimée à 127,7 milliards de dollars, et elle devrait atteindre 169,1 milliards de dollars d'ici 2027. La production mondiale de blé est d'environ 763 millions de tonnes et la valeur du commerce du blé atteint des centaines de milliards de dollars par an, ce qui reflète l'importance de cette culture dans les échanges commerciaux mondiaux, en plus du rôle vital qu'elle joue dans la réalisation de la sécurité alimentaire, car elle représente la principale source de nourriture mondiale.

1.2. En Algérie:

le blé dur revêt une grande importance à cause de plusieurs aspects :

❖ **Nutrition de base:** Le blé est une composante majeure du système alimentaire algérien, car il est utilisé pour produire du pain et des pâtisseries, et contribue à fournir de l'énergie et des protéines à la population.

❖ **Sécurité alimentaire :** La production locale de blé contribue à assurer la sécurité alimentaire du pays, car elle réduit la dépendance vis-à-vis des importations étrangères.

❖ **Économie agricole :** Le secteur agricole et la production de blé constituent une partie importante de l'économie algérienne, créant des opportunités d'emploi et favorisant la stabilité économique.

❖ **Exportation:** L'Algérie est considérée comme l'un des pays exportateurs de blé, ce qui contribue à améliorer le commerce extérieur et à augmenter les revenus.

❖ **Renforcement des capacités internes:** La production locale de blé améliore la capacité interne du pays dans le domaine de la sécurité alimentaire, ce qui réduit la dépendance vis-à-vis des importations.

En bref, le blé dur joue un rôle important pour répondre aux besoins de la population et promouvoir la stabilité économique en Algérie. C'est pourquoi l'Algérie a décidé d'accorder une priorité absolue à ce secteur, afin de réduire ses importations de blé et sa dépendance aux fluctuations mondiales et tensions géopolitiques. Le gouvernement a lancé de nouvelles mesures de facilitation pour les agriculteurs et ordonné des aides et des financements dans le cadre de

l'aménagement du territoire, notamment dans les zones arides et désertiques. Des mesures qui amélioreront la production de blé en Algérie dans les années à venir, par exemple : Plus de 39 mille hectares de céréales ont été plantés dans l'État de Khenchela, sur une superficie totale allouée estimée à 85 mille hectares, pour atteindre un objectif de production d'un année. Un million de quintaux. (TAHAR DJAOUT, 2023)

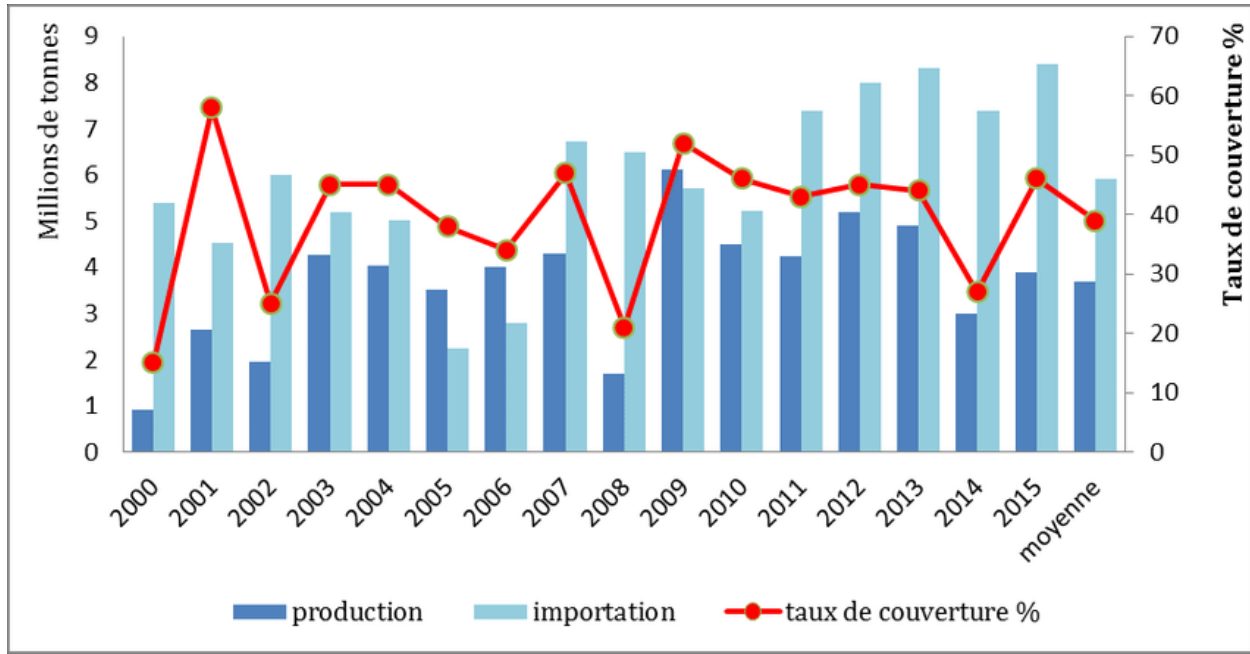


Figure1: Importation, exportation et taux de couverture des besoins en céréales (2000- 2015)

(OAIC et ONS 2016)

2. Catégories et variétés de blé :

2.1. Catégorie de blé :

Il existe une multitude de variétés de blé. Les cultivateurs et les producteurs s'efforcent d'ajuster au mieux ces variétés en fonction des caractéristiques du sol et du climat de la région, dans le but d'optimiser les rendements.

Les blés tendres:

En français ancien, le terme était utilisé de manière générale pour décrire diverses céréales dont le grain est utilisé pour la nourriture. Selon COUPLAN (2002), le terme "froment" est devenu synonyme de "blé tendre" en France et en Suisse.

Les blés durs :

Le blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) est une plante monocotylédone de la famille des Poacées, de la tribu des Triticeées et du genre *Triticum*. En termes de production commerciale et d'alimentation humaine, cette espèce est la deuxième plus importante du genre *Triticum* après le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Le blé dur est une graminée annuelle de taille moyenne et dont

le limbe des feuilles est aplati. L'inflorescence en épi terminal se compose de fleurs parfaites. (Bozzini, 1998). Cette variété de blé est cultivée dans les régions caractérisées par un climat chaud et sec

Les blés mitadins :

Ces variétés de blé qui présentent des caractéristiques et des qualités intermédiaires entre le blé tendre et le blé dur sont importantes car elles présentent des avantages uniques. Les grains de ces variétés ont une forme plus obstruée que celle du blé tendre et sont en même temps moins allongés que les grains de blé dur.

2.2. Variétés en Algérie:

Malgré la grande richesse des ressources génétiques, les variétés connues actuellement présentent un spectre assez réduit au regard de la diversité des conditions agro-climatiques de l'Algérie pour plusieurs raisons, dont quelques-unes sont liées à une méthodologie d'amélioration empirique, d'autres à l'introduction précipitée de matériel végétal présentant des caractéristiques d'adaptation spécifique (AIT KAKI, 2007).

L'amélioration de la productivité des céréales nécessite une gamme variétale performante, diversifiée et adaptée à nos conditions. À cet égard, depuis l'adoption de la loi relative à l'inscription au catalogue officiel des variétés et des espèces cultivées en Algérie (loi n° 05-03 du 25 Dhou El Hidja du 09 février 2005), l'évolution de la gamme variétale a été particulièrement dynamique. Un total de 140 variétés de céréales sont actuellement autorisées à la production et à la commercialisation, réparties comme suit :

- 47 variétés de blé dur.
- 42 variétés de blé tendre.
- 27 variétés d'orge.
- 12 variétés d'avoine.
- 12 variétés de triticales. (Institut Technique Des Grandes Cultures)

3. Origine et classification:

3.1. Origine géographique :

La découverte du blé remonte à 15000 ans avant Jésus-Christ dans la région du croissant fertile, vaste territoire comprenant, la vallée du Jourdain et des zones adjacentes de Palestine, de la Jordanie, de l'Iraq, et la bordure Ouest de l'Iran (figure 0) (Feldman and Sears 1981)

La base de divers éléments botaniques, génétiques et archéologiques, que le creuset de notre céréaliculture se situerait en une zone plus limitée du dit Croissant fertile, localisée autour de l'amont du Tigre et de l'Euphrate, dans des territoires actuels de la Syrie et de la Turquie.

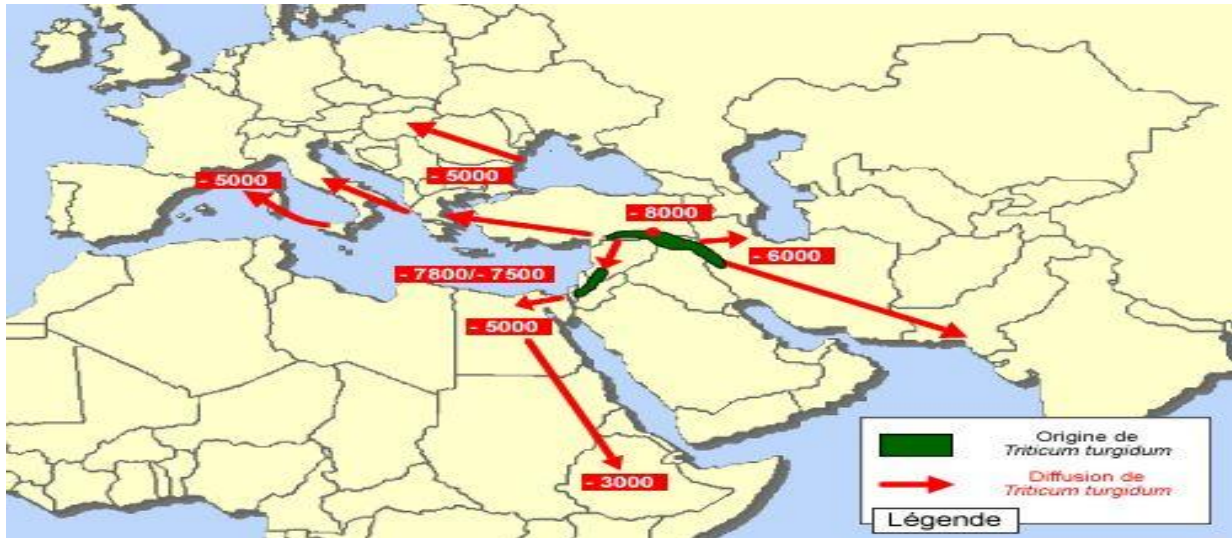


Figure 02: Origine et diffusion de *Triticum turgidum* (BONJEAN, 2001).

3.2. Origine génétique :

L'observation du déroulement de la méiose et les résultats des croisements ont mis en évidence la tendance des génomes des graminées à se diviser en deux types distincts, chacun étant désigné par l'une des lettres A, B ou D.

Génétiquement, le blé dur est allotétraploïde (deux génomes : AABB), comptant au total 28 chromosomes ($2n = 4x = 28$), contenant le complément diploïde complet des chromosomes de chacune des espèces souches. Comme telle, chaque paire de chromosomes du génome (A) a une paire de chromosomes homologues dans le génome (B), à laquelle elle est étroitement apparentée (Wall, Riley, and Gale 1971). Toutefois, durant la méiose, l'appariement des chromosomes est limité aux chromosomes homologues. De part leur constitution chromosomique, BOYELDIEU (1980) SIMON et al. (1989) distinguent l'existence de trois sous-groupes de céréales

❖ **Le groupe diploïde** : ($2n = 14$ chromosomes) ou engrain.

- *Triticum beoticum* ;
- *Triticum monococcum*

❖ **Le groupe tétraploïdes** : ($2n = 28$ chromosomes) ou groupe de *Triticum dicoccum* (Amidonier) ; on distingue :

- *Triticum diccocoïdes* ou amidonnier sauvage ;
- *Triticum turgidum* ou blé poulard ;
- *Triticum polonicum* ou blé de Pologne ;
- *Triticum durum* ou blé dur.

❖ **Le groupe hexapode** ($2n = 42$) ou groupe de *Triticum spelta* (épeautre) ; on distingue :

- *Triticum vulgare* ou blé tendre ;

- *Triticum compactum* ou blé hérisson.

Selon **PREVOST (1976)**, les blés à 28 chromosomes sont des allo tétraploïdes possédant les génomes A et B

3.2.1. Origine du génome A:

Les travaux de **KIHARA, (1924)** cite par **FELIX (1966)** ont permis d'attribuer l'origine du génome A à *triticum monococcum* var. *boeoticum* ou var. *urartu*.

Une autre étude basée sur le polymorphisme des séquences répétées à établi que *triticum urartu* qui est un proche parent de *triticum boeoticum* mais non inter-fertile est le donneur du génome A pour tous les blés polyploïdes (**Dvorak et al. 1998**)

3.2.2. Origine du génome B:

De nombreuses hypothèses sont émises quant à l'origine du génome B du blé: Le Tableau 4 synthétise ces explications plausibles

Tableau 01: Origines possibles du génome B (**Kerby , 1987**)

Auteur	Année	Origine possible du génome B
○ Pathak	1940	○ <i>Aegilops speltoides</i>
○ Sarkar et Stebbins	1956	○ <i>Aegilops speltoides</i>
○ Johnson	1975	○ <i>Triticum urartu</i>
○ Konarerv et al	1976	○ <i>Aegilops longissima</i>
○ Feldman	1978	○ <i>Aegilops searsii</i>
○ Kushnir et Halloran	1981,1983	○ <i>Aegilops sharonensis</i>
○ Lange et Balkemaboomstra	1988	○ <i>Aegilops, Vizide la section Sitopsis</i>

D'après ce tableau, l'origine du génome B demeure incertaine (source non identifiée) et controversée. Il est présent chez la plupart des blés tétraploïdes, il est similaire a *Aegilops speltoides*. Ainsi six espèces ont été données ou proposées en tant que donneuses potentielles et *Aegilops searsii* semble être le donneur le plus probable (**kerby et kupira,1987**)

3.2.3. Origine du génome D:

MC FADDEN (1926) a montré que l'espèce *Aegilops taushii* (*Aegilops squarrosa*) est l'origine du génome D chez les blés hexaploïdes, leur conférant une plus grande résistance au froid et certaines caractéristiques morphologique distinctes.

(**CAUDERON 1979**)signale qu'il a fallu près de 30 ans pour connaître l'origine du génome D. Il indique que l'analyse génomique par croisement de deux blés *T. aestivum* et *T. turgidum* avec trois espèces d'*Aegilops*; *Aegilops. Cylinrica*, *Aegilops. Caudata* et *Aegilops. Squarrosa* a conduit à la conclusion que l'espèce *Aegilops squarrosa* est à l'origine du génome.

Chaque génome **A**, **B** et **D** provient d'une espèce diploïde ancestrale différente. Ces trois espèces seraient elles mêmes issues d'un ancêtre diploïde commun.

Les génomes **A** et **B** exercent généralement un contrôle sur l'architecture, la résistance et la fertilité de l'espèce. De plus, le génome **D** confère au blé tendre sa capacité à être utilisé dans la technologie du pain.

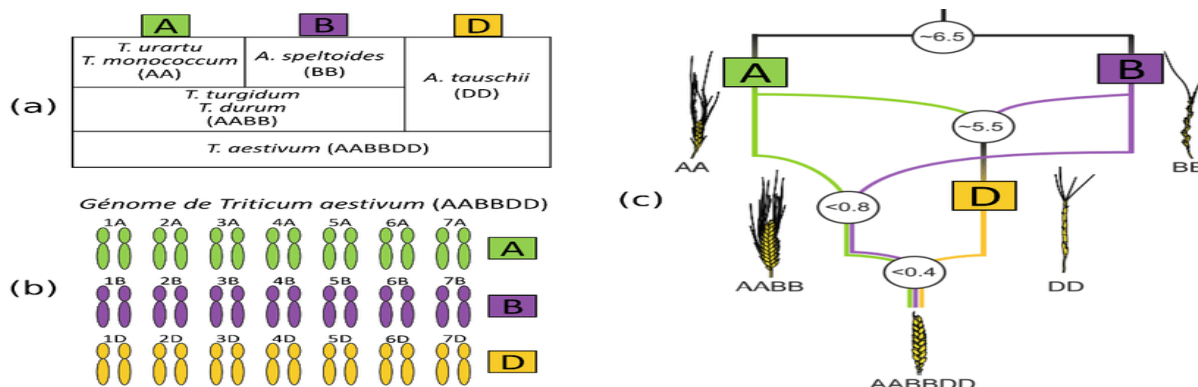


Schéma 03 : l'origine des génomes portés par les différents blés

3.3. Classification botanique de blé dur

La plupart des céréales, herbacée, annuelle, monocotylédone, appartiennent à la famille des graminées et/ou Poacées. Ce sont : le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs, le riz, le millet et le sorgho. Les unes appartiennent à la sous-famille des Festucoïdées : blé, orge, avoine, et seigle et les autres à la sous-famille des Panicoïdées : maïs, riz, sorgho et millet.

Le blé dur est une céréale autogame appartenant à l'ordre des Graminales (Poales), famille des Graminée (Poaceae) (**Rudolphe, 2001**). Une classification (**Tab. 2**) détaillée est donnée par le tableau 2 (**cité in Nadjeh, 2014**)

Tableau 2: Classification botanique du blé (**Sanah, 2015**).

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

3.4. Classification génomique:

Trois groupes de *Triticum* sont connus, répartis selon le nombre de leurs chromosomes:

➤ **Le groupe diploïde (2x7 chromosomes):**

comprend *Triticum monococcum* (en grain) et *T. Spontanée*, qui font partie des formes les plus anciennement cultivées. Caractérisées par des épis grêles où les grains restent enveloppés par les glumelles.

➤ **Le groupe tétraploïde (4x7 chromosomes):**

comprend *T. dicoccoïdes* (amidonnier sauvage), *T. dicoccum* (amidonnier), *T. turgidum* et *T. durum* (blé dur), à épis denses dont les graines riches en gluten servent à fabriquer les pâtes alimentaires.

➤ **Le groupe hexaploïde (6x7 chromosomes):**

représenté par *T. vulgare*, ou *T. Aestivum* (blé tendre) et *T. spelta* (épeautre), comprend la majorité des blés à épis assez larges et aux graines riches en amidon nécessaires à la fabrication du pain .

Le froment ou blé tendre (*triticum vulgare*), est de loin l'espèce la plus cultivée de ce genre avec le blé dur (*T.durum*), qui sert à préparer la semoule pour fabriquer des pâtes alimentaires.

Le blé dur a été cultivé 100 ans avant J.C et son aire géographique est l'Asie Centrale, Irak, Abyssinie, Etats-Unis, monde méditerranéen, tandis que le blé tendre dont le nom commun, est cultivé dans le monde entier et ce depuis 7000 ans avant J.C.

Les autres espèces comme l'épeautre (*T. spelta*), l'engrain (**T. monocuccum**), et le blé amidonnier (*T. dicoccum*) ne sont cultivées que dans certains pays d'Asie. Le blé est une plante annuelle, autogame à la fois simple car elle suit un processus irréversible de croissance et développement, et complexe car son cycle est soumis à une multitude d'interrelations aussi importantes les unes que les autres (**QUISENBERRY1976, in-BENSSEDIK, 2000**).



Chapitre II

1. Les changements climatiques:

Les systèmes agricoles sont étroitement liés au climat, et comprendre ces liens constitue un défi pour les chercheurs. Une quantité importante de travaux (**Kaiser et al. 1993; Tao and Zhang 2011; Xiao GuoJu et al. 2008**) a discuté des impacts potentiels du changement climatique sur l'agriculture en termes qualitatifs. D'une part, ils sont affectés par la dérive de son état moyen et par sa variabilité, et d'autre part, ils sont des contributeurs nets à la composition chimique de l'atmosphère et influencent le cycle énergétique du climat

L'Algérie fait partie de ce monde qui se réchauffe. À l'instar des autres pays, elle est également touchée par le changement climatique. Selon l'Institut international de développement durable (**IISD**), les données climatiques relevées dans le Maghreb durant le XXe siècle indiquent un réchauffement estimé à plus de 1°C avec une tendance accentuée au cours des 30 dernières années. Cette évolution dans les conditions climatiques aura des répercussions directes sur le développement et la croissance des végétaux et en particulier sur la productivité des plantes cultivées.

2. Le stress hydrique :

Le déficit hydrique constitue une contrainte constante pour la production agricole dans de nombreux pays caractérisés par un climat méditerranéen. Il est responsable des pertes de rendement agricole dans ces régions. Les risques liés à la pénurie d'eau deviennent de plus en plus fréquents et persistants, en raison des changements climatiques induits par l'effet de serre (**Witcombe et al. 2008**)

Le stress hydrique, souvent provoqué par la sécheresse, se manifeste lorsque la quantité d'eau transpirée est supérieure à la quantité d'eau absorbée. Donc, le manque d'eau et la rareté des précipitations sont les causes principales du stress hydrique.

Les stress provoqués par un déficit en eau constituent une menace permanente pour la survie des plantes et affectent leur croissance et développement de la plante

3. Effet du stress hydrique sur le blé:

3.1. 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 1997)

3.2. Effet du stress hydrique sur tallage:

Les travaux de (Ben-Naceur, Nailly, and Selmi 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

3.3. 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 (Amor Slama et al. 2005).

3.4. 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.

3.5. L'impact du déficit hydrique sur le rendement de blé dur:

Un déficit hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (Debaeke et al., 1996). Au stade montaison, le stress hydrique se traduit par la chute du nombre d'épis produits par mètre carré suite à la régression intense des talles et la baisse du nombre de grains par épi. Ceci se répercute sur le rendement économique de la culture, qui peut baisser de plus de 80% (Chennafi et al. 2006)

3.6. Effet sur les échanges gazeux et la transpiration:

De nombreux facteurs endogènes et environnementaux influencent l'état d'ouverture des stomates. L'intégrité de différents signaux par les cellules de garde permet de réguler le degré d'ouverture stomatique afin d'optimiser l'assimilation de CO₂ en fonction des conditions environnementales et de l'état physiologique de la plante. Dans le cas d'un stress hydrique, par exemple, ce système de régulation permet de limiter la perte d'eau qui pourrait être fatale à la plante en inhibant l'ouverture des stomates par la lumière au début de journée. Ceci diminue l'assimilation du CO₂, et ralentit, donc, le métabolisme et le développement, mais permet à la plante de survivre. Le stress hydrique influence l'état de turgescence des cellules de garde essentiellement par l'intermédiaire d'une phytohormone: l'acide abscissique (Belin, 2006).

3.7. Effet sur la conduction stomatique:

La réduction de la perte en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress hydrique. Si la fermeture des stomates permet à la plante de réduire la sortie d'eau, elle limite aussi l'entrée de CO₂ (**Benhamou 2009**). Cette diminution de la transpiration peut engendrer une réduction de la photosynthèse (**Hopkins 2003**)

3.8. Effet sur la photosynthèse:

L'effet dépressif d'un déficit hydrique sur la photosynthèse résulte d'une baisse de la conductance stomatique, d'une altération de l'appareil photosynthétique et/ou d'une diminution de la surface foliaire. La photosynthèse est réduite en raison de la fermeture des stomates, puis elle est affectée par suite de l'altération de l'appareil photosynthétique (réduction de l'assimilation chlorophyllienne, inactivation de l'enzyme fixatrice du CO₂, ...). Cela conduit à une limitation du transfert des assimilats des feuilles vers les épis et réduit, en conséquences, le remplissage des grains (**Ben-Naceur, Nailly, and Selmi 1999**)

4. L'adaptation au stress hydrique:

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**).

4.1. 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, Nailly, and Selmi 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 and Maurer 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 (**Chennafi et al. 2006; Mekhlouf et al. 2006**).

4.2. 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 assimilats. 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. Les travaux effectués par (**A Slama 1996**) ont montré que la variété ayant le système racinaire le plus développé en conditions de déficit hydrique (**Khiar**) a donné le rendement le plus élevé.

En comparant trois variétés de blé dur, la variété ayant la barbe la plus développée sous contrainte hydrique (**Razzak**) présente le meilleur rendement. En effet, les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi.

4.3. Adaptations physiologiques:

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante. L'augmentation de la production, dans ces conditions, dépend des mécanismes de tolérance qui assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire. Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (**Amor Slama et al. 2005**).

Teneur relative en eau (TRE%):

La teneur en eau est la perte en masse d'eau après séchage, exprimée en pourcentage, subie par le produit dans les conditions décrites dans des normes que nous utilisons pour sa détermination (**Melki, 2008**).

4.4. Fonctionnement stomatique:

Les stomates 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 1996**). Le degré de fermeture des stomates est déterminé par la mesure de la conductance stomatique (**Grieu et al., 2008**). Une faible conductance conduit à une fermeture des stomates rapide en conditions de déficit hydrique. Les génotypes à faible conductance sont plus sensibles au déficit de vapeur et à la baisse du potentiel hydrique foliaire que les génotypes à forte conductance. Une faible conductance est généralement proposée comme un trait favorable à l'adaptation à la sécheresse (**Jones and Rawson 1979**).

4.5. 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 (**Hopkins 2003**). Cette réponse permet éventuellement de maintenir la turgescence foliaire à une valeur positive, en dépit d'un abaissement du potentiel hydrique du milieu (**Winkel**

and Do 1992). L'ajustement osmotique est réalisé grâce à une accumulation des solutés principalement vacuolaire conduisant à un maintien du potentiel de turgescence (**Blum 1989**).

4.6. 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. La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante.

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 and 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.

4.7. Accumulation de la proline:

La proline est l'un des acides aminés qui peuvent s'accumuler, et elle est particulièrement remarquable pour ses manifestations lors de situations de stress hydrique et osmotique.

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 (**Rejeb, Abdely, and Savouré 2012**). L'accumulation de proline représente l'une des réponses adaptatives couramment observées chez les plantes pour atténuer les effets du stress hydrique. Cette accumulation est étroitement liée à la régulation osmotique dans le cytoplasme. Selon (**El Houssine TAHRI and SADKI 1998**) 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 (**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 (**Samaras 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 abscissique (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**).

4.8. La teneur en chlorophylle :

Chlorophylle est le pigment vert qui permet aux plantes de photo synthétiser, à travers la photosynthèse, qui utilise l'énergie lumineuse pour convertir le dioxyde de carbone et l'eau en composants de bases pour les plantes (**Temagoult 2009**).

5. Stratégie d'adaptation:

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu. La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles. La résistance à la sécheresse est liée à la capacité d'une variété à développer un nombre élevé de mécanismes d'adaptation et non pas à la présence d'un mécanisme donné. (**Passioura 2006**) mentionne qu'elle est la résultante de nombreuses modifications phénologiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques, reflétant différents types d'adaptation (esquive, évitement, et tolérance).

5.1. L'esquive du stress ou l'échappement:

Est l'une des stratégies d'amélioration variétale qui consiste à raccourcir le cycle d'une variété afin de lui permettre de parvenir jusqu'à la maturité durant une période humide. FISHER et al ont montré dans une étude sur 53 cultivars de blé, d'orge et de Triticale, que chaque jour de précocité confère un gain de rendement compris entre 30 et 85 kg/ha. Toutefois la précocité à la floraison s'accompagne d'une réduction du potentiel de production. Par diminution du nombre de sites de remplissage). De plus les variétés précoces ont de faibles potentiels en année favorable (**MEKLIKE, BOUKECHA, and MEKLIKE HANIFI 2003**)

5.2. L'évitement du stress:

Qui permet le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante. Ceci peut être obtenu par une réduction de la transpiration s'effectuant par la cuticule et les stomates incomplètement fermés. La glaucescence, la pilosité des feuilles ou des liges, la couleur claire des feuilles et la présence des cires qui est un caractère génétique et qui s'extériorise en conditions de stress hydrique induisent tout une augmentation de la réflectance qui conduit à une réduction des pertes d'eau. La couleur des organes de transpiration liée au rapport chlorophylle a/chlorophylle b et la présence de pigmentation (anthocyanes, caroténoïdes) ont un effet sur la proportion de la réflectance lumineuse de la feuille et par conséquent sur la température foliaire. La réduction de

la surface foliaire tend à minimiser les pertes en eau en réduisant la transpiration mais peut aussi diminuer le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique (**MEKLCHE, BOUKECHA, and MEKLCHE HANIFI 2003**).

5.3. La tolérance du stress:

La tolérance du stress est définie comme la capacité de la plante à croître sous stress, Selon **Boyer (1976)**, La translocation est le principal mécanisme qui est associé à la tolérance du stress. Selon **Ehdaie et al. (2006)** la translocation est mise en œuvre, par la plante, dès que l'activité photosynthétique est inhibée par le stress.

Ce mécanisme est rapporté dans plusieurs recherches, comme étant la principale source de remplissage du grain, sous stress sévère de fin de cycle.



Chapitre III

1. Les compositions biochimiques du grain :

Le grain est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (10 à 15% selon les variétés et la condition de culture) et de pentosanes (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**)

La qualité du blé est influencée par chacun des constituants du grain qui joue un rôle seul ou en interaction avec d'autres constituants dans l'expression de la qualité. Parmi ces composantes : Les protéines, l'amidon, les sucres, les lipides, les enzymes, ect...

1.1. Les protéines:

Le grain de blé dur est constitué d'environ 12 % de protéines, qui sont essentiellement localisées dans l'albumen et la couche à aleurone. Cette teneur est susceptible de varier énormément (de 8 à 20 % de MS), en fonction des variétés, des facteurs climatiques, agronomiques et des conditions physiologiques de développement de la plante, des parties histologiques du grain et de la maturation du grain.

Dans la couche à aleurone une grande partie est éliminée lors de la transformation du blé en semoule, ce qui entraîne des répercussions sur la valeur nutritionnelle du produit final puisque cette couche contient une proportion élevée en vitamines B1, en minéraux ainsi qu'une fraction non négligeable des protéines du grain (**Zarco-Hernandez et al. 2005**).

C'est à **OSBORNE (1907)** que l'on doit la première classification des protéines. Il les sépare en deux grands groupes suivant leur solubilité dans l'eau (**Linden and Lorient 1994**).

1.1.1. Les protéines solubles : représente 15 à 20 % des protéines totales:

- ✚ Albumines solubles dans l'eau.
- ✚ Globulines solubles dans les solutions salines.

1.1.2. Les protéines de réserves :

Appelées « gluten » c'est un polymère formé de gliadines gluténines, et considéré comme un matériel viscoélastique (**feuille, 2000**). L'élasticité et la ténacité du gluten sont généralement des propriétés attribuées à la présence des gluténines alors que sa viscosité est associée aux gliadines (**Shewry et al. 1986**).

Les premières études menées autour des protéines de réserves remontent au XVIII^e siècle par **Beccari (1745)**. En 1924, Osborne propose une classification devenue classique basée sur la solubilité des protéines de réserve dans une série de solvants, les albumines solubles dans l'eau, les globulines solubles dans les solutions salines, les prolamines solubles dans les mélanges hydro-alcooliques, et les gluténines qui sont solubles dans des solutions basiques ou acides.

La classification d'Osborne bien que commode par sa simplicité ne s'avèrent pas totalement sélective vis-à-vis des substances non protéiques et ne les prend pas en considération.

Effectivement, les gluténines et les albumines sont associés à un taux significatif de substances non protéiques telle que les lipides, il y aurait donc des contaminations d'une classe

protéique à un autre, la fraction la plus pure étant les gliadines (**Feuillet, 1965 in cherdouh, 1999**)

- Classifications des protéines de réserve

Depuis les travaux d'Osborne 1907, les protéines du blé sont classiquement réparties en quatre classes en fonction de leur solubilité :

- Les albumines solubles dans l'eau.
- Les globulines solubles dans les solutions saline.
- Les prolamines : solubles dans l'éthanol aqueux.
- Les glutélines ; insolubles dans les solvants précédents.

1.2. Les aquaporines :

Les aquaporines (AQP) sont des gènes codant pour des protéines transmembranaires ubiquitaires, qui contrôlent le transport spécifique des molécules d'eau à travers les membranes cellulaires (**YIN et al, 2014**). Ils appartiennent à la grande famille MIP (Major Intrinsic Proteins) (**LI et al, 2014**) et jouent un rôle important dans la conductivité des racines (**GRIEU et al, 2008**). Outre que l'eau, les aquaporines facilitent aussi le transport des petits solutés neutres à travers la membrane plasmique, dont le transport de gaz (dioxyde de carbone, l'ammoniac), des métalloïdes (bore, silicium, arsenic), ou des espèces réactives de l'oxygène (peroxyde d'hydrogène). (**MAUREL, 2014**).

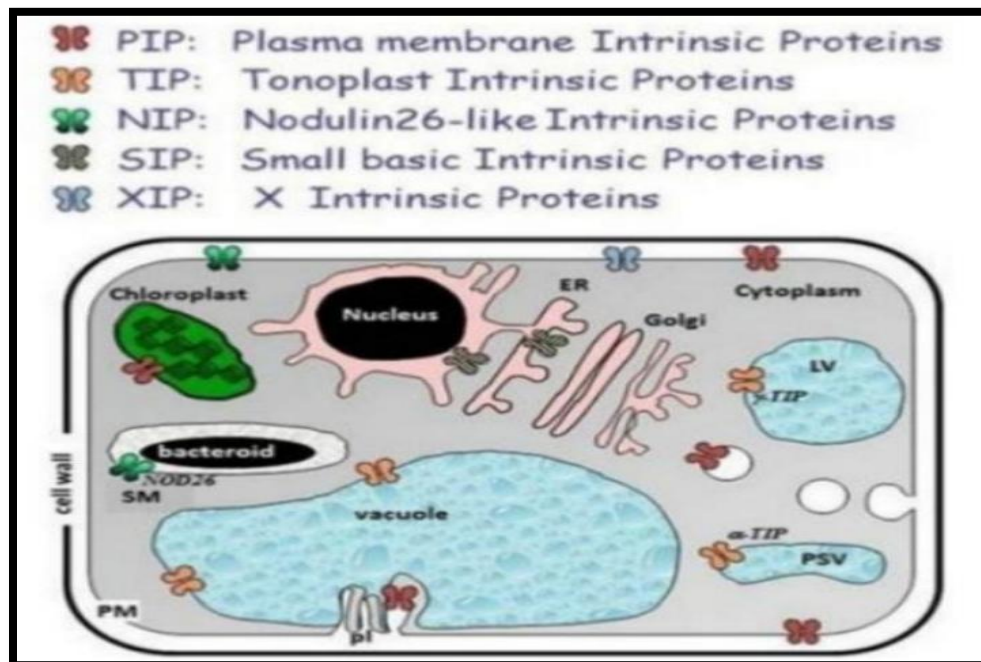


Figure 04: Localisation subcellulaire multiple des aquaporines végétales.

ER : réticulum endoplasmique, **LV** : vacuole lytique, **PM** : membrane plasmique, **PSV** : vacuole de stockage de protéines, **SM** : membrane symbiotique (**MAUREL, 2014**).

Chez les plantes supérieures, les aquaporines peuvent être classées en 5 groupes (**Figure 16**) en fonction de leur localisation et leur similarité de séquences : **les PIP** (Plasma membrane Intrinsic Protein) surtout au niveau de la membrane plasmique, **les TIP** (Tonoplast Intrinsic Proteins) au niveau de la vacuole, **les NIP** (Nodulin 26-like Intrinsic Proteins) au niveau de la membrane plasmique ou du réticulum endoplasmique, **les SIP** (Small basic Intrinsic Proteins) et **les XIP** (X Intrinsic Proteins) (**LI et al, 2014**).

1.3.Le gluten:

Le gluten est un complexe protéique viscoélastique que l'on peut obtenir par lexivation sous un mince filet d'eau, d'un pâton formé de semoule ou de farine de blé et d'eau. Le gluten est constitué de 75 à 80 % de protéines, 5 à 7 % de lipides, 5 à 10 % d'amidon, de 5 à 8 % d'eau et des matières minérales en proportion plus faibles (**Linden and Lorient 1994**).

Les protéines du gluten constituent 80 % du total des protéines du grain (**Osborne, 1907, cité par Liu et al., 1996**). Les composantes majeures du gluten sont les gliadines et les gluténines, qui représentent 70 % des protéines totales du blé. Ce sont les deux principaux groupes de protéines de l'endosperme, et varient suivant la variété de blé utilisée (**Linden and Lorient 1994**).

Les propriétés physico-chimiques (composition en acides aminés, solubilité...) et rhéologiques (viscoélasticité) du gluten sont la résultante des caractéristiques de ses constituants et de leurs interactions. Les deux fractions (gluténines et gliadines) diffèrent par leurs propriétés fonctionnelles : Ainsi les macromolécules de gluténines forment des polymères de protéines et développent une grande surface sur laquelle de nombreuses liaisons non covalentes peuvent se réaliser avec des gliadines (forme des chaînes polypeptides monomériques) ou d'autres molécules de gluténines et sont largement responsables de la viscoélasticité du gluten et de la pâte (**Masci et al., 1995 ; Liu et al., 1996**).

Alors que les interactions non covalentes des gliadines entre elles et les polymères de gluténines conduisent à rendre la masse du gluten élastique les albumines et les globulines n'ont pas d'effet majeur sur les propriétés du gluten (**Liu et al., 1996**).

Les propriétés rhéologiques du gluten sont influencées par deux facteurs principaux :

- La qualité et la quantité des fractions protéiques dans le complexe glutineux (composition en acides aminés, masse moléculaire,...)
- Les interactions entre les différents constituants protéiques du gluten (liaisons disulfures, liaisons hydrogènes, interactions hydrophobes) (**Liu et al., 1996 ; Kovacs et al., 1997**).

Par ailleurs plusieurs hypothèses ont été émises pour l'étude de la structure du gluten :

Selon **Feillet (1986)** la structure du gluten hydraté prend la forme d'un feuillet de type lipoprotéique, organisée autour d'une couche bi moléculaire de phospholipides qui forment un plan glissement entre les deux couches du feuillet assurant l'écoulement visqueux. Par contre, d'autre affirme que la structure fibrillaire ne dépend que des protéines seules (**Abecassis, 1991**). D'après **Kovacs et al., (1997)**, le volume de sédimentation pourrait être un bon indicateur de qualité du gluten, cependant il dépend de la quantité et la composition en protéines du blé.

1.4. L'amidon:

L'amidon est un composant essentiel du grain de blé. C'est une substance de réserve stockée dans les cellules de l'albumen du grain qui représente 65-70 % (environ 3/4 de M.S.) Chimiquement l'amidon est un polymère d'un sucre, le glucose. Il se présente sous deux formes : l'amylose (polymère de glucose) et l'amylopectine (polymère ramifiée de glucose). La qualité de l'amidon des céréales dépend de leur pourcentage en ratio : amylose / amylopectine (**Gibson et al., 1997**).

La fonction la plus importante de l'amidon en technologie est attribuée à la gélatinisation, dont l'intensité dépend de l'humidité, de la température, de la durée du traitement et de la teneur en protéines de l'aliment. Selon **Gibson et al. (1997)** la gélatinisation serait un phénomène physique survenant au cours de la cuisson ou de la pré cuisson en milieu humide. Le grain d'amidon perd sa configuration native et acquiert une structure plus lâche, dans ce cas, le caractère hydrophile du polymère se développe.

Ce phénomène se caractérise par un gonflement et une solubilité de l'amidon, qui permet au produit de garder son aspect original. Un amidon gélatinisé fourni à la surface du produit une pellicule imperméable qui réduit les pertes de nutriments hydrosolubles au cours du trempage ou de la cuisson à l'eau.

1.5. Les pentosanes:

Les pentosanes sont des polysaccharides non amyliques constitutifs des parois végétales des graminées. Les différentes fractions de mouture des blés, qui correspondent globalement aux zones histologiques du grain, ont une teneur en pentosane proportionnelle à la quantité de parois cellulaires présentes dans chaque tissu. Ainsi, les sons sont beaucoup plus riches en pentosane que les farines (albumen amylicé), les teneurs y étant respectivement de 20 - 30 % et de 1,5 - 3 % (**Icard et Feillet, 1996**).

Les pentosanes solubles possèdent une forte capacité de rétention de l'eau. Ils fixent jusqu'à 10 gr eau / gr, alors que le gluten et l'amidon ne fixent que 0,5 à 2 gr eau / g. Et présentent des propriétés de surface liées à leur viscosité intrinsèque (**Bushuk and Zillman 1978**).

Ces derniers, sensibles aux agents oxydants, gélifient rapidement, sans qu'ils soient nécessaires de leur faire subir un chauffage suivi d'un refroidissement. Ce phénomène de gélification oxydative, donne des gels thermo irréversibles où les liaisons chimiques impliquées sont de type covalent. En fait, la gélification des pentosanes provient au moins partiellement d'un phénomène radicalaire. L'acide férulique et les groupes thiols ou tyrosine sont en concurrence pour réagir avec les radicaux libres. L'ensemble des réactions est alors mis en jeu simultanément (**Lempereur et al., 1995**).

1.6. Les lipides :

Les lipides du blé représentent en moyenne 2 à 3 % du grain sec. Ce sont des constituants mineurs du blé, certains sont libres, mais la majorité est associée aux composantes majeures (amidon, protéines) et leurs effets sont importants dans les processus technologiques. Les chimistes céréaliers ont l'habitude de classer les lipides des céréales d'après leurs différences

d'extractibilité. Ainsi les lipides extraits par des solvants apolaires anhydres (pentane, hexane, benzène, chloroforme) sont appelés " libres". Ils représentent 1 à 2,6 % de la MS.

Les lipides jouent un rôle important dans la technologie des produits céréaliers, que se soit lors de leur fabrication en intervenant sur les caractéristiques rhéologiques, émulsification et production de composés volatiles des pâtes, et par conséquent sur la qualité du produit fini, ou au cours du stockage, en raison des altérations consécutives de leurs acides gras poly insaturés facilement oxydables (**Feillet et Dexter, 1996**).

Dans le cas du blé dur, les travaux qui relient la fraction lipidique à la qualité des blés, sont peu nombreux. Généralement, les lipides qui représentent 1 - 2 % de la semoule de blé dur et des pâtes, jouent un rôle relativement important dans la qualité culinaire, en s'associant aux protéines au cours du malaxage ou du séchage des pâtes (**Laignelet, 1983**). Les effets des lipides sur les propriétés fonctionnelles de la pâte dépendent d'un équilibre entre lipides polaires et non polaires.

1.7. Interactions Lipides - protéines – amidon:

Les produits à base de blé dur sont des mélanges hétérogènes, parmi lesquels les protéines, l'amidon et les lipides qui ne peuvent pas être considérés indépendamment. Les interactions entre ces macromolécules contribuent à une gamme de propriétés fonctionnelles dans la détermination de la qualité culinaire des pâtes.

L'apparition de ces complexes, notamment entre l'amidon et les protéines pourraient contribuer à la formation d'un film protéique qui empêcherait la sortie des composants de l'amidon et surtout l'amylose pendant la cuisson (**Icard et Feillet, 1996**). Cette caractéristique potentielle est principalement dépendante de la qualité, quantité des protéines et l'interaction macromoléculaire (**Dexter et Matsuo, 1977 ; Damidaux et Feillet, 1978**).

Par ailleurs, les lipides réagissent avec les protéines et l'amidon pour former un complexe amidon - glycolipides - protéines au moyen de liaisons hydrogènes entre glycolipides et amidon ou gliadine et des liaisons hydrophobes entre glycolipides et glutenine (**Laignelet, 1983**). **Feillet, (1984)** signale que les lipides libres de la farine sont liés aux protéines du gluten par des liaisons hydrophobes et hydrophiles qui contribuent dans la stabilité des protéines.

Les études réalisées par **Marion (1992)** ont montré que les lipides ont assez peu d'influence sur les propriétés rhéologiques de la pâte proprement dite. Ils interviennent surtout lors de la fermentation et la cuisson en permettant une plus ou moins bonne expansion des gaz dans la pâte.

1.8. Les enzymes:

L'intérêt porté aux enzymes en pastification provient de la relation qui a été établie, depuis plusieurs dizaines d'années, entre leur activité et l'un des principaux critères de la qualité des pâtes : leur couleur (**Icard et Feillet, 1996**). Les pigments caroténoïdes, qui dans le cas du blé sont principalement constitués par la lutéine, sont à l'origine de la composante jaune recherchée dans les semoules de blé dur et les pâtes alimentaires (**Samson et Morel, 1995**).

Chez le blé, la lipoxygénase est principalement localisée dans la partie périphérique du grain, elle est plus abondante dans le germe du grain que dans l'albumen. Cette enzyme possède

trois iso enzymes à activités différentes : deux d'entre elles catalyseraient la destruction des caroténoïdes et la troisième aurait une activité peroxydasique (**Icard et Feuillet, 1996**).

Selon certains auteurs, la lipoxygénase n'interviendrait pas seulement sur l'oxydation des caroténoïdes, une fraction de la lipoxygénase étant adsorbée par les gluténines de la pâte. Cette adsorption, réversible, est inhibée lors de chauffage ou de modifications chimiques du gluten (**Abecassis *et al.*, 1990 ; Icard et Feuillet, 1996**).

Les peroxydases et polyphénoloxydases, sont deux enzymes associées à la composante brune, défavorable, des pâtes alimentaires. Elles sont principalement localisées dans les couches périphériques du grain de blé (couche à aleurone, son et germe), ce qui explique que leur teneur plus faible dans la semoule que dans le grain entier (**Icard et Feuillet, 1996**).

Les α -amylases sont synthétisées durant la germination et hydrolysent des liaisons α (1 - 4) des chaînes d'amylose et d'amylopectine, tandis que la β -amylase est synthétisée durant le développement de la plante et est stockée dans l'endosperme jusqu'à la germination, elle hydrolyse les chaînes d'amidon à partir de leur extrémité non réductrice en libérant du β -maltose. Une forte activité amylastique peut conduire à rendre inutilisable la panification d'un lot de blé.

Ainsi, l'activité enzymatique fait intervenir la quasi-totalité des constituants biochimiques de la semoule et des autres composés entrant dans la fabrication des pâtes alimentaires ; à savoir l'eau et l'oxygène moléculaire.

Les réactions d'échanges d'électrons lors de la formation de liaisons chimiques ont lieu au niveau des groupements soufrés des protéines, des polysaccharides tels que les pentosanes et des liaisons multiples des acides gras, et également au niveau de molécules telles que les pigments (**Matsuo *et al.*, 1982; Icard et Feuillet, 1996**).

1.9. Les protéines déhydrines : LEA

Les LEA (Late Embryogenesis Abundant) constituent une famille multigénique dont la majeure partie des protéines sont cytosoliques et hydrophiles (Garay Arroyo *et al.*, 2000). Les déhydrines sont caractérisées par une large gamme de masses moléculaires 9-200 KDa (Hamla, 2016). ce sont des protéines en majorité très hydrophiles qui semblent impliquées dans la protection des structures cellulaires, ce qui en fait des protéines potentiellement très importantes dans la vie des cellules. Elles sont très nombreuses et diverses et forment un très vaste ensemble de familles de protéines. Les LEA sont riches en glycine et les résidus de lysine, mais pauvres en cystéine et tryptophane (Allagulova *et al.*, 2003) et de ce fait elles résistent à la dénaturation thermique et à la dénaturation acide. La particularité de toutes les déhydrines consiste au partage de trois domaines hautement conservés : le segment-K présent dans toutes les déhydrines et qui est riches en lysine, du côté C-terminal, (séquence hautement conservée), ainsi que le segment Y et une chaîne de sérines contiguë ou segment-S. Les protéines DHNs présentent une grande diversité concernant le nombre et l'ordre de leur segment YSK ; la caractérisation biochimique de ses différentes formes, permettra la clarification de ces différences et la détermination de leur implication fonctionnelle.

Chapitre III:

Les LEA, forment un groupe remarquable de protéines induites par le stress hydrique et qu'on trouve chez toutes les plantes (Campbell et Close, 1997), elles n'ont pas de fonctions enzymatiques, mais elles sont très efficaces dans la protection de membrane cellulaire et des protéines par des structures quaternaires (Close, 1996). Ramanjulu et Bartels, (2002) ont proposé que ces protéines puissent jouer un rôle en protégeant les structures cytoplasmiques pendant la déshydratation. Ces protéines sont synthétisées et accumulées pendant les périodes du stress hydrique et après stress osmotique dans tous les organes de la plante.

Ces protéines peuvent protéger les autres macromolécules ou structures cellulaires aidant à maintenir l'intégrité des membranes cellulaires (Longxing et al, 2010). McCubbin et Kay, (1985) ont montré que la protéine LEA 'Em' de blé tendre (*Triticum aestivum*) était considérablement plus hydratée que la plupart des protéines globulaires. En effet, lorsque les plantes subissent un stress violent, les composés cellulaires ont tendance à se cristalliser, provoquant de nombreux dommages au sein de la cellule. Ce phénomène peut être contrecarré par les LEA, qui peuvent agir comme des solutés compatibles pour augmenter la viscosité du milieu intracellulaire et ainsi éviter sa cristallisation (Ramanjulu et Bartels, 2002). Plusieurs autres protéines LEA ont été identifiées chez différentes espèces végétales et elles ont montré une importance dans la tolérance au froid ou à la congélation (Houde et al., 2004).

Tableau 03: Composition chimique des différentes parties du grain de blé

Partie du grain	% respectif dans le grain	Protéines	Composition en % des différentes parties			
			Fibres brutes (minéraux)	Lipides	Cendres	Eau
Grain	100	12+/- 1 Souvent > 1	4	2	1,5 à 2	14,5 à
Ecorce (sauf assise protéique)	9	5	21	1	3	
Assise protéique	8	18	7	9	16	
Albumen	80	> 10	0,5	1	0,5	
Germe	3	26,5	3	> 10		

Tableau 04: Etude protéomique chez le blé et de l'orge en réponse à la sécheresse (Kosová et al. 2014 in Kacem 2017)

Sécheresse			
Matériel végétal	Traitement	Méthode	Majeures protéines différentiellement exprimées
Blé dur (<i>Triticum dicoccoides</i>) (Feuilles)	9 jours sans arrosage	2DE nano LC-ESI-MS/MS.	75 protéines identifiées 11 candidats pour la tolérance à la sécheresse. Différences génotypiques: Triose-Phosphate Isomérase, ATP synthase CF1. -Protéines abondantes chez les variétés sensibles : Méthionine Synthase - Protéines abondantes chez les variétés tolérantes : β -1,3-glucanase, β -1,4-glucanase, Xyloglucan Endo-Transglycosylase.
Blé dur (<i>Triticum durum</i>) (Feuilles)	7 jours sans arrosage	175mM Tris-HCl, pH 8.8, TCA-acetone; 2DE MALDI-TOF	36 protéines identifiées Protéines régulées à la hausse: Anhydrase carbonique, RubisCO LSU Protéines régulées à la baisse: RubisCO SSU, enzymes du cycle de Calvin (ALDO, PRK) ; ATP synthase CF1 α
Orge (<i>Hordeum vulgare</i>) (Feuilles et racines)	7 jours sans arrosage	10mM PBS, TCA-acétone; 2D-DIGE MALDI-TOF	69 protéines identifiées (24/feuilles, 45/racines) Protéines régulées à la hausse: Protéine Myb-like, Protéine 14-3-3 Protéines régulées à la baisse: glutathion S-transférase,

2. Les caractéristiques génétiques des protéines de réserve:

2.1. Génome du blé et synthèse des protéines de réserve:

Le génome du blé contient 16 milliards de paires de bases. Si l'on accepte d'assimiler les bases du code génétique à des lettres et le génome à un livre, le génome du blé formerait une bibliothèque d'environ 5000 livres de 1000 page chacun.

Un gène peut exister sous différentes formes et coder des protéines différentes : on parle d'allèles. L'emplacement d'un gène sur un chromosome est un locus. Il arrive que plusieurs gènes soient très proches les uns des autres et soient, de ce fait, transmis ensemble de génération en génération : ils forment un bloc de gènes au sein des quels des recombinaisons de gènes sont très rares ; on parle de blocs, ou de groupe alléliques (**Feuillet, 2000**).

Dans les années 80, les travaux de Payne et ses collaborateurs ont largement contribué à la connaissance biochimique et génétique des SG-HPM. De plus l'existence de lignées aneuploïdes d'une variété d'origine chinoise : Chinese Spring ont permis à (**Bushuk and Zillman 1978**) de localiser les gènes des SG-HPM de ce cultivar. Les loci de gènes codant pour les gliadines et les gluténines sont indiqués dans les figures suivantes.

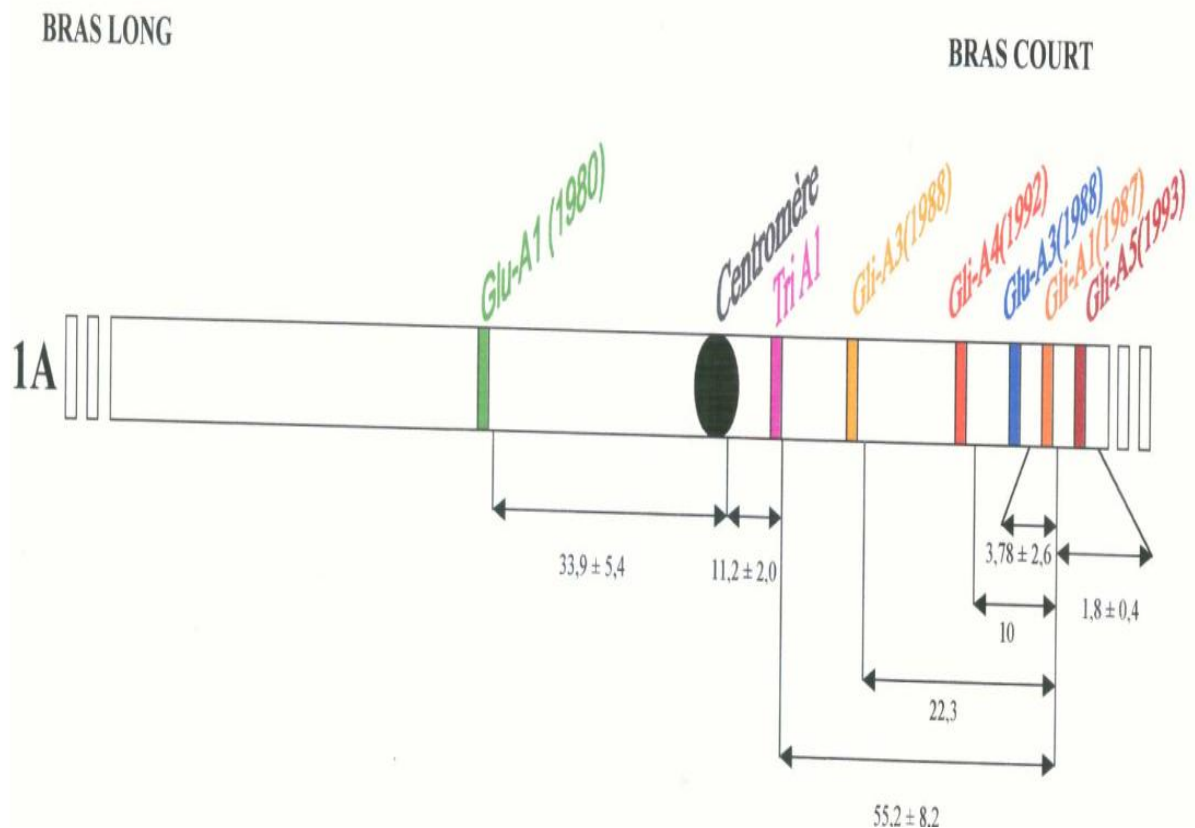


Figure 05: Carte de la totalité des loci connus des gluténines et des gliadines (chez le blé tendre et le blé dur) sur le chromosome A du groupe 1. (Distances en centimorgans)

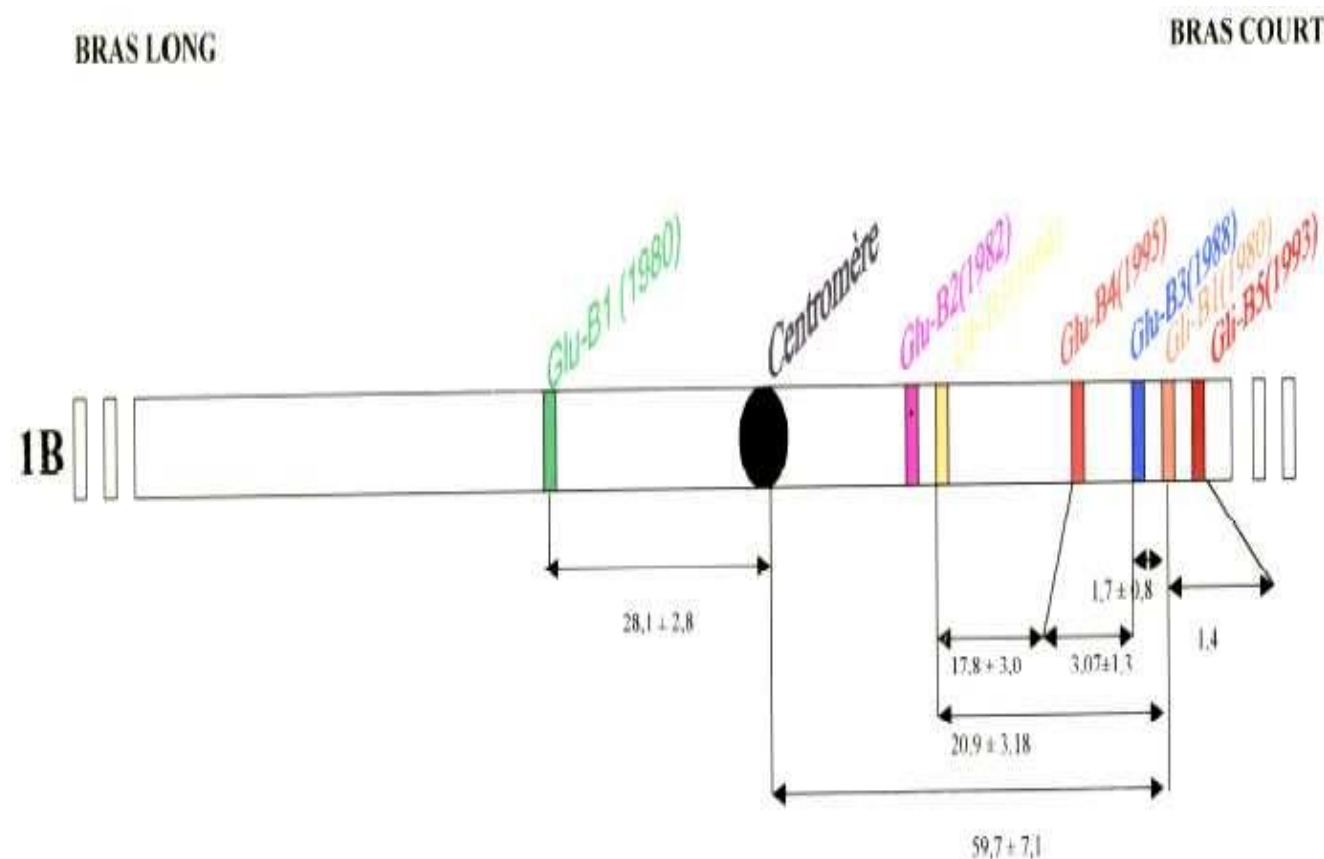


Figure 06: Carte de la totalité des loci connus des gluténines et des gliadine (chez le blé tendre et le blé dur) sur le chromosome B du groupe 1. (Distances en centimorgans)

2.2. Relation entre diversité de protéines de réserves et la qualité:

Depuis longtemps, on sait que les différences variétales de la qualité sont dues en majeure partie au gluten. Les propriétés de ténacité, d'élasticité et d'extensibilité de la pâte généralement différentes d'une variété à l'autre, résultent des caractéristiques des nombreuses protéines constitutives du gluten (**Branlard 1999**).

Beaucoup de travaux ont montrés l'influences des protéines du gluten sur la qualité (**Payne et al, 1984 Payne et al, 1987 ; Morris, 1998 ; Gueguen et al.1999 ; Xu et al, 2001**). La composition alléliques des sous-unités gluténines HPM de plusieurs milliers de variétés et cultivars de blé tendre, d'origines très diverses, ainsi que celle de près de cinq cents blés durs ont été déterminées et un catalogue a été constitué. Sur la base de ces résultats et aussi grâce aux travaux conduits au Plant Breeding Institute par Payne sur la génétique de ces sous-unités, l'utilisation en sélection a été entreprise en France dès 1983. (**Branlard.G ; 1999**). La qualité technologique du blé dur est appréciée par la valeur semoulière et la valeur postière (**Abecassis, 1991 cités par Cherdouh, 1999 ; Feuillet, 2000**).

Les espèces sauvages apparentées aux blés sont des géniteurs potentiels dans l'amélioration de la qualité de ce dernier. En effet, les récentes recherches sur différentes et

Chapitre III:

plusieurs accessions de blé hybride montrent un déficit considérable concernant la variabilité génétique des protéines du gluten par rapport à leur géniteurs ce qui a influencé négativement la qualité des produits finis (**Shewry et al. 1986**)



Materiel et Methode



Matériels et Méthodes

1. MATERIEL VEGETAL:

Notre étude s'est concentrée sur le comportement de germination de quatre types de blé dur : "Waha", "Oued El Barad", "Simeto" et "Vitron".

Ces variétés présentent des niveaux de productivité différents et des comportements variés face au stress hydrique. Quatre types de blé dur ont été utilisés comme matériel végétal, et le choix de ces génotypes a été influencé par leur origine, leurs paramètres phénologiques, leurs paramètres morphologiques et leur degré de tolérance à la sécheresse, qui varient considérablement entre eux. Cette étude a été réalisée dans les laboratoires pédagogiques de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Abbas Laghrour à Khenchela. La plantation a été effectuée dans la municipalité de M'SSARA .

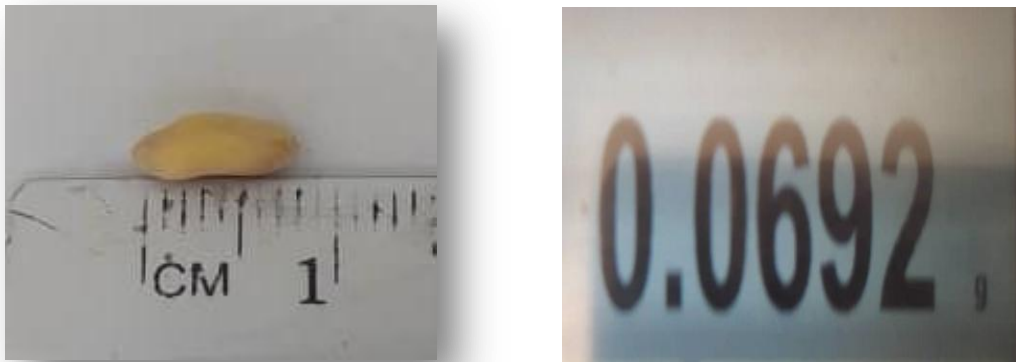


Figure 07: La taille et la masse d'un grain de blé WAHA



Figure 08: La taille et la masse d'un grain de blé O, ELBARAD



Figure 09: La taille et la masse d'un grain de blé **SIMITO**



Figure 10: La taille et la masse d'un grain de blé **VITRON**

Tableau I : Nom et origine des variétés de blé dur étudiées.

N°	Variété	Origine	Pédigrée
V1	WAHA	ICARDA	ITGC/ El Khroub 1976
V2	OEUD ELBARRED	ITGC, FDPS Sétif Algérie	MBB/Ofanto
V3	SIMETO	ITALIE	Capeiti 8/valvona
V4	VITRON	Introduite d'Espagne	ITGC/Tiaret

2. Installation et conduite de l'essai sous abris:

Une expérience a été réalisée dans le but d'étudier le comportement de quatre variétés de blé dur face aux conditions de stress hydrique. L'étude s'est concentrée sur les aspects morphologiques, tant au niveau aérien (impact sur la surface foliaire) qu'au niveau souterrain (effet sur la profondeur et le volume des racines), ainsi que sur les aspects physiologiques, à travers la mesure du Teneur Relative en Eau (TRE), et les aspects biochimiques, par le dosage de la Proline et des sucres solubles.

2.1. Protocol Expérimental:

- Quatre variétés de blés durs: WAHA, OEUD ELBARRED, SIMETO et VITRON.
- Sol
- 20 pots
- Une parcelle de terrain pour l'agriculture.

2.2. Préparation des pots:

L'expérience a été menée dans des conditions climatiques semi-contrôlées. À cette fin, nous avons rempli un ensemble de 20 pots en plastique avec du terreau, en les étiquetant. Dans chacun des 20 pots, nous avons planté une graine de chacune des quatre variétés de blé dur étudiées.

100%: (sans stress hydrique) → (200 ml).

80%: (sans stress hydrique) → (160 ml).

50 %:(avec stress hydrique) → (100 ml).

25%:(aves stress hydrique) → (50ml).



Figure 11: Préparation des pots et le plan expérimental.

2.3 . Préparation du la parcelle de terrain pour l'agriculture:

L'expérience a été réalisée dans des conditions climatiques naturelles à 100%. Pour atteindre cet objectif, nous avons désigné quatre parcelles de 2m² chacune et les avons labourées

soigneusement. Dans chaque parcelle, nous avons planté une variété parmi les quatre variétés de blé dur étudiées, en les marquant.



Figure 12: Blé cultivé sur la parcelle selon les conditions naturelles

2.4 . Calendrier d'irrigation:

➤ **Application du stress:**

Le semis a été réalisé le 15/02/2024, l'application de stress a été réalisé le 15/03/2024, après 30 jours de semis des grains de blé

Le premier régime: A 100% de la capacité du champ, c'est à dire sans pénurie d'eau, l'irrigation se fait une fois par semaine à la dose de (200 ml/pot).

Le deuxième régime: A 80% de la capacité du champ, c'est à dire sans pénurie d'eau, l'irrigation se fait une fois par semaine à la dose de (160 ml/pot).

Le troisième régime: A 50% de la capacité du champ (avec stress hydrique), l'irrigation a été réalisée une seule fois pendant 10 jours à la dose de (100 ml/pot) pour les quatre variétés.

Le quatrième régime: A 25% de la capacité du champ (avec stress hydrique), l'irrigation a été réalisée une seule fois pendant 10 jours à la dose de (50 ml/pot) pour les quatre variétés

Remarque: L'irrigation est manuelle à l'aide d'une éprouvette graduée.

3. Paramètres étudiés:

Le suivi du comportement des quatre génotypes du blé dur vis-à-vis des différents stress a été basé sur plusieurs paramètres physiologiques, morphologiques et biochimiques.

3.1 Les Paramètres morphologiques:

3.1.1 Longueur de la plante:

La longueur de la partie aérienne de la plante a été mesurée à l'aide d'une Mètre ruban pour estimer sa croissance vis-à-vis du stress hydrique.

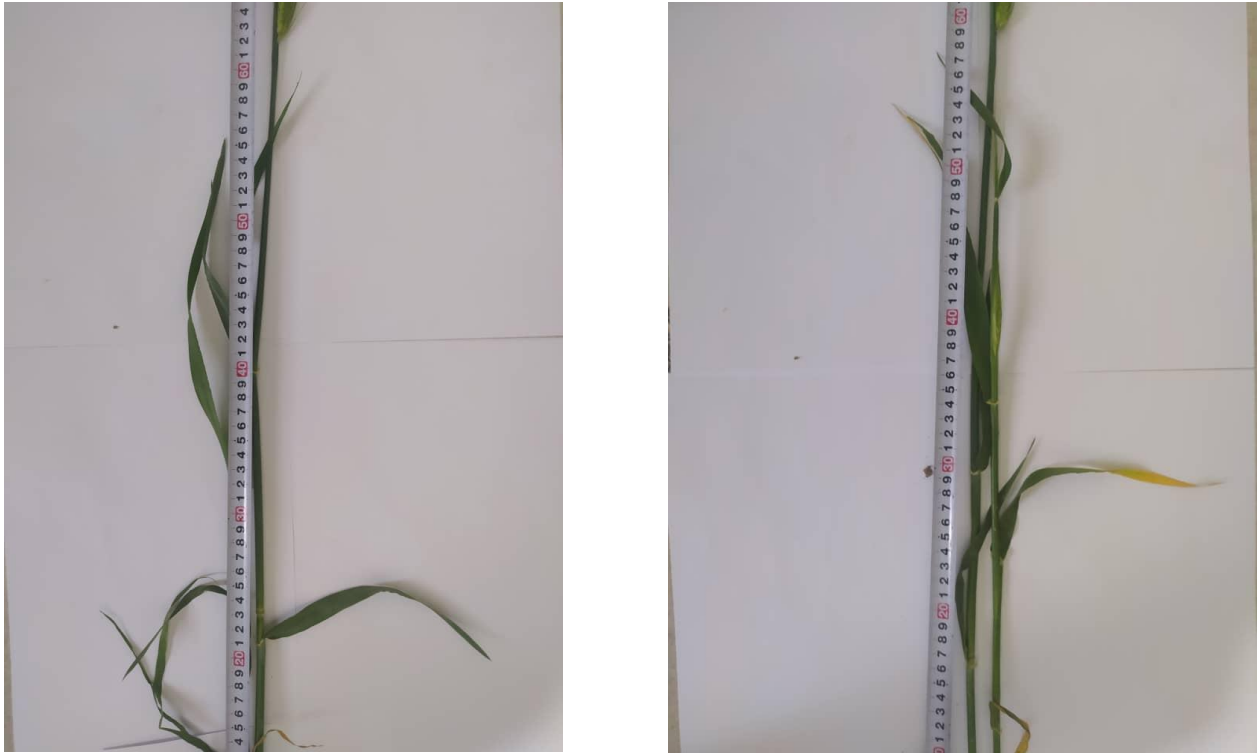


Figure 13: La hauteur du plant mesuré à l'aide d'une Mètre ruban

3.1.2 Longueur des racines:

La longueur des racines a été mesurée en centimètres à l'aide d'une règle qui consiste à déterminer la longueur de la racine la plus longue (maximum). Pour chaque génotype et niveau de stress.



Figure 14: La longueur des racines a été mesurée à l'aide d'une Mètre ruban

3.2 . Les paramètres physiologiques:

3.2.1 Taux de germination (G%):

Exprimé comme le rapport du nombre de graines germées au nombre total de graines. Dans le test de germination, le taux de germination final (G%) a été déterminé. Selon la formule suivante: $(G\%) = 100(XT/N)$.

XT= le nombre totale de grains germées

N= le nombre totale des grains mises à germer



Figure 15: l'étape de la germination.

3.2.2 Teneur relative en eau (TRE%):

Afin d'estimer l'état hydrique de la plante dans les conditions hostiles du stress osmotique Au stade de la troisième feuille, la mesure du TRE a été effectuée.

La teneur relative en eau des feuilles a été déterminée selon la méthode décrite par Barr (1968). Les feuilles ont ensuite été coupées à la base du limbe foliaire, pesées immédiatement pour déterminer le poids frais (MSF), puis immergées dans un tube à essai contenant de l'eau distillée pendant 24 h à 4 K pour une réhydratation maximale. Peser à nouveau la feuille (MSTM). Les échantillons sont ensuite séchés dans une étuve à 80°C pendant 24 heures (MSS). Les valeurs de turgescence relatives sont déterminées à l'aide de la formule suivante

$$\text{TRE (\%)} = [(\text{MSF}-\text{MSS}) / (\text{MSTM}- \text{MSS})].100$$

MSF: masse de substance fraîche

MSTM: masse de substance à turgescence maximale

MMS: masse de substance séchée



Figure 16: Détermination du poids frais

3.3 Les Paramètre biochimique:

3.3.1 Dosage de sucre soluble:

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et polysaccharides) sont dosés selon la méthode au phénol de Dubois et al .c'est exact.,(1956).

3.3.1.1 Extraction et purification des sucres solubles:

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol de DUBOIS et al. (1956). Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche, placées dans des tubes à essais, on ajoute 3 ml d'éthanol à

80% pour faire l'extraction des sucres. On laisse à température ambiante pendant 48h à l'obscurité. Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube on ajoute 20ml d'eau distillée à l'extrait. C'est la solution à analyser. Dans des tubes à essais propres, on met 2ml de la solution à analyser, on ajoute 1ml de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée); on ajoute rapidement 5ml d'acide sulfurique concentré 96% tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. On obtient, une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On laisse les tubes pendant 10mn et on les place au bain-marie pour 10 à 20mn à une température de 30°C (La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures.). Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 485 nm. Enfin des résultats des densités optiques sont rapportés sur un courbe étalon des sucres solubles (exprimés en glucose).

$$y = 2,4189x + 0,2752$$

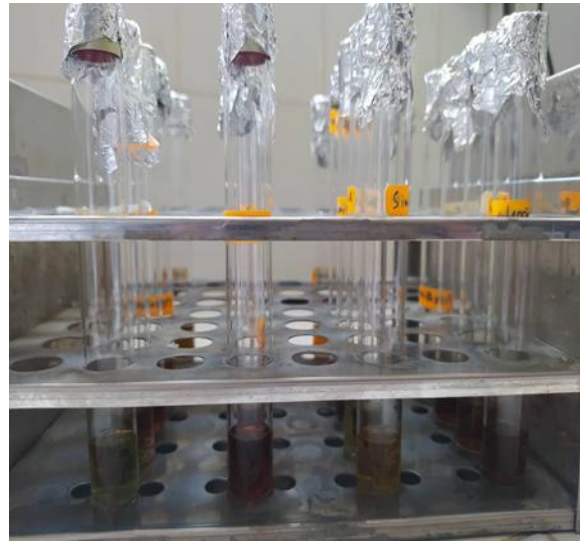
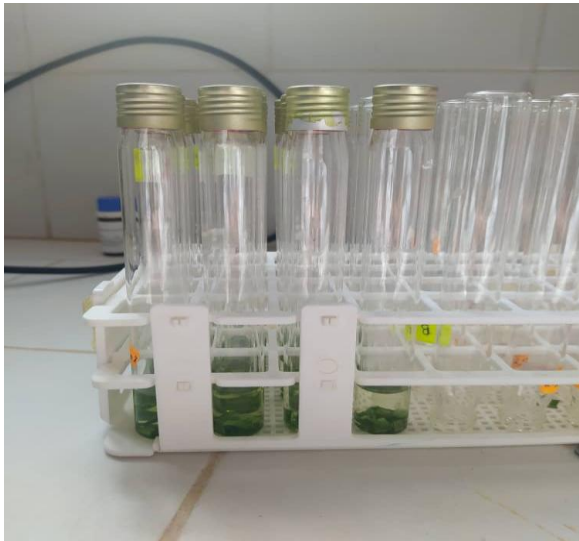




figure 17: les étapes de dosage des sucres solubles.

3.3.2 Extraction et dosage de la proline:

La proline est quantifiée selon la technique de TROLL et LINDSLEY (1955) simplifiée et mise au point par DREIER (1978) et modifiée par MONNEVEUX et NEMMAR (1987).

Trois prélèvements de 0,1 g de matière végétale fraîche, (prélever au 1/3 médian de la feuille) sont effectués.

Ces échantillons sont placés dans des tubes à essai, auxquels on ajoute 2ml de Méthanol à 40 %, on chauffe au bain marie à 85 °C pendant 60 minutes et pour éviter la volatilisation de l'alcool, les tubes sont fermés hermétiquement pendant le chauffage.

Après refroidissement, on prélève 1 ml de l'extrait de chaque tube à essai, qu'on met dans un autre jeu de tubes et auquel on ajoute:

- 1 ml d'acide acétique.
- 1 ml de réactif préparé par un mélange fait de (120 ml d'eau distillée plus 300 ml d'acide acétique plus 80 ml d'acide ortho-phosphorique (H₃PO₄)).
- 25 mg de ninhydrine.

Le tout est porté à ébullition à 100 °C pendant 30 mn, la solution vire au rouge, après refroidissement, on ajoute 5 ml de toluène par échantillon, qui permet après agitation de distinguer deux phases, une supérieure organique qui contient la proline et l'autre inférieure aqueuse sans proline. Après avoir récupéré la phase supérieure, on ajoute du sulfate de sodium (Na₂SO₄) à l'aide d'une spatule pour éliminer l'eau qu'elle contient.

On procède enfin à la détermination des densités optiques des échantillons à l'aide d'un spectrophotomètre réglé sur une longueur d'onde de 528 nm.

Le zéro du spectrophotomètre est réglé grâce au blanc de gamme composé de (1ml de méthanol à 40 % + 1 ml d'acide acétique + 1 ml du mélange + 25 mg de ninhydrine).

La quantification se fait d'après l'équation de la courbe d'étalonnage suivante :

$$Y = 0.029x + 0.053$$

Avec: ($R^2 = 0,981$).

x: quantité de proline exprimée en ($\mu\text{g} / \text{g}$ de MF)

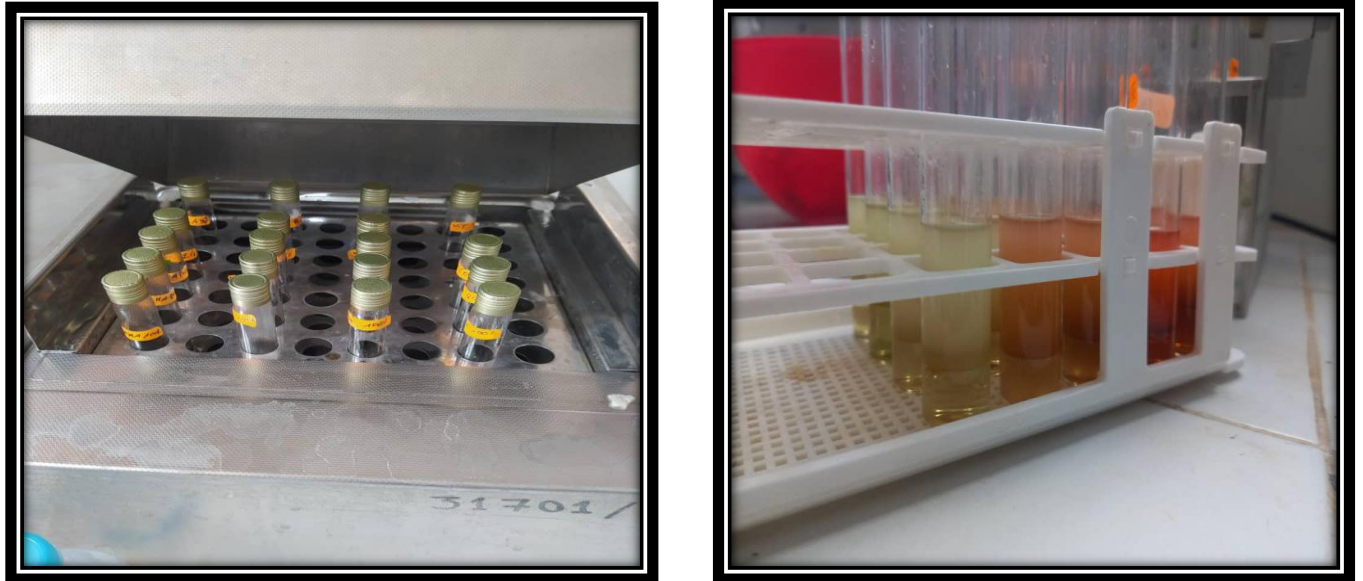


Figure 18: les étapes de dosage de la proline.

4. Etablissement de caryotype par la technique de cytogénétique:

4.1. Le protocole expérimental:

4.1.1. Le matériel végétal:

Les matériaux utilisés se composent de quatre types de grains de blé dur.

4.1.2. Méthodes:

a) La Germination:

- Retirez les grains de blé dur et placez-les dans une boîte de Pétri tapissée de coton.
- Tremper
- Placer dans un endroit de 20-24 °C, et lorsque le coton sèche, mouillez-le avec de l'eau à chaque fois.

b) Techniques d'observation des méristèmes racinaires:

Différentes méthodes d'étude des chromosomes sont décrites, utilisant des agents chimiques pour préparer, fixer et colorer les cellules méristématiques. Ces méthodes sont décrites en détail dans le livre Techniques of plant cytogenetics (Jahier 1992). Des techniques appropriées

devraient permettre une bonne ségrégation des chromosomes avec des détails morphologiques, permettant une détermination précise du caryotype.

c) **Prétraitement:**

- Cette première étape vise à bloquer la mitose en métaphase
- Réduire les chromosomes.
- Pour obtenir un grand nombre de plaques en métaphase

Dans cette étape nous utilisons la colchicine à 0.05%.

d) **Fixation:**

Le but de cette étape est de:

- ❖ Détruire toute vie cellulaire.
- ❖ Bloque la division cellulaire tout en maintenant l'intégrité structurale des chromosomes.
- ❖ Protège les chromosomes de l'action des agents mitotiques de prétraitement.

La fixation est effectuée pendant 24 heures à 4 °C dans une solution d'éthanol et d'acide acétique dans un rapport 3:1

e) **Stockage:**

Le matériel végétal peut être stocké à 4 °C dans une solution d'éthanol à 70 % pendant plusieurs mois.

f) **L'hydrolyse:**

L'hydrolyse est une étape nécessaire pour obtenir une meilleure croissance cellulaire. Cela se fait dans une solution d'acide HCl (1N) à 60 °C pendant quelque minute.

g) **Coloration:**

Pour colorer les racines hydrolysées Ajouter le réactif de Schiff pendant 1 heure jusqu'à ce que la couleur apparaisse Intensif. La coloration par le réactif schiff présente la propriété de fixer sur les groupements aldéhydiques. Enfin, plonger les lames dans une goutte d'acétate de carmin 1% (tache les cellules). (Affiché en rouge).

h) **Assemblage des lames:**

Des zones méristématiques hydrolysées, pigmentées et isolées se déposent à l'intérieur des gouttelettes d'acétate de carmin et broyer entre la lame et la lamelle. Assurer la dissociation cellulaire.

i) **Observation microscopique:**

Observer les cellules en division au microscope optique.

Utilisez un grossissement faible (X 10) puis un grossissement (X 40) pour une bonne vue de l'image. Le grossissement final est le grossissement de l'objectif à immersion (X100)

Résultats et discussion

Résultats:

Pendant l'expérimentation, le comportement des trois variétés de blé dur vis-à-vis du stress hydrique est analysé à travers une étude morphologique (hauteur des plants, longueur des racines, volume racinaire et surface foliaire), biochimique (teneur en proline, sucres solubles et chlorophylle), et physiologique (taux de germination, teneur relative en eau (TRE%).

On rappelle que tous ces paramètres ont été mesurés sur la feuille bien développée. Les résultats de tous les paramètres sont présentés dans l'ordre suivant:

1. Paramètres morphologique:

Pour rendre compte de l'effet des différents degrés du stress hydrique sur la morphologie des variétés testés nous avons étudiée les paramètres suivant:

- Hauteur des plants
- Longueurs des racines
- Surface foliaire.

1.1.Hauteur des plantes:

(Résultats des plantes cultivées en pots)

Les hauteurs des plants pour cette variété sont:

Variété WAHA:

Les valeurs sont:

pour le témoin est 55.4cm pour le 1er traitement (100%).

Et: 56.16 cm pour le 2eme traitement (80%).

Et: 30.5 cm pour le 3éme traitement (50%)

Et enfin: 17 cm pour le 4éme traitement (25%)

L'analyse statistique révèle une différence significative entre les hauteurs des plantes dans les différents traitements pour cette variété.

Variété Oued Elbarad:

Les valeurs sont:

56.1cm pour le 1er traitement (100%).

Et: 53.5 cm pour le 2eme traitement (80%).

Et: 30 cm pour le 3éme traitement (50%)

Et enfin: 22.3 cm pour le 4éme traitement (25%)

L'analyse statistique révèle une différence significative entre les hauteurs des plantes dans les différents traitements pour cette variété.

Variété Simeto:

Les valeurs sont:

pour le 1er traitement est 50 cm pour le traitement (100%).

Et: 59.8 cm pour le 2eme traitement (80%).

Et: 28 cm pour le 3éme traitement (50%)

Et enfin: pour le 4éme traitement (25%) la plante est incapable de résister au stress hydrique.

L'analyse statistique révèle une différence significative entre les hauteurs des plantes dans les différents traitements de cette variété. De plus, la plante est incapable de résister au stress hydrique qui lui est appliqué Au quatrième traitement 25%

Variété Vitron:

Les valeurs sont:

pour le 1er traitement est 62 cm pour le traitement (100%).

Et: une moyenne de 60.2 cm pour le 2eme traitement (80%).

Et: une moyenne 35.5 cm pour le 3éme traitement (50%)

Et enfin: une moyenne 21 cm pour le 4éme traitement (25%)

L'analyse statistique révèle une différence significative entre les hauteurs des plantes dans les différents traitements pour cette variété.

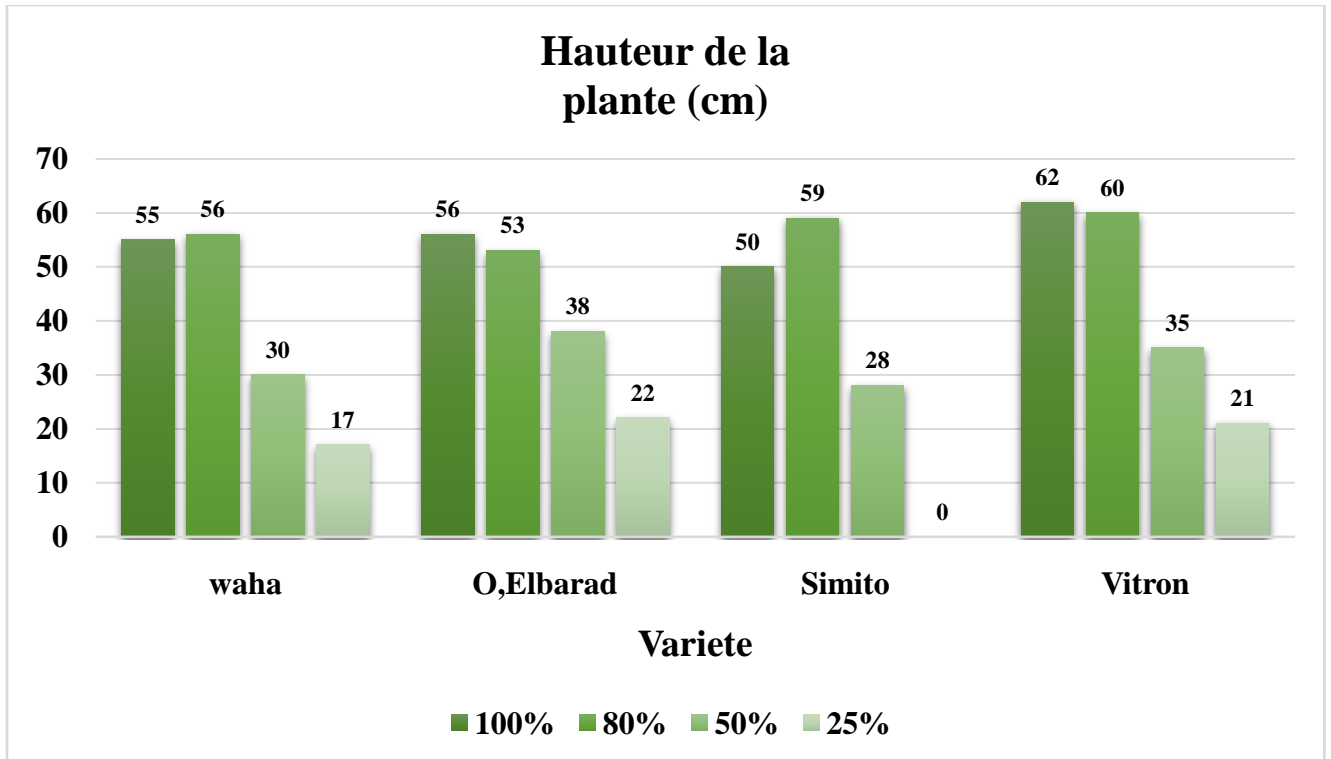


Figure 19: variation de la Hauteur de la plante (HP) en fonction de la variété et du type de traitement.

Le traitement statistique indique que la différence est significative entre les hauteurs enregistrées des différentes variétés.

Dans les résultats obtenus pour les quatre variétés, il existe une corrélation entre la hauteur des plantes et la quantité d'eau dans le traitement. Plus l'irrigation est importante, plus la hauteur des plantes augmente.

Les différences entre les quatre variétés sont significatives, ce qui révèle que ces plantes ont subi un stress dans deux traitements (50 %, 25 %).

Hauteur des plantes:(Résultats des plantes cultivées sur la parcelle)

Les résultats et statistiques sont présentés dans le tableau suivant:

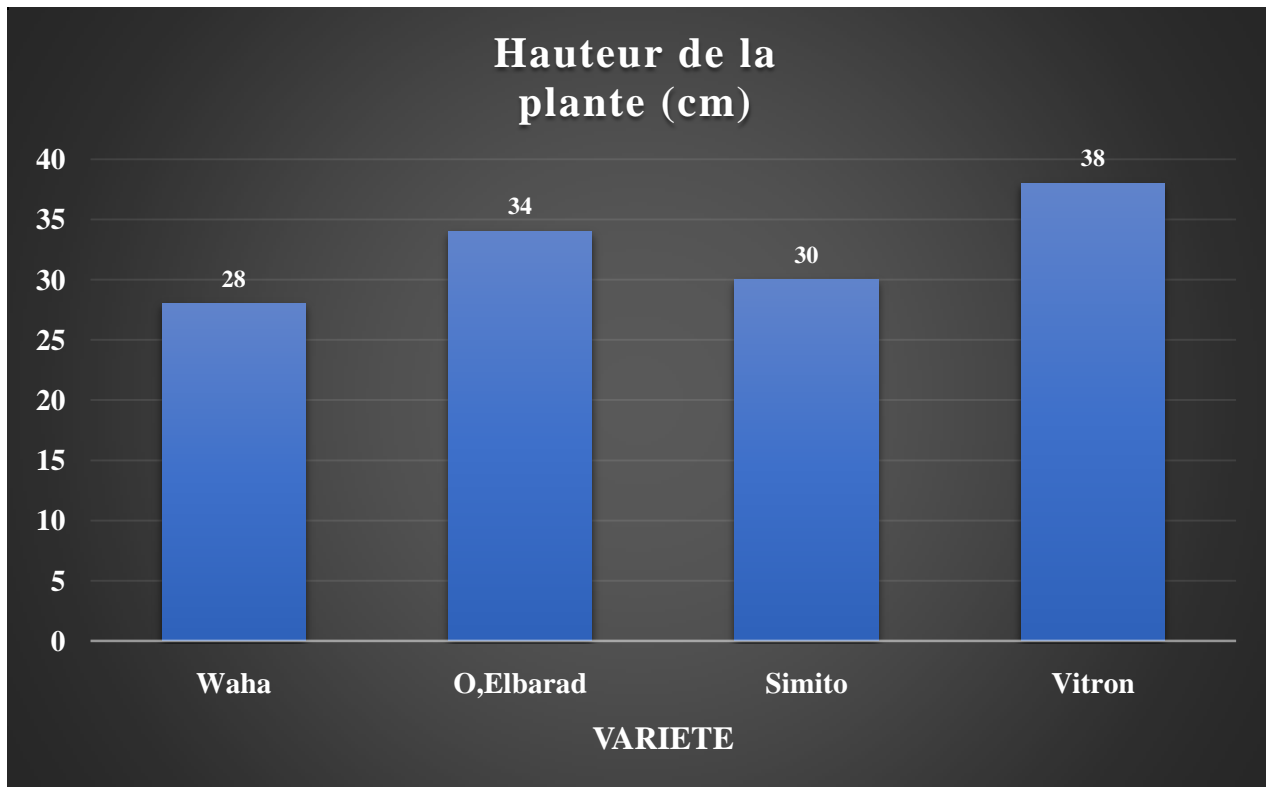


Figure 20: Variation de la hauteur des plantes (HP) dans des conditions naturelles

1.2. Longueur des racines:

Variété WAHA:

Les valeurs sont: 15 cm pour le 1er traitement (100%).

Et: une moyenne de 18 cm pour le 2eme traitement (80%).

Et: une moyenne 25 cm pour le 3éme traitement (50%)

Et enfin: une moyenne 30 cm pour le 4éme traitement (25%)

L'analyse statistique révèle une différence significative entre les hauteurs des plantes dans les différents traitements pour cette variété.

Variété Oued Elbarad:

Les valeurs sont: 13 cm pour le 1er traitement (100%).

Et: 14 cm pour le 2eme traitement (80%).

Et: 24 cm pour le 3éme traitement (50%)

Et enfin: 28 cm pour le 4éme traitement (25%)

Variété Simeto:

Les valeurs sont: 14 cm pour le 1er traitement (100%).

Et: 17 cm pour le 2eme traitement (80%).

Et: 20 cm pour le 3éme traitement (50%)

Et enfin: pour le 4éme traitement (25%) la plante est incapable de résister au stress hydrique.

Variété Vitron:

Les valeurs sont: 14 cm pour le 1er traitement (100%).

Et: 15 cm pour le 2eme traitement (80%).

Et: 22 cm pour le 3éme traitement (50%)

Et enfin: 26 cm pour le 4éme traitement (25%)

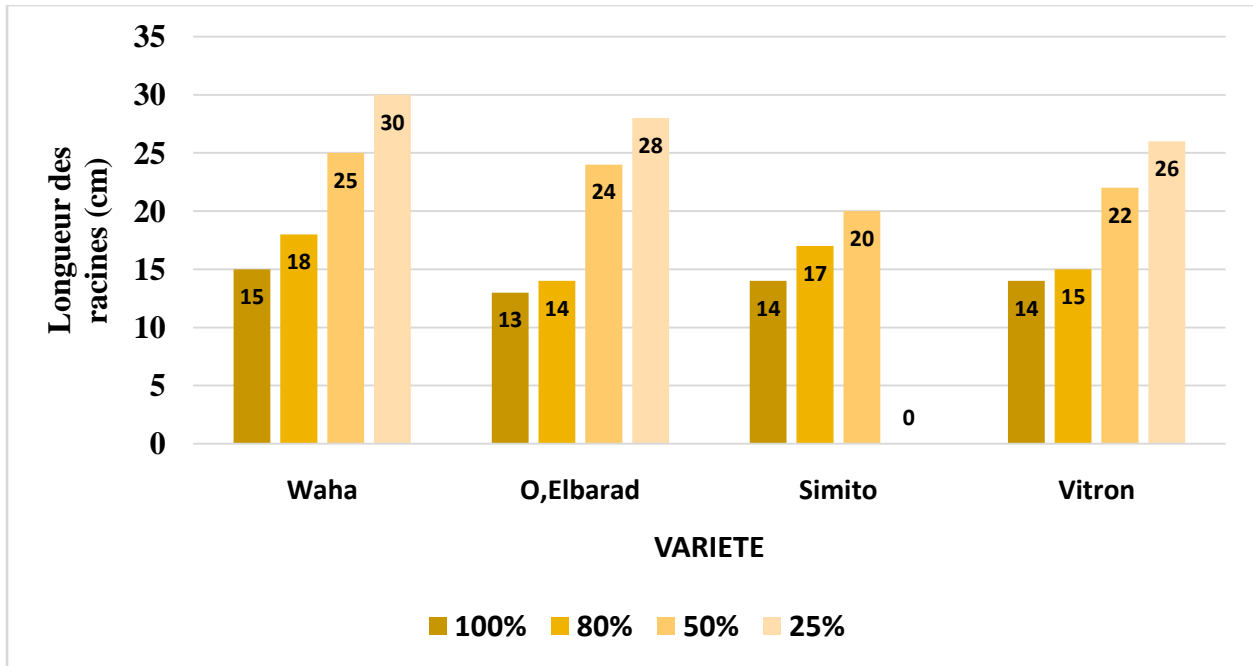


Figure 21: variation de longueur des racines en fonction de la variété et du type de traitement

Le traitement statistique indique que la différence est significative entre les longueurs de racines enregistrées pour les différentes concentrations.

Dans les résultats obtenus pour les quatre variétés, une corrélation a été trouvée entre la longueur des racines et la quantité d'eau dans le traitement.

En comparant les résultats des quatre variétés, il a été constaté que la longueur des racines augmentait généralement avec une diminution de la quantité d'eau. Cela indique que les plantes des quatre variétés sont affectées par le stress hydrique.

Cela indique que ces plantes ont été clairement exposées au stress dans deux traitements (50 % et 25 %).

Longueur des racines: Résultats des plantes cultivées sur la parcelle

Les résultats et statistiques sont présentés dans le tableau suivant:

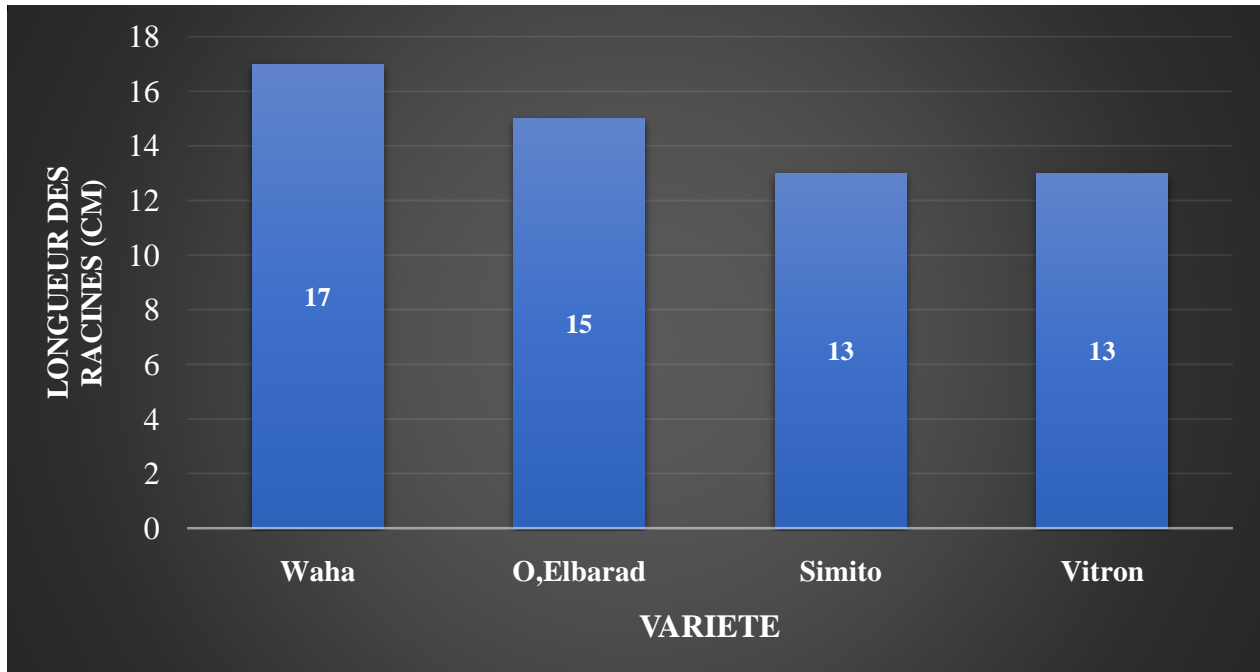


FIGURE 22: variation de longueur des racines dans des conditions naturelles

2. Paramètre physiologique:

2.1. Teneur relative en eau(TRE):

Variété WAHA:

Pour cette variété les TRE % obtenues sont comme suit:

Les valeurs sont: 96,33% pour le 1er traitement (100%).

Et: 79,06% pour le 2eme traitement (80%).

Et:70,8% pour le 3éme traitement (50%)

Et enfin: 31,95% pour le 4éme traitement (25%)

L'analyse statistique révèle une différence significative entre les TRE% dans les différents traitements pour cette variété.

Variété Oued Elbarad:

Pour cette variété les TRE % obtenues sont comme suit:

Les valeurs sont: 90% pour le 1er traitement (100%).

Et: 86,94% pour le 2eme traitement (80%).

Et:52,8% pour le 3éme traitement (50%)

Et enfin: 35,86% pour le 4éme traitement (25%)

Variété Simeto:

Pour cette variété les TRE % obtenues sont comme suit:

Les valeurs sont: 86,94% pour le 1er traitement (100%).

Et: 51,86% pour le 2eme traitement (80%).

Et: 47,61% pour le 3éme traitement (50%)

pour le 4éme traitement (25%) la plante est incapable de résister au stress hydrique.

Variété Vitron:

Pour cette variété les TRE % obtenues sont comme suit:

Les valeurs sont: 81,88% pour le 1er traitement (100%).

Et: 77,38% pour le 2eme traitement (80%).

Et: 42,74% pour le 3éme traitement (50%)

Et enfin: 23% pour le 4éme traitement (25%)

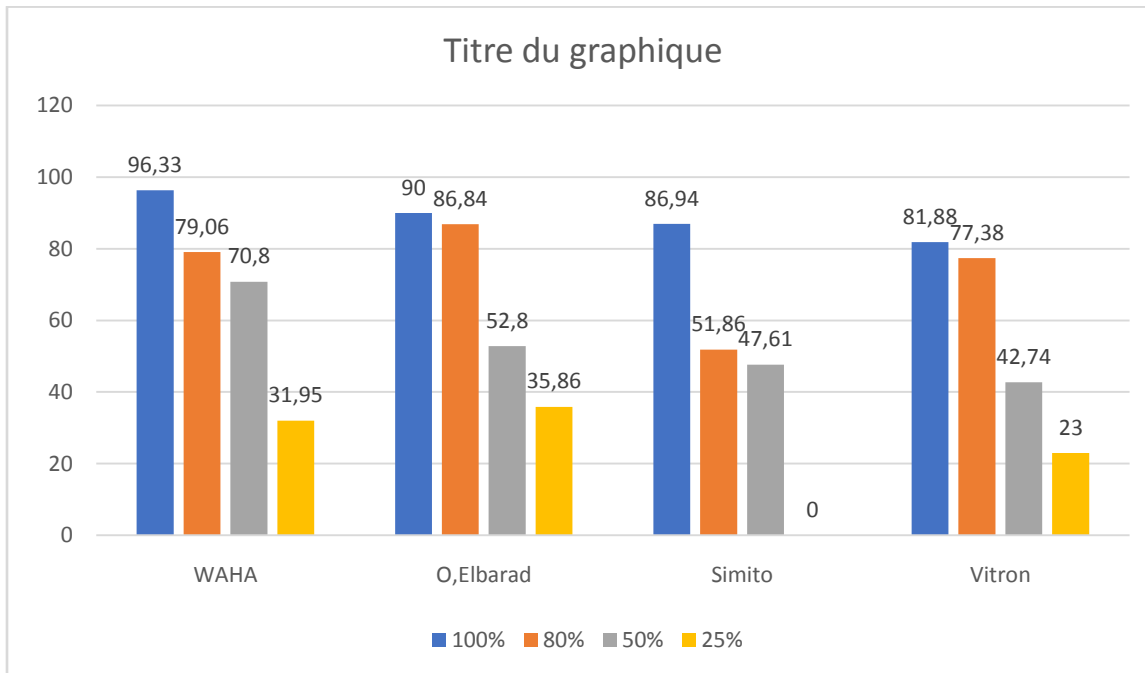


Figure 23: variation de Teneur relative en eau

Le traitement statistique indique que la différence est significative entre les TRE% enregistrées des différentes concentrations.

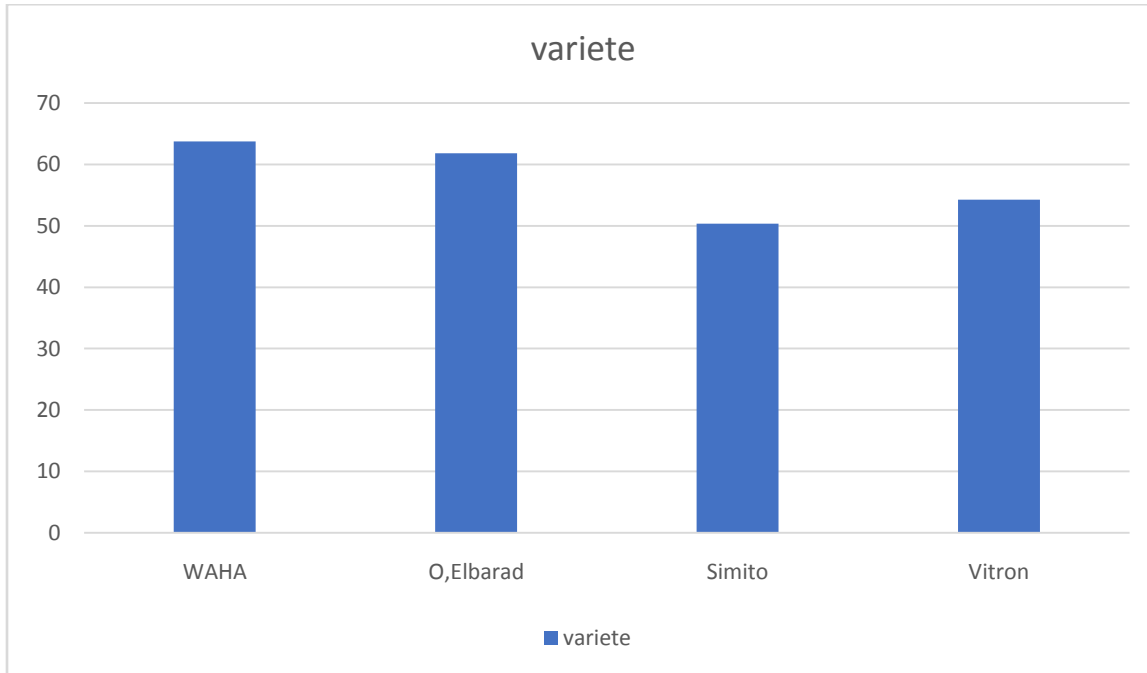


Figure 24: variation de Teneur relative en eau (conditions naturelle)

2.2.Taux de germination (G%):

La germination standard est utilisée aussi pour déterminer la viabilité des semences. Le pourcentage de germination; ou pouvoir germinatif est donnée les valeurs suivant:

Variété WAHA:

Le nombre des graines germées est 49 sur 50 graines mises à germer et Le pourcentage de germination dans cette variété est 98%.

Variété Oued Elbarad:

Le nombre des graines germées est 50 sur 50 graines mises à germer et Le pourcentage de germination dans cette variété est 100%.

Variété Simito:

Le nombre des graines germées est 50 sur 50 graines mises à germer et Le pourcentage de germination dans cette variété est 100%.

Variété Vitron:

Le nombre des graines germées est 47 sur 50 graines mises à germer et Le pourcentage de germination dans cette variété est 94%.

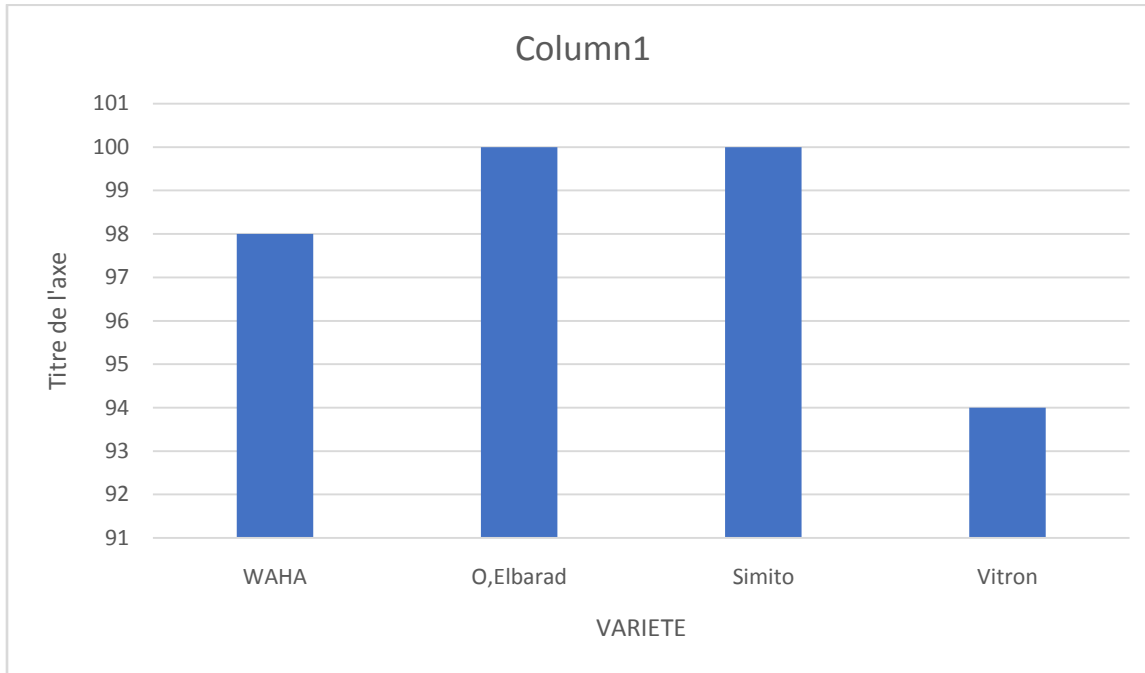


Figure 25: taux de germination chez les 4 variété de blé dur.

3. Paramètre biochimique:

3.1.Teneur en proline:

Variété WAHA:

Dans cette variété l'accumulation de la proline est de : 0.0985 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) chez le traitement (100%), et diminué a 0.12 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) au 2eme traitement (80%) et de 0.34 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le 3éme traitements (50%) et de 0.63 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le 4éme traitements

Variété Oued Elbarad:

Pour cette variété on a: 0.13 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le 1er niveau de stress (100%), et 0.18($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le (80%) et de 0.37 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le 3eme traitement (50%). et de 0.71 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le 4éme traitements.

Variété Simito:

Dans la troisième variété sont: 0.087($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le premier traitement (100%), 0.1 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le (80%) et de 0.27 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le 3eme niveau (50%). Pour le dernier traitement (25%) la plante est incapable de résister au stress hydrique.

Variété Vitron:

Dans la quatrième variété sont: 0.09 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le premier traitement (100%), 0.14 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le (80%) et de 0.34 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le 3ème niveau (50%). et de 0.65 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le 4ème traitements

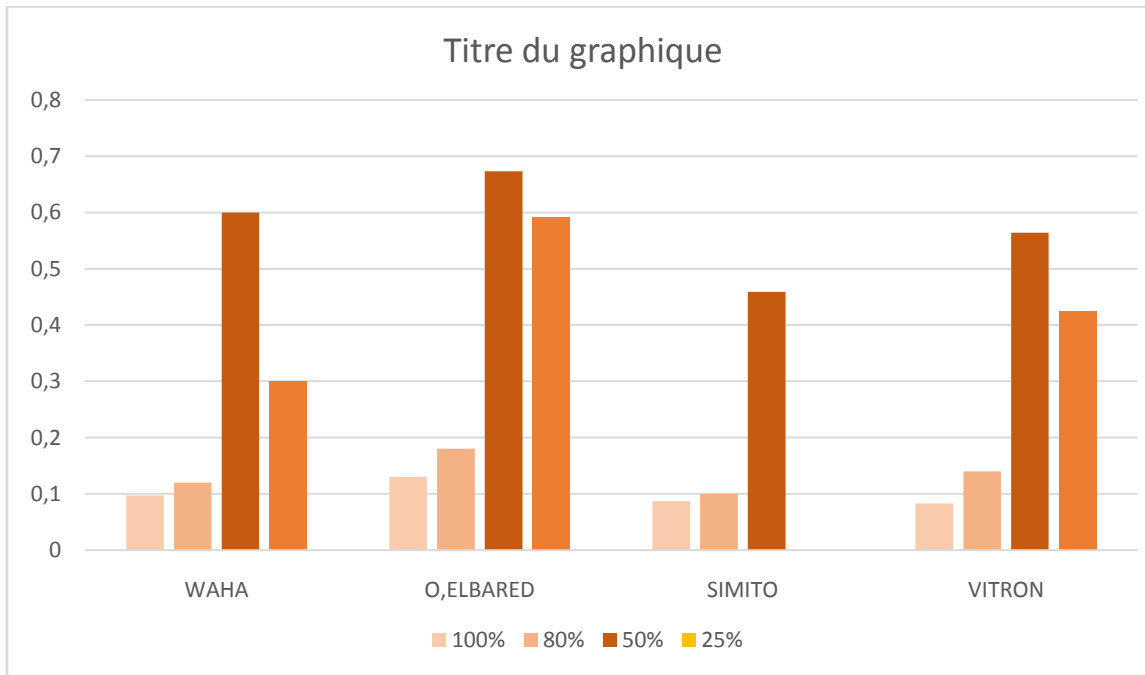


Figure 26: Variation de la teneur en proline chez les 4 géotypes de blé dur sous stress hydrique.

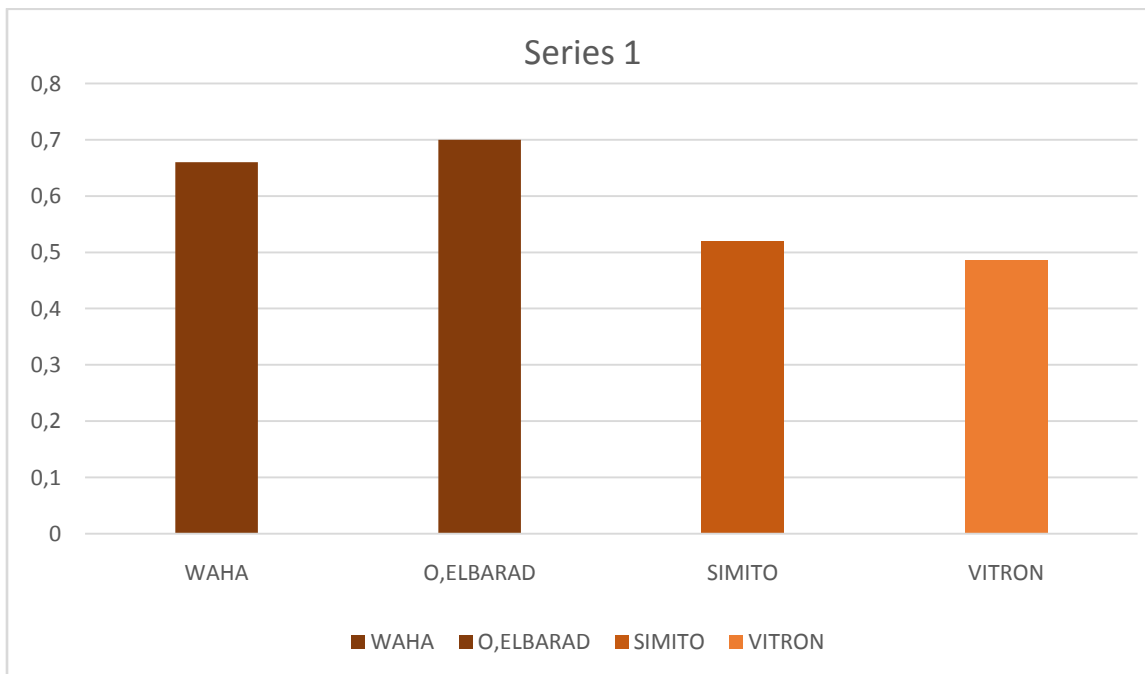


Figure 27: Variation de la teneur en proline chez les 4 géotypes de blé (conductions naturelle)

3.2. Sucres solubles:

Variété Waha:

Dans cette variété l'accumulation de sucre est de :0.35 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le 1er traitement (100%), et 0.47 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour 2eme traitement (80%) et de 0.669 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le 3éme traitements (50%), et 0.397 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le dernier niveau (25%).

Variété Oued Elbarad:

Pour cette variété on a: 0.32 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le 1er niveau de stress (100%), et 0.374($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le (80%) jusqu'à 0.548 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le 3eme traitement (50%), et 0.3 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le dernier niveau (25%).

Variété Simeto:

Dans la troisième variété sont: 0.261 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le premier traitement (100%), 0.27 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le (80%) et enfin chute jusqu'à 0.429 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le 3eme niveau (25%).

Variété Vitron:

Dans la troisième variété sont: 0.273 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le premier traitement (100%), 0.328 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le (80%) pour 3eme tritement 0.55 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) et 0.715 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) pour le dernier niveau (25%).

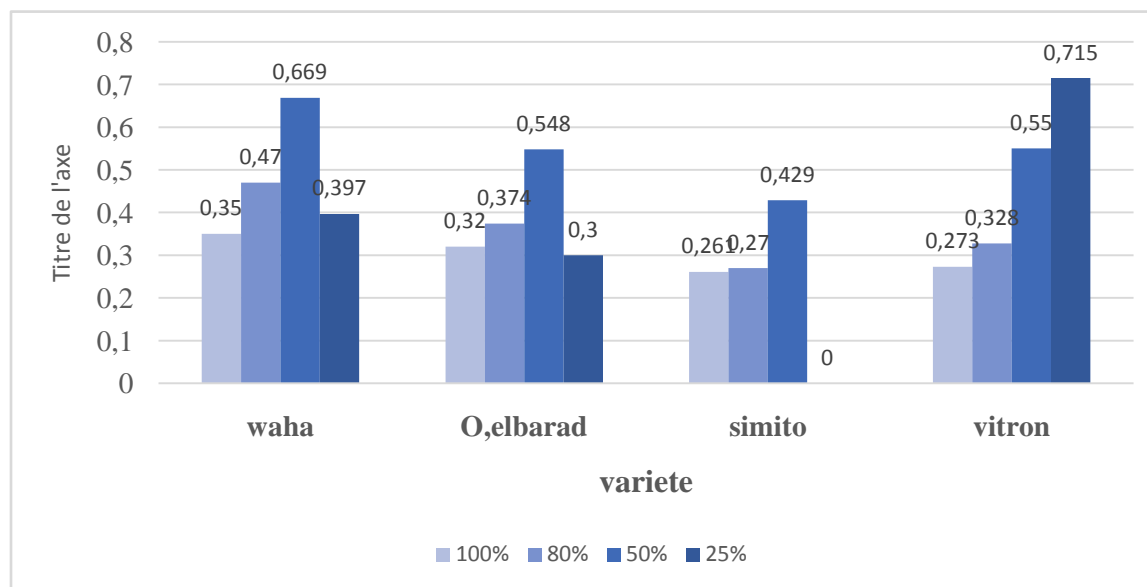
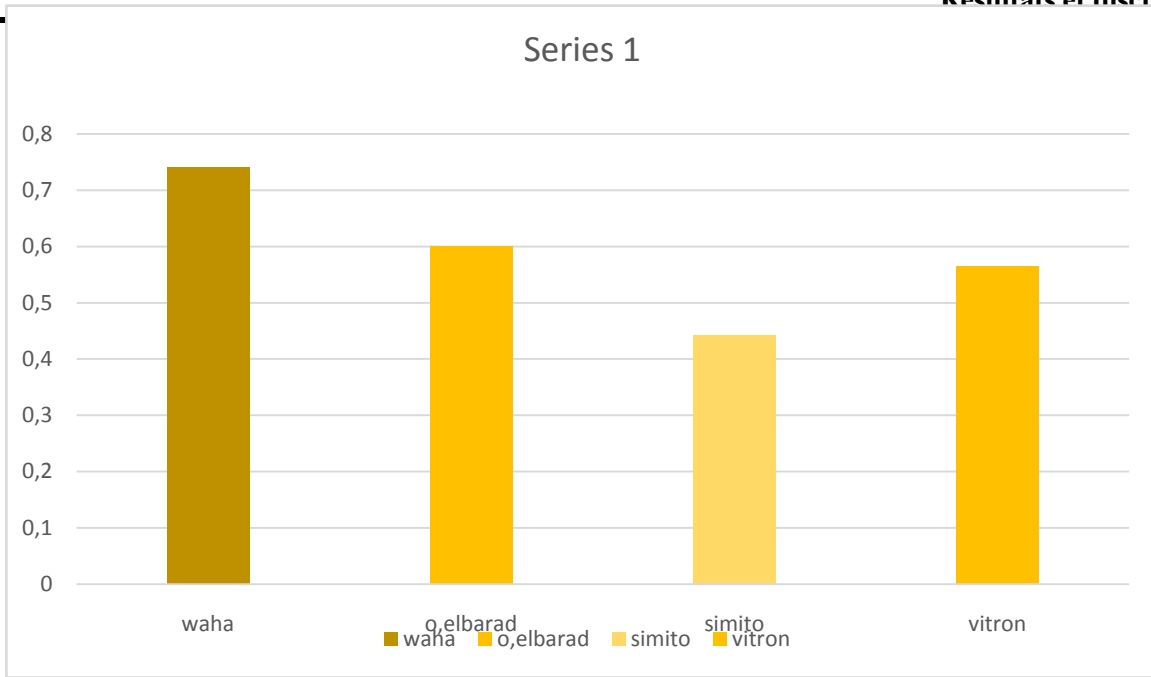


Figure 28: Variation de la teneur en sucres chez les 4 génotypes de blé dur sous stress hydrique.

Figure 29: Variation de la teneur en sucre chez les 4 génotypes de blé (condutions naturelle)



Cette étude vise à observer les cellules mitotiques et à obtenir des plaques de métaphase pour le comptage des Chromosomes et établir le caryotype d'une espèce végétale particulière.

4. Le caryotype de blé dur:

Le caryotype est l'arrangement canonique global des Chromosomes de cellules vus d'un point de vue microscopique. Divers paramètres caractérisent le caryotype, dont le nombre de chromosomes. Base, longueur totale des chromosomes, longueur relative de chaque paire chromosome, Présence de satellites, degré de symétrie considéré Longueur totale du chromosome et emplacement du centromère.

Détection et localisation de chromosomes homologues Les positions respectives du centromère et du centromère dans la carte nucléaire en sont déduites. Mesure par la méthode (à l'aide d'un logiciel de mesure) **Levan et al. (1964)**.

La caryotype de quatre variétés de blé dur a été étudié. Le caryotype est une technique de coloration préalable avec de la colchicine. En laboratoire, vous pouvez placer l'échantillon dans une solution HCl et observer sa forme et la taille des chromosomes à la métaphase de la division mitotique. Les apparences des chromosomes changent pendant la division mitotique.

Il y a 28 chromosomes dans la métaphase de mitose du blé dur.



Figure 30: chromosomes dans la métaphase de mitose du blé dur

Ce sont les résultats d'observation microscopique de la métaphase mitotique que nous avons obtenus grâce à nos travaux en laboratoire pour une types de blé dur (O,Elbarad).

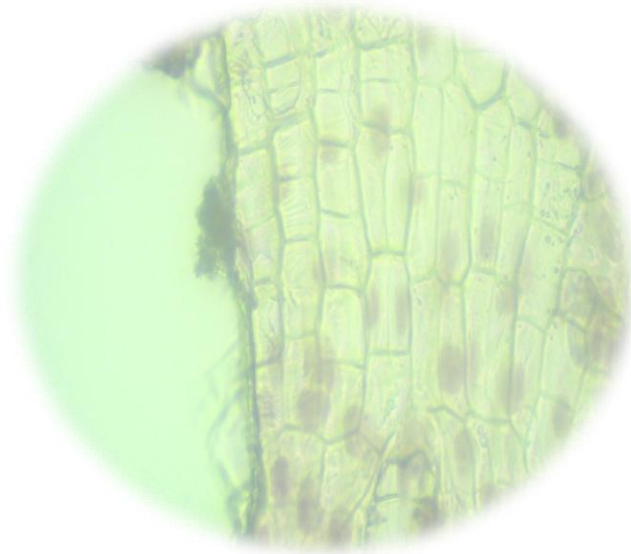


Figure 31: Cellule à grossissement X10

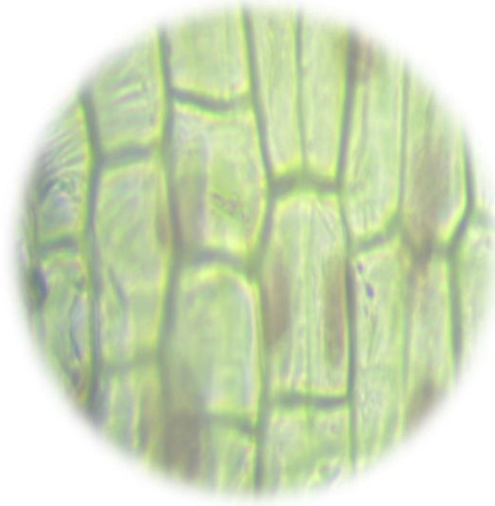


Figure 32: Cellule à grossissement X40

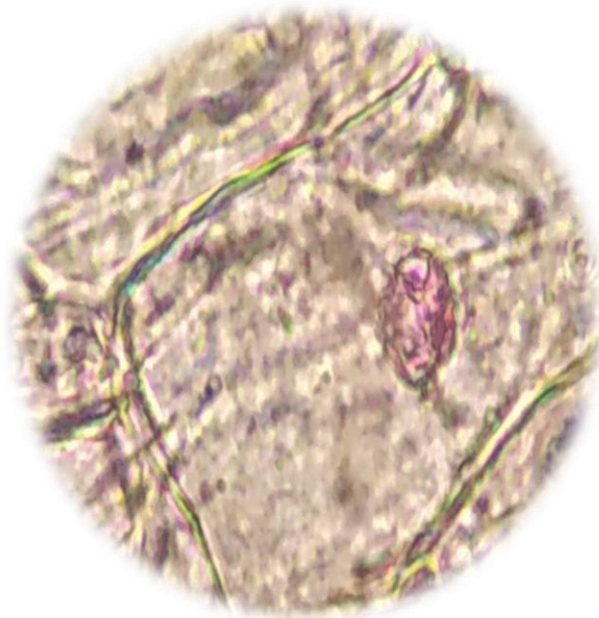


Figure 33: Cellule à grossissement X100

Discussion:

Dans la première partie de ce travail, nous avons étudié les effets du stress hydrique sur les critères morphologiques, physiologiques et chimiques, et nous avons observé une diminution de ces critères.

Selon les résultats obtenus il paraît que la partie aérienne est plus affectée que la partie racinaire. Pour s'adapter au manque d'eau et maintenir l'hydratation et la turgescence de ses tissus, la plante va faciliter l'entrée d'eau au niveau des racines.

Un stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. Un stress hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles (**HOPKINSW, 2003**).

Pour ce qui est de la teneur en eau et du taux de germination, les analyses ont montré une baisse de la teneur moyenne en eau dans les feuilles. La teneur en eau relative dans la feuille est un bon indicateur de l'état hydrique ; elle diminue avec la diminution de l'irrigation. Les résultats ont montré des différences entre les quatre traitements pour chaque variété

L'accumulation des solutés organiques (sucres, proline) n'est autre qu'un phénomène d'adaptation au stress, permettant à la plante de maintenir sa turgescence par la diminution du potentiel hydrique, c'est une forme d'ajustement de son potentiel osmotique (**MONNEVEUX, 1991**).

Dans ce travail nous nous sommes également intéressés à la teneur en sucre solubles. De nombreuses études mettent en évidence une accumulation de teneurs élevées en sucres solubles chez différents types de plantes soumises à différents stress, dont le stress hydrique.

En conclusion, la plupart des travaux réalisés sur le blé dur dans le cadre de l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique ont longtemps visé principalement à augmenter la productivité en se basant sur les performances agronomiques. Actuellement, les programmes d'amélioration du blé nécessitent d'étudier, d'identifier et de vérifier les caractéristiques morphologiques, physiologiques et biochimiques liées au rendement en conditions de stress hydrique.

Conclusion

Conclusion:

Tout d'abord, nous avons pu, acquérir des connaissances grâce à ce travail Cytogénétique clé du génome des populations appartenant au Blé Dur en appliquant les techniques cytogénétiques conventionnelles Coloration avec le réactif de Schiff. Les chromosomes peuvent être comptés.

L'étude de la réponse au stress hydrique dans les quatre variétés de blé dur (WAHA,O,Elbarad,Simito,Vitron) testées révèle une variation dans la plupart des paramètres mesurés.

L'étude de la réponse au stress hydrique des quatre variétés de blé dur testées a révélé une variation de la plupart des paramètres mesurés.

Pendant les expériences menées sous les serres, nous avons étudié la réponse de quatre variétés de blé dur au stress hydrique en analysant la variance de certains critères morphologiques, physiologiques et chimiques.

On a pu observer une augmentation de la surface foliaire et de la hauteur des plants et une élongation des racines.Waha, O,elbarad, Simito, Vitron. Accumulation des sucres solubles et la proline.

Les liens entre la partie racinaire et la partie aérienne sont fortement affectés par le stress hydrique, avec une augmentation de la longueur des racines pour les quatre variétés, tandis qu'en même temps, on observe une diminution de la partie aérienne.

La réponse des plantes du point de vue chimique, évaluée à travers le processus d'accumulation des sucres solubles dans quatre variétés sous stress hydrique, a révélé la capacité de ces variétés à synthétiser et accumuler des sucres solubles. L'accumulation de ce composé organique au niveau des feuilles est un phénomène lié aux régimes hydriques et aux variétés.

Les variétés étudiées ont utilisé la même stratégie de tolérance au stress hydrique, mais avec des quantités variables.

La dernière partie de ce travail consiste à l'étude cytogénétique pour réaliser le caryotype de blé tendre , cette étude comprend le processus de germination et la technique d'observation méristèmes racinaires .cette technique est le point de départ du caryotype , ses étapes les plus importantes sont : prétraitement par la colchicine, fixation et observation au microscope

- Ben-Naceur, M'B, MOUNIR Nailly, and MOHSEN Selmi. 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 Les Composantes Du Rendement.”
- Benhamou, Nicole. 2009.** “La Résistance Chez Les Plantes: Principes de La Stratégie Défensive et Applications Agronomiques.”
- Berka, Souhila, and Fatiha Aïd. 2009.** “Réponses Physiologiques Des Plants d'Argania Spinosa (L.) Skeels Soumis Aun Déficit Hydrique Édaphique.”
- Blum, A. 1989.** “Osmotic Adjustment and Growth of Barley Genotypes under Drought Stress.” *Crop Science* 29(1): 230–33.
- Branlard, Gerard. 1999.** “Des Proteines Selectionnees Pour Ameliorer La Valeur d'utilisation Des Bles.” *Oleagineux Corps Gras Lipides (France)* 6(6).
- Bray, Elizabeth A. 1997.** “Plant Responses to Water Deficit.” *Trends in plant science* 2(2): 48–54.
- Bushuk, W, and R R Zillman. 1978.** “Wheat Cultivar Identification by Gliadin Electrophoregrams. I. Apparatus, Method and Nomenclature.” *Canadian journal of plant science* 58(2): 505–15.
- CAUDERON, Y. 1979.** “ETUDE DES RELATIONS PHYLOGENETIQUES CHEZ LE BLE: CYTOGENETIQUE ET BIOCHIMIE.”
- Chennafi, H, A Aïdaoui, H Bouzerzour, and A Saci. 2006.** “Yield Response of Durum Wheat (Triticum Durum Desf.) Cultivar Waha to Deficit Irrigation under Semi Arid Growth Conditions.”
- Cornic, Gabriel. 2008.** “Effet de La Contrainte Hydrique Sur La Photosynthèse Foliaire: De l'utilisation Expérimental Des Relations A.” *Ci et ACC.*
- Dubos, Christian. 2001.** “Réponse Moléculaire de Jeunes Plants de Pin Maritime Soumis à Un Stress Hydrique En Milieu Hydroponique.”
- Dvorak, J, M-C Luo, Z-L Yang, and H-B Zhang. 1998.** “The Structure of the Aegilops Tauschii Genepool and the Evolution of Hexaploid Wheat.” *Theoretical and Applied Genetics* 97: 657–70.
- Dyer, J A. 1984.** “Monitoring Drought for Grazing Land Management.” *Journal of soil and water conservation* 39(3): 176–78.
- Feldman, Moshe, and Ernest R Sears. 1981.** “The Wild Gene Resources of Wheat.” *Scientific American* 244(1): 102–13.
- Fischer, R A, and R Maurer. 1978.** “Drought Resistance in Spring Wheat Cultivars. I. Grain Yield Responses.” *Australian Journal of Agricultural Research* 29(5): 897–912.
- Gaufichon, Laure, Jean-Louis Prioul, and Bernard Bachelier. 2010.** “Quelles Sont Les Perspectives d'amélioration Génétique de Plantes Cultivées Tolérantes à La Sécheresse.” *Rapport FARM.*

- Hireche, Yasmina. 2006.** “Réponse de La Luzerne (*Medicago Sativa* L) Au Stress Hydrique et à La Profondeur de Semis.”
- Hopkins, William G. 2003.** *Physiologie Végétale*. De Boeck Supérieur.
- El Houssine TAHRI, Abdelmajid BELABED, and Khadija SADKI. 1998.** “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*).” *Bulletin de l’Institut scientifique, Rabat* 1997(21): 81–87.
- Jones, M M, and H M Rawson. 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(1): 103–11.
- Kaiser, Harry M, Susan J Riha, Daniel S Wilks, David G Rossiter, and Radha Sampath. 1993.** “A Farm- level Analysis of Economic and Agronomic Impacts of Gradual Climate Warming.” *American journal of agricultural economics* 75(2): 387–98.
- Lepoivre, Philippe. 2003.** *Phytopathologie: Bases Moléculaires et Biologiques Des Pathosystèmes et Fondements Des Stratégies de Lutte*. De Boeck Supérieur.
- Lesage, Véronique. 2011.** “Contribution à La Validation Fonctionnelle Du Gène Majeur Contrôlant La Dureté/Tendreté de l’albumen Du Grain de Blé Par l’étude de Lignées Quasi-Isogéniques.”
- Linden, Guy, and Denis Lorient. 1994.** *Biochimie Agro-Industrielle*.
- May, L H, and F L Milthorpe. 1962.** “Drought Resistance of Crop Plants.”
- Mekhlouf, Abdelhamid, Hamenna Bouzerzour, Amar Benmahammed, Abdelkarim Hadj Sahraoui, and Nadir Harkati. 2006.** “Adaptation Des Variétés de Blé Dur (*Triticum Durum* Desf.) Au Climat Semi-Aride.” *Sécheresse* 17(4): 507–13.
- MEKLIICHE, Arezki, Dalila BOUKECHA, and Leïla MEKLIICHE HANIFI. 2003.** “Etude de La Tolérance à La Sécheresse de Quelques Variétés de Blé Dur (*Triticum Durum* Desf.). I. Effet de l’irrigation de Complément Sur Les Caractères Phénologiques, Morphologiques et Physiologiques.”
- Morot-Gaudry, Jean-François. 1997.** “Assimilation de l’azote Chez Les Plantes: Aspects Physiologique, Biochimique et Moléculaire.”
- Nachit, Miloudi, Emmanuel Picard, Philippe Monneveux, Mustapha Labhilili, Michael Baum, and Roger Rivoal. 1998.** “Présentation d’un Programme International d’amélioration Du Blé Dur Pour Le Bassin Méditerranéen.” *Cahiers Agricultures* 7(6): 510–15.
- Neffar, Fahima. 2013.** “Analyse de l’expression Des Gènes Impliqués Dans La Réponse Au Stress Abiotique Dans Différents Génotypes de Blé Dur (*Triticum Durum*) et d’orge (*Hordeum Vulgare*) Soumis à La Sécheresse.”
- Passioura, John. 2006.** “Increasing Crop Productivity When Water Is Scarce—from Breeding to Field Management.” *Agricultural water management* 80(1–3): 176–96.

- Pfeiffer, W H, K D Sayre, and M P Reynolds. 2000.** “Enhancing Genetic Grain Yield Potential and Yield Stability in Durum Wheat.” *Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges. Options Méditerranéennes, Series A* 40: 88–93.
- Rejeb, Kilani Ben, Chedly Abdelly, and Arnould Savouré. 2012.** “La Proline, Un Acide Aminé Multifonctionnel Impliqué Dans l’adaptation Des Plantes Aux Contraintes Environnementales.” *Biologie aujourd’hui* 206(4): 291–99.
- Reyes-Gómez, Victor Manuel, D Nuñez López, C A Muñoz Robles, José Alfredo Rodríguez Pineda, Héctor Gadsden, Melchor López Ortíz, and O R Hinojosa De La Garza. 2006.** “Caractérisation de La Sécheresse Hydrologique Dans Le Bassin-Versant Du Río Conchos (État de Chihuahua, Mexique).” *Sécheresse* 17(4): 475–84.
- Samaras, Y, R A Bressan, L N Csonka, M G Garcia-Rios, D Urso Paino, and D Rhodes. 1995.** “Proline Accumulation during Drought and Salinity.” *Environment and Plant Metabolism, Bios Scientific Publishers, Oxford*: 161–87.
- Shewry, Peter R, Arthur S Tatham, Janice Forde, Martin Kreis, and Benjamin J Mifflin. 1986.** “The Classification and Nomenclature of Wheat Gluten Proteins: A Reassessment.” *Journal of cereal science* 4(2): 97–106.
- Slama, A. 1996.** “Effet d’une Contrainte Hydrique Édaphique Sur Le Développement Du Système Racinaire de 2 Variétés de Blé Dur.” *DEA, Faculté de Sciences de Tunis*.
- Slama, Amor, Moncef Ben Salem, M Ben Naceur, and Ezziddine Zid. 2005.** “Les Céréales En Tunisie: Production, Effet de La Sécheresse et Mécanismes de Résistance.” *Sécheresse* 16(3): 225–29.
- Smadhi, Dalila, and Lakhdar Zella. 2009.** “Céréaliculture En Sec et Précipitations Annuelles: Le Cas de l’Algérie Du Nord.” *Science et changements planétaires/Sécheresse* 20(2): 199–203.
- Tao, Fulu, and Zhao Zhang. 2011.** “Impacts of Climate Change as a Function of Global Mean Temperature: Maize Productivity and Water Use in China.” *Climatic change* 105(3): 409–32.
- Temagoult, M. 2009.** “Analyse de La Variabilité de La Réponse Au Stress Hydrique Chez Des Lignées Recombinantes de Tournesol (*Helianthus Annus L.*)” *Diplôme de magistère en Biotechnologies Végétales. Université Mentouri, Constantine*.
- Turner, Neil C. 1996.** “Further Progress in Crop Water Relations.” *Advances in agronomy* 58: 293–338.
- Wall, A M, Ralph Riley, and M D Gale. 1971.** “The Position of a Locus on Chromosome 5B of *Triticum Aestivum* Affecting Homoeologous Meiotic Pairing.” *Genetics Research* 18(3): 329–39.
- Winkel, T, and F Do. 1992.** “Caractères Morphologiques et Physiologiques de Résistance Du Mil (*Pennisetum Glaucum (L.) R. Br.*) à La Sécheresse.” *L’Agronomie tropicale (1975)* 46(4): 339–51.

Références bibliographiques

Witcombe, J R, P A Hollington, C J Howarth, S Reader, and K A Steele. 2008. "Breeding for Abiotic Stresses for Sustainable Agriculture." *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363(1492): 703–16.

Xiao GuoJu, Xiao GuoJu, Zhang QiAng Zhang QiAng, Yao Yubi Yao Yubi, Zhao Hong Zhao Hong, Wang RunYuan Wang RunYuan, Bai HuZhi Bai HuZhi, and Zhang FengJu Zhang FengJu. 2008. "Impact of Recent Climatic Change on the Yield of Winter Wheat at Low and High Altitudes in Semi-Arid Northwestern China."

Zarco-Hernandez, Jorge Arturo, Francisca Santiveri, Antonio Michelena, and Roberto Javier Peña. 2005. "Durum Wheat (*Triticum Turgidum*, L.) Carrying the 1BL/1RS Chromosomal Translocation: Agronomic Performance and Quality Characteristics under Mediterranean Conditions." *European Journal of Agronomy* 22(1): 33–43.

Résumé:

Le blé est une culture importante en termes de consommation humaine dans de nombreux pays, et il est considéré comme l'une des trois cultures les plus importantes avec le riz et le maïs, occupant la troisième place en termes d'importance de la production mondiale.

Cette étude vise à comprendre le comportement des variétés de blé dur au niveau morphologique, physiologique, biochimique et génétique face au stress hydrique, ainsi que l'impact de cette pression sur les composants de la production au cours du développement de la plante.

Nous avons étudié différentes normes physiologiques, morphologiques, et biochimiques sous quatre niveaux de stress. Les résultats montrent que le stress hydrique entraîne une augmentation de la longueur des racines et une réduction de la partie aérienne, une diminution de la teneur en eau des feuilles, et une augmentation de la proline et des sucres solubles. Les résultats montrent que le stress hydrique induit les mêmes mécanismes de réponse chez les variétés mais à des degrés différents.

Mots clés : blé dur, stress hydrique, étude génétique, caractéristiques morphologiques, biochimique, physiologique, protéines.

ملخص:

القمح هو زراعة مهمة من حيث استهلاك الإنسان في العديد من البلدان، ويعتبر واحدًا من أهم ثلاثة محاصيل مع الأرز والذرة، ويحتل المرتبة الثالثة من حيث أهمية الإنتاج العالمي.

تهدف هذه الدراسة إلى فهم سلوك أصناف القمح الصلب على مستوى المورفولوجيا والفسيوولوجيا والكيمياء الحيوية والوراثية في مواجهة التوتر المائي، وكذلك تأثير هذا الضغط على مكونات الإنتاج أثناء تطور النبات.

لقد درسنا مختلف المعايير الفسيولوجية والمورفولوجية والكيميائية تحت اربعة مستويات من التوتر. تظهر النتائج أن التوتر المائي أدى إلى ارتفاع طول الجذور وتقليل الجزء الهوائي، وتقليل نسبة الماء في الاوراق، وزيادة في البرولين والسكريات القابلة للذوبان. أظهرت النتائج أن التوتر المائي يؤدي إلى نفس الآليات في الاستجابة لدى الأصناف ولكن بدرجات مختلفة.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب، التوتر المائي، الدراسة الوراثية، الخصائص المورفولوجية، الكيميائية الحيوية، الفسيولوجية، البروتين

Abstract:

Wheat is an important crop in terms of human consumption in many countries and is considered one of the top three crops alongside rice and maize, ranking third in terms of global production importance.

This study aims to understand the behavior of durum wheat varieties at the morphological, physiological, biochemical, and genetic levels in response to water stress, as well as the impact of this pressure on production components during plant development.

We studied various physiological, morphological, and biochemical standards under four levels of stress. The results show that water stress leads to an increase in root length and a reduction in the aerial part, a decrease in leaf water content, and an increase in proline and soluble sugars. The results show that water stress induces the same response mechanisms in varieties but to different degrees.

Keywords: durum wheat, water stress, genetic study, morphological characteristics, biochemical, physiological, protein