



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : SCIENCES

DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Inas BOUDERBALLA

DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)

FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : AMELIORATION DES PLANTES

Thème

Recherche d'une corrélation entre les paramètres biochimiques du blé dur (*triticum durum* Desf.) sous stress abiotiques cultivé en hydroponie.

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
- AMEUR Djamilla	MAA	- Président
- AIT SALAH Boubekeur	MAA	- Examineur
- MALLEM Hamida	MCB	- Encadreur
- HOUYOU Zohra	MCA	- Co-Encadreur

Promotion : Juin 2020

Résumé :

Recherche d'une corrélation entre les paramètres biochimiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous stress abiotiques cultivé en hydroponie

La réaction des plantes vis à vis les différents stress, présente des mécanismes particuliers selon l'espèce et selon la variété. Nous avons visé à étudier le comportement physiologique du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous différents types de stress abiotiques, et rechercher d'éventuelles corrélations entre les paramètres biochimiques et physiologiques, ainsi que l'effet de la gibbérelline sur ces derniers. Nous avons cultivé la variété Simèto en système hydroponique, nous avons réalisé les stress suivants (salinité à 8g/l de NaCl, froid à 5°C, chaleur à 40°C, sécheresse durant 2jours).

Le stress salin et en chaleur ont été les plus néfastes sur le blé, ils ont présenté les valeurs les plus élevées en proline (16 $\mu\text{Mol/gMF}$ et 15 $\mu\text{Mol/gMF}$ successivement) par rapport au stress hydrique et en froid (12 $\mu\text{Mol/gMF}$), et le témoin sans stress (0 $\mu\text{Mol/gMF}$).

Le stress hydrique a augmenté significativement la teneur en sucres solubles (59,63 mMol/gMF) par rapport au reste des traitements (27,83 -39,12 mMol/gMF). Les stress ; salin, hydrique chaleur ont augmenté le taux de la chlorophylle totale chez le blé dur (52,53 mg/gMF), ce taux n'a pas été influencé par le froid comparé au témoin (16,61 mg/gMF). L'application des stress abiotiques sur le blé dur a fait augmenter la teneur en eau (89,83%) dans les tissus du végétal, comparant au blé non stressé (69,17%).

Deux corrélations ont été trouvées : positive entre la TRE% et la chlorophylle chez le stress hydrique et une autre négative, entre la TRE% et la proline chez le stress en froid.

Il apparait que la gibbérelline a diminué le taux de proline (12 $\mu\text{Mol/gMF}$) et les sucres totaux chez le blé stressé en sel.

Mots clés : Blé dur, stress, proline, sucres solubles, chlorophylle, teneur en eau, hydroponie

Summary:**Search for a correlation between the biochemical parameters of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under abiotic stress grown in hydroponics**

The reaction of plants to the different stresses presents special mechanisms depending on the species and the variety. We aimed to study the physiological behaviour of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under different types of abiotic stress, and to look for possible correlations between biochemical and physiological parameters as well as the effect of gibberellin on them. We cultivated the siméto variety in a hydroponic system; we carried out the following stresses (salinity at 8g / l NaCl, cold at 5 ° C, heat at 40 ° C, dryness for 2 days).

Salt and heat stress were the most harmful on wheat, they presented the highest proline values (16 µMol / gMF and 15 µMol / gMF successively) compared to water stress and cold (12 µMol / gMF), and the stress-free control (0 µMol / gMF).

Water stress significantly increased the content of soluble sugars (59.63 mMol / gMF) compared to the rest of the treatments (27.83 -39.12 mMol / gMF). Stress; saline, water heat increased the level of total chlorophyll in durum wheat (52.53 mg / gMF), this rate was not influenced by the cold compared to the control (16.61 mg / gMF). The application of abiotic stresses on durum wheat increased the water content (89.83%) in plant tissue, compared to unstressed wheat (69.17%).

Two correlations were found: positive between the TRE% and chlorophyll in water stress and another negative, between the TRE% and proline in cold stress.

It appears that gibberellin reduced the proline level (12 µMol / gMF) and the total sugars in wheat stressed by salt

Key words: Durum wheat, stress, proline, soluble sugars, chlorophyll, water content, hydroponic.

البحث عن وجود ارتباط بين المقاييس البيو كيميائية للقمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) تحت الإجهاد اللاحيوي الموجود في الزراعة المائية.

رد فعل النبات تحت مختلف انواع الاجهاد يتمثل في اليات خاصة حسب النوع و الصنف . هدفنا دراسة السلوك الفسيولوجي للقمح الصلب تحت أنواع مختلفة من الإجهاد اللاحيوي ، والبحث عن الارتباطات المحتملة بين المقاييس البيو كيميائية والفسيولوجية وكذلك تأثير الجبرلين على هذه الاخيرة. قمنا بزراعة صنف القمح سيميتو في نظام الزراعة المائية و بتنفيذ مختلف الاجهادات التالية (الملوحة عند 8 غ / لتر ملح، البرودة عند 5 درجة مئوية، الحرارة عند 40 درجة مئوية، والجفاف لمدة يومين).

كان اجهاد الملح والإجهاد الحراري الأكثر ضرراً على القمح ، فقد قدموا أعلى قيم البرولين (16 ميكرومول / غ و 15 ميكرومول / غ على التوالي) مقارنة بالإجهاد المائي والبرد (12 ميكرومول / غ) ، والشاهد الخالي من الإجهاد (0 ميكرومول / غ). زاد الإجهاد المائي بشكل ملحوظ من محتوى السكريات القابلة للذوبان (59.63 ملي مول / غ) مقارنة ببقية الاجهاد (27.83- 39.12 ملي مول / غ). زاد اجهاد الحرارة و الملوحة وكذلك الجفاف من مستوى الكلوروفيل الكلي في القمح الصلب (52.53 مغ / غ) ، ولم يتأثر هذا الاخير بالبرد مقارنة بالشاهد (16.61 مغ / غ). أدى استخدام الإجهاد اللاحيوي على القمح الصلب إلى زيادة المحتوى المائي (89.83%) في الأنسجة النباتية، مقارنة بالقمح الغير معرض للإجهاد (69.17%).

تم العثور على ارتباطين: إيجابي بين محتوى الماء النسبي % والكلوروفيل في الإجهاد المائي وأخرى سلبية ، بين محتوى الماء النسبي % والبرولين في الإجهاد البارد. الجبرلين قلل من مستوى البرولين (12 ميكرو مول / غ) والسكريات الكلية في القمح المجهد بالملح.

الكلمات المفتاحية : القمح الصلب، الاجهاد، البرولين، السكريات القابلة للذوبان، الكلوروفيل، محتوى الماء النسبي، الزراعة المائية.

Dédicace

Aux deux êtres qui n'ont cessé de se Sacrifier pour que je réussisse :

Mes deux mères, Nacira et Zouina Qui ont œuvrés pour ma réussite, par leur amour et leur soutien, et tous les sacrifices qu'elles ont consentis et leurs précieux conseils, pour toute leur aide et leur présence dans ma vie.

A mon père qu'il soit fier et trouve ici les résultats de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.

A mes chères sœurs hanan et fatima, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

A mon grand père que dieu vous protège, mon adorable chère grand-mère que je dois tout.

Ma chère tante djamilla et sa petite famille, mes oncles, leurs femmes, et Enfants.

A tout la famille bouderballa et hachani.

A ma copine, ma meilleur amie, ma sœur, khadidja, merci pour cette belle amitié, la sincère et profonde amitié et les Moments agréables que nous avons passés ensemble.

A mon chère ami : mohammed, qui n'a cessé d'être pour moi un exemple de persévérance, de courage et de générosité.

A ma chère amie wahiba, et mes chères copines d'enfance halla, iman, sarra, et bouchra.

A mes collègues de promotion de l'amélioration des plantes 2020.

Vous occupez tous une place particulière dans mon cœur. Je vous dédie ce travail en vous souhaitant un avenir radieux, plein de bonheur et de succès.

Inas

Remerciement

الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا ان هدانا الله

Je remercie avant tout ALLAH tout puissant, de m'avoir guidé toutes les années d'étude et m'avoir donné la volonté, la patience et le courage, la force pour terminer ce travail.

Je tien tout d'abord à remercier particulièrement Ma promotrice Dr. **MALLEM Hamida**, merci pour votre confiance et votre aide précieuse, qui, en tant que promoteur, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce travail, ainsi pour l'aide et le temps qu'elle a bien voulu me consacré.

Je remercie chaleureusement mon Co-encadreur, Dr. **HOUYOU Zohra**, pour ses précieux conseils, ses orientations ainsi que sa gentillesse et son aide.

Je remercie également les membres de jury monsieur **Ait Salah Boubekour** et Melle **Ameur Djamila**, d'avoir voulu accepter de jugé ce travail.

Je tiens à exprimer mon remerciement à tous nos enseignants durant les années d'études.

Je remercie L'équipe de laboratoire de l'agronomie.

Mes remerciements s'adressent également à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à réaliser ce travail.

Sommaire

Numéro	Titre	page
	Résumé	I
	Dédicace	IV
	Remerciement	V
	Sommaire	VI
	Listes des figures	X
	Liste des tableaux	XI
	Liste des abréviations	XII
	Introduction	1

Chapitre 01 : Généralité sur le blé dur

1.1	Introduction	3
1.2	Historique et origine de blé	3
1.2.1	Origine et domestication	3
1.2.2	Origine génétique	4
1.3	La classification botanique	5
1.4	Morphologie et structure de la plante du blé	5
1.4.1	Partie aérienne	6
1.4.1	Partie souterraine	7
1.5	Cycle de développement du blé dur	8
1.5.1	Germination	8
1.5.2	Levée	8
1.5.3	Tallage	9
1.5.4	Montaison- gonflement	9
1.5.5	Epiaison-floraison (Période reproductrice)	10
1.5.6	Remplissage du grain (Période de formation et de maturation du grain)	10
1.6	Importance du blé dans le monde et en Algérie	10
1.6.1	Importance alimentaire	10
1.6.2	Production au niveau mondial	12
1.6.3	Production au niveau national	13

1.7	Exigences pédoclimatiques	14
1.7.1	Le sol	14
1.7.2	Température	14
1.7.3	L'eau	15
1.7.4	La lumière	15

Chapitre 02 : Effets des stress abiotiques sur le blé dur

2.1	Notion de stress	16
2.2	Catégories de stress	16
2.2.1	Stress abiotique	16
2.2.1.1	Stress hydrique	16
2.2.1.2	Stress salin	17
2.2.1.3	Stress thermique	17
2.3	Les effets des stress abiotiques sur le blé dur	18
2.3.1	Effet du stress hydrique	18
2.3.1.1	Effet sur la croissance et le développement du blé	18
2.3.1.2	Effet sur la photosynthèse	18
2.3.1.3	Influence sur le rendement du blé dur	19
2.3.2	Effets du stress salin	19
2.3.2.1	Influence sur la germination	19
2.3.2.2	Effet sur la croissance et le développement	20
2.3.2.3	L'effet de la salinité sur l'eau dans la plante	21
2.3.3	Effets du stress thermique	21
2.4	Mécanismes d'adaptation du blé aux stress abiotiques	22
2.4.1	Mécanismes d'adaptation au stress hydrique	22
2.4.1.1	La stratégie d'esquive	22
2.4.1.2	La stratégie d'évitement	22
2.4.1.3	Tolérance	23
2.4.2	Mécanismes d'adaptation au stress salin chez le blé	24
2.4.2.1	La compartimentation vacuolaire	24
2.4.2.2	L'Exclusion	25
2.4.2.3	L'inclusion	25

2.4.3	Mécanismes d'adaptation au stress thermique chez le blé	25
2.5	Accumulation des osmolytes face aux stress abiotiques	26
2.5.1	La proline	26
2.5.2	L'Accumulation des sucres solubles	26
2.6	Les stress Biotiques	27

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

3.1	Objectifs de l'expérience	28
3.2	Matériel végétal	28
3.3	Conditions expérimentales	29
3.3.1	Lieu de l'expérimentation	29
3.3.2	Conduite de l'essai	30
3.3.3	Dispositif expérimental	30
3.3.4	Préparation du semis	31
3.3.4.1	Pré germination	31
3.3.4.2	Repiquage des germes	31
3.3.5	Préparation de la solution nutritive	32
3.3.5.1	Control de la conductivité électrique et le pH	33
3.3.6	Description des stress abiotiques étudiés	34
3.3.6.1	Stress hydrique	34
3.3.6.2	Stress salin	34
3.3.6.3	Stress thermique	35
3.3.6.4	Sans stress	35
3.3.7	Essai du comportement du blé sous Stress salin avec l'utilisation de lagibbérelline	35
3.4	Paramètres physiologiques mesurés	36
3.4.1	Teneur en eau (%) et taux de la matière sèche (%)	36
3.4.2	Dosage de Proline (mMol/ gMF)	37
3.4.3	Dosage des sucres totaux (mMol/gMF)	37
3.4.4	Dosage de la chlorophylle (mg/gMF)	38
3.5	Analyses statistiques	38

Chapitre 04 : Résultats et discussion

4.1	Résultats	39
4.1.1	Aspect général des plantes du blé	39
4.1.2	Paramètres biochimiques et la teneur en eau des feuilles du blé dur	40
4.1.2.1	Quantité de la proline (mMol/gMF)	40
4.1.2.2	La teneur en sucres totaux (mMol/gMF)	41
4.1.2.3	Teneur en chlorophylle totale (mg/gMF)	42
4.1.3	Corrélation entre les paramètres étudiés	45
4.1.4	La classification ascendante hiérarchique (CAH)	46
4.1.5	Analyse en composants principales (ACP)	47
4.1.6	Effet de l'application de la gibbérelline sur le blé dur sous stress salin	48
4.2	Discussions	50
	Conclusion	54
	Références bibliographiques	56
	Annexes	64

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1	Origine génétique du blé dur (Amrouche, 2017).	04
2	Morphologie de plante de blé dur (Soltner, 1998).	06
3	Structure schématique d'un graine de blé (coupe longitudinale) (Surget et Barron, 2005).	07
4	Cycle de développement de blé (Henry et <i>al.</i> , 2000)	09
5	les moyennes des rendements des céréales 2010/2017 (MADR, 2018).	14
6	Mécanismes d'action des cellules de garde face au déficit hydrique (Monneveux, 1991).	24
7	Graines de blé dur traité variété siméto (originale ,2020).	28
8	Expérimentation réalisée dans le phytotron (Modèle SNIJDERS LABS) (Originale, 2020).	30
9	Installation des graines de blé germées dans les conteneurs (Originale, 2020).	30
10	Schéma du dispositif en randomisation totale.	31
11	Blé dur sous stress salin pulvérisé avec de la gibbérelline comparé à celui du non salin sans et avec gibbérelline.	36
12	Aspect des plantes de blé dur (à gauche) avant stress, jaunissement et flétrissement (à droite) après stress (Original, 2020).	39
13	Teneur en proline (mMol/gMF) chez le blé dur sous différents stress abiotiques.	40
14	Teneur des sucres solubles en (mMol/gMF) chez le blé dur sous différents stress abiotiques.	41
15	Quantité de la chlorophylle totale en (mg/gMF) chez le blé dur sous les stress abiotiques.	42
16	Taux de la matière sèche en (%) chez les plantes de blé dur sous les stress abiotiques.	43
17	La teneur relative en eau en (%) chez le blé dur sous les stress abiotiques.	44
18	Droite de corrélation positive entre la chlorophylle et la TRE% chez le stress hydrique.	45
19	Droite de corrélation négative entre la proline et la TRE % chez le stress thermique de froid.	45
20	Dendrogramme de (AHC) démontrant la similarité entre les effets des différents stress abiotiques sur les plantes de blé dur.	46
21	Une ACP démontrant la relation entre les paramètres biochimiques et les différents stress étudiés.	47

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
1	Classification botanique du blé dur <i>Triticum durum</i> Desf. (Pichot, 1980).	05
2	Composition nutritionnelle moyenne du grain entier de blé (en % de la matière sèche MS) et composition en vitamines et en minéraux (en mg) (Fredot, 2005).	11
3	Paramètres phrénologiques et morpho physiologiques d'adaptation au déficit hydrique (Monneveux, 1991).	23
4	les principaux ravageurs et maladies du blé selon (Richard et all, 1985).	27
5	Caractéristiques de la variété siméto du blé dur (INA 2009 <i>in</i> kelbit, 2018).	29
6	Composition de la solution nutritive.	34
7	Les quantités des sels ajoutés dans la solution nutritive.	33
8	Les symptômes observés des stress abiotique chez les plantes de blé dur.	39
9	Effets de la gibbérelline sur les paramètres biochimiques sous stress salin.	48

Liste des abréviations

Abréviation	Synonyme
°C	Degré Celsius
ans	Année
CE	Conductivité électrique
cm	Centimètre
CNCC	Centre national de contrôle et certification des semences et plant crée
DO	Densité optique
dS/m	déci siemens par mètre
FAO	L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
g	Gramme
g/MF	Gramme par matière fraiche
GB	Gibbérelline
ha	Hectare
kg	Kilogramme
m	Mètre
m ²	Mètre carrée
MADR	Ministère de l'agriculture et du développement rural
mg	Milligramme
min	Minutes
mm	Millimètre
MS	Matière sèche
Mt	millions de tonnes
nm	Nanomètre
OAIC	l'office Algérien Interprofessionnel des Céréales
OE	Oligoéléments
Qnx	Quintaux
SAU	Superficie Agricole Utile
TRE	Teneur relative en eau
URSS	L'Union des républiques socialistes soviétiques
%	Pourcent

Introduction

Introduction

Introduction

Les céréales constituent une importante des ressources alimentaires de l'homme et de l'animale. Elles assurent 60% de cet apport et 71% de l'apport protéique (Padilla et Oberti, 2000).

La culture des céréales à paille en générale et celle du blé dur (*Triticum durum*, Desf) en particulier est confrontée, en zones semi-arides d'altitude, à diverses contraintes climatiques qui rendent le rendement en grain très peu efficace comme critère de sélection. En effet, la majeure partie des emblavures se trouve sur les hautes plaines caractérisées par une altitude assez élevée (800 à 1200 m), des hivers froids, un régime pluviométrique insuffisants et irrégulier, des gelées printanières fréquentes, et l'apparition du sirocco du fin de cycle (Laala, 2010).

En Algérie, une grande partie des terres situées dans les régions arides et semi-arides est occupée par les céréales dont les rendements restent faibles et irréguliers. La culture de blé dur, y occupe une superficie importante, plus d'un million d'hectares. Cette faiblesse de la production de blé en Algérie est souvent expliquée par l'influence des mauvaises conditions climatiques associées, notamment à la sécheresse, la température et la salinisation des sols qui se fait ressentir de manière très importante (Ouanzar, 2012).

Les contraintes environnementales sont les facteurs majeurs limitant de l'agriculture et de la productivité des plantes en plus des stress abiotiques, il existe une variété de stress abiotiques dont la salinité est considérée comme un facteur majeur limitant du développement des plantes, en réduisant la disponibilité de l'eau ce qui provoque une déshydratation ou un stress osmotique induisant la fermeture des stomates et par conséquence , la capacité biochimique de l'assimilation et l'utilisation du carbone est réduit, ceci mène a la limitation des capacité photosynthétiques affectant la croissance des plantes (chaves et *al.*, 2002).

D'après Mekhlouf et *al.* (2006), les stress hydrique et thermique (gel et hautes températures) affectent le développement de la céréale tout au long de son cycle. La sécheresse est considérée comme le facteur le plus important limitant la production des céréales. Il est à signaler que la production des céréales dépend des conditions climatiques des caractéristiques morphologiques, phénologiques et agronomiques du génotype et, en grande partie, des interactions génotypes- environnement (Slama et *al.*, 2005).

Introduction

Plusieurs stratégies ont été développées afin de diminuer les effets toxiques causés par une salinité élevée sur la croissance des plantes, y compris la génie génétique des plantes (Wang *et al.*, 2000).

Parmi ces stratégies la sélection de génotypes aux potentiels productifs acceptables et qui se caractérisent par une adaptation au milieu pour minimiser les baisses de productions lors des années difficiles (Morsli, 2010).

Le choix d'une technologie de création d'un matériel végétal tolérant aux contraintes biotique et abiotique, notamment à la sécheresse, permettrait d'étendre les aires de cultures et d'assurer une meilleure suffisance alimentaire. De nouvelles sources de tolérance à la sécheresse viendront compléter les efforts en cours pour augmenter le rendement dans des conditions limitées d'eau. L'amélioration génétique de la tolérance à la sécheresse devrait se concevoir selon une stratégie de façon à utiliser de nouvelles approches de sélection basées sur des outils non conventionnels, on a recours aux biotechnologies pour remédier aux problèmes qui surviennent (Louali, 2016).

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet des différents stress abiotiques sur la croissance du blé dur variété siméto, cultivé dans une solution nutritive en système hydroponique, il s'agit de chercher comment le blé réagit physiologiquement sous différents stress, et quel est le stress le plus néfaste pour le blé, et même de chercher es ce qu'il y'aura présence d'éventuelles corrélations entre les paramètres biochimiques au niveau de chaque type de stress.

Notre mémoire est scindé en quatre chapitres, le premier chapitre c'est une généralité sur le blé dur, le deuxième chapitre consiste les effets des stress abiotiques sur le blé dur, le troisième chapitre ; Matériel et méthodes ; et le quatrième chapitre ; Résultats et discussion.

Nous avons terminé notre étude par une conclusion et des perspectives, suivies de la liste de références bibliographiques et des annexes.

Chapitre 01 : Généralité sur le blé dur

1.1 Introduction

D'après Feldman et Sears (1981), le blé fait partie des trois grandes céréales avec le maïs et le riz. C'est la troisième espèce par importance de la récolte mondiale, et la plus consommée par l'homme. En Algérie, le blé est cultivé pour son grain, c'est une culture qui occupe de grandes surfaces. Il ya deux espèces de blé : le blé tendre et le blé dur. Ces deux espèces, se différencient par la friabilité de l'amande. L'amande du blé tendre est blanche et friable, tandis que celle du blé dur est jaune et plus dure. Au moulin, les graines de blé tendre sont broyées en farine, qui sert à la fabrication de pains, de pizzas, de viennoiseries.

En termes de production commerciale et d'alimentation humaine, cette espèce est la deuxième plus importante du genre *Triticum* après le blé tendre. Leur famille comprend 600 genres et plus de 5000 espèces (Mouellef, 2010).

1.2 Historique et origine de blé

1.2.1 Origine et domestication

L'origine géographique des blés est un des points les plus discutés, à ce sujet plusieurs théories et hypothèses ont été émises.

Les recherches effectuées depuis fort longtemps sur le centre d'origine des blés, basées sur des arguments archéologiques et phylogénétiques, permettant d'admettre que les trois groupes d'espèces du genre *Triticum* aurait trois centres d'origine distincts (Aknouche et Laib, 2017).

Selon Vavilov, cite par Moule (1980), ces groupes sont repartis comme suit :

- **Groupes des Diploïdes** : dont le centre d'origine est le foyer SYRIEN et le nord PALISTINIEN.
- **Groupes des Tétraploïdes** : ayant comme centre d'origine l'ABYSSINIE.
- **Groupes des Hexaploïdes** : dont le centre d'origine est le foyer AFGHANO-INDIEN.

Le moyen orient ou coexistent, les deux espèces parentales et où l'on a retrouvé de nombreuses forme de blé dur, serait le centre géographique. A partir de cette zone d'origine, l'espèce s'est différenciée dans trois centre : le bassin occidental, la méditerranée, le sud de l'ex URSS et le proche orient (Grignac, 1978).

1.2.2 Origine génétique

Le genre *Triticum* comporte un certain nombre d'espèces cultivées. Génétiquement, elles sont classées en plusieurs groupes :

- a) Diploïdes $2n = 14$ chromosomes (AA) (*Triticum monococcum*).
- b) Tétraploïdes $2n = 28$ chromosomes (AABB) (*Triticum durum*).
- c) Hexaploïdes $2n = 42$ chromosomes (AABBCC) (*Triticum aestivum*).

Le blé dur est un hybride issu du croisement aléatoire et naturel de l'espèce *Triticum monococcum* (porteur du génome A) (sauvage) et une herbe spontanée au blé appelée *Aegilops speltoides* (porteur du génome B), qui sont rencontrées dans la même aire géographique (Belaid, 1986).

Le croisement naturel de *Triticum monococcum* (porteur du génome A) \times *Aegilops speltoides* (porteur du génome B) (figure 1) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*Triticum turgidum ssp.dicoccoides*) qui a ensuite progressivement évolué vers *Triticum turgidum ssp.dicoccum* puis vers *Triticum durum* (blé dur cultivé) (Feillet, 2000).

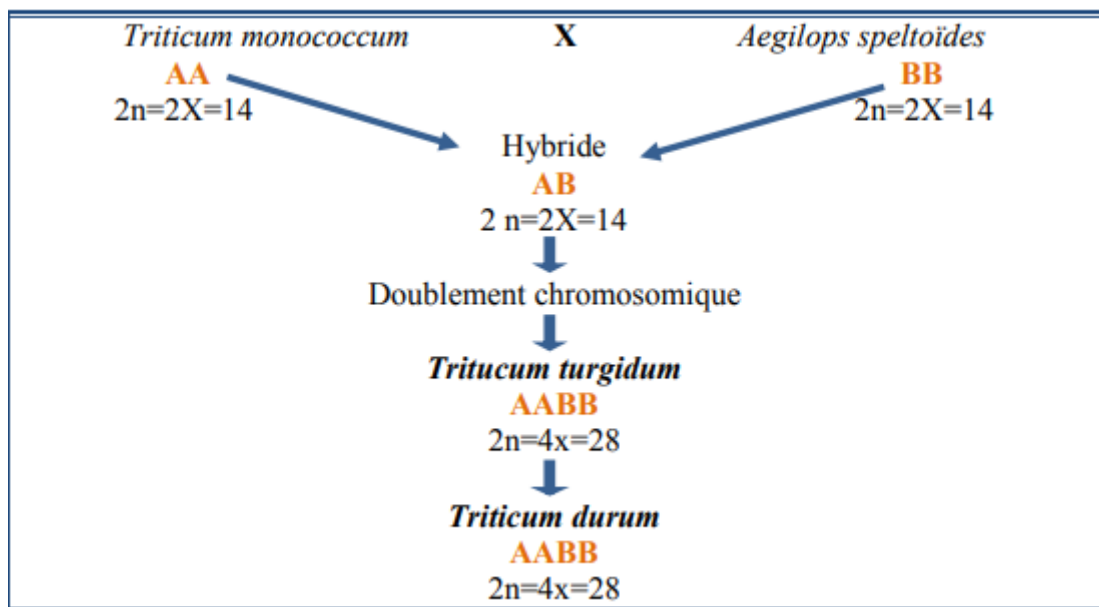


Figure 01 : Origine génétique du blé dur (Amrouche et Mesbah, 2017).

Chapitre 01 : Généralité sur le blé dur

1.3 La classification botanique

Selon Pichot (1980), la classification botanique du blé dur *Triticum durum* Desf. est résumée dans le (tableau 01) :

Tableau 01 : Classification botanique du blé dur *Triticum durum* Desf. (Pichot, 1980).

Règne	<i>Plantae</i>
Sous règne	Cormophyte
Embranchement	Spermaphytes
Sous embranchement	Angiospermes
Ordre	<i>Poales</i>
Classe	Monocotylédones
Sous ordre	Commeliniflorales
Famille	<i>Poaceae (Graminae)</i>
Genre	<i>Triticum sp</i>
Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf.

1.4 Morphologie et structure de la plante du blé

Le blé c'est une graminée de hauteur moyenne et dont le limbe des feuilles est aplati. L'inflorescence en épi terminal se compose de fleurs parfaites. Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent. Le blé dur possède une tige cylindrique (figure 02), dressée, habituellement creuse et subdivisée en entrenœuds. Certaines variétés possèdent toutefois des tiges pleines. Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale, Le nombre de brins dépend de la variété, des conditions de croissance et de la densité de plantation (Clark et *al.*, 2002).

La hauteur moyenne de la plante du blé peut atteindre jusqu'à 1.5 m selon les variétés, l'appareil végétatif comprend l'appareil aérien et l'appareil racinaire (Gate et Giban, 2003).

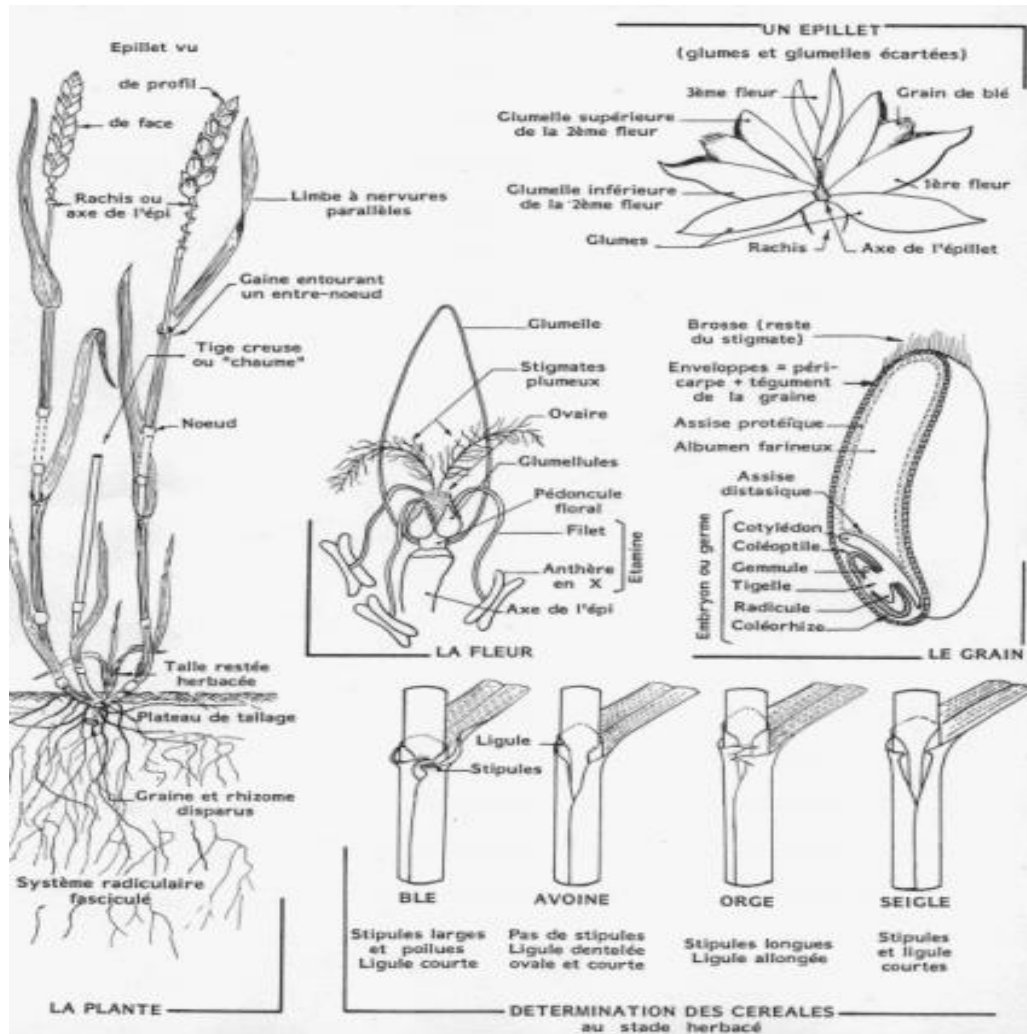


Figure 02 : Morphologie de plante de blé dur (Soltner, 1998).

1.4.1 Partie aérienne

Cette partie est composée de la tige, les feuilles et l'appareil reproducteur :

- **Tige** : La partie aérienne est constituée d'une tige principale appelée le maître brun cylindrique, lisse, plus ou moins creuse et des tiges secondaires appelées talles qui apparaissent à la base de la plante (Boulal et *al.*, 2007).
- **Feuille** : Le blé est une plante herbacée connue par ses feuilles assez longues. La feuille est composée de deux parties : une partie supérieure en forme de lame qui compose le limbe et une partie inférieure formant la gaine (Soltner, 1980).
- **Appareil reproducteur** : L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis qui porte des épillets. Ces derniers sont séparés par de courts entre nœuds. Chaque épillet est formé de deux glumes (bractées) portant de deux à cinq fleurs distinctes sur une rachéole. Chaque fleur est dépourvue de pétales, elle est entourée de deux glumelles. Elle comporte trois étamines d'une forme en X et un ovaire surmonté de

deux styles plumeux constituant les pièces femelles. Le plus souvent, le pollen est relâché avant que les étamines ne sortent de la fleur (Moule, 1971).

- **Le grain de blé :** est un fruit sec (figure 03) indéhiscence (caryopse) ovoïde, présente sur la face ventrale un sillon qui s'étend sur toute la longueur. Sa structure hétérogène est constituée d'une unique graine intimement soudée à l'enveloppe qui la contient, de la surface externe vers le centre du grain, on distingue l'enveloppe du fruit ou péricarpe, puis l'enveloppe de la graine, et enfin à l'intérieur de la graine, l'albumen et le germe qui est surmonté par une brosse mesurant entre 5 et 7 mm de long, et entre 2,5 et 3,5 mm d'épaisseur (Surget et Barron, 2005).

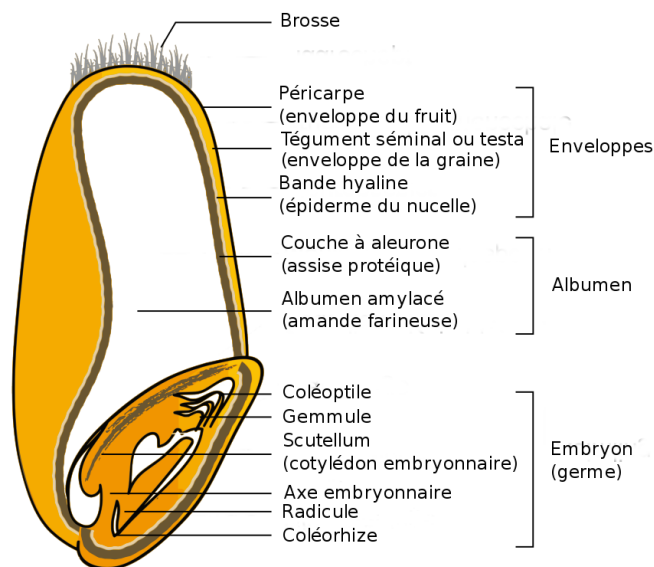


Figure 03 : Structure schématique d'un grain de blé (coupe longitudinale) (Surget et Barron, 2005).

Le germe constitue la partie essentielle de la graine permettant la reproduction de la plante, en se développant il devient à son tour une jeune plante. L'enveloppe protège le grain durant sa formation à l'intérieur (Doumandji et *al.*, 2011).

1.4.1 Partie souterraine

Cette partie est composée par deux types de racines :

- **Les racines primaires :** Un système racinaire primaire ou séminal, fonctionnel dès la germination. Il ne se forme en général que de 06 racines séminales (Monneveux, 1991).

- **Système racinaire fasciculé :** Le système racinaire secondaire appelé racines adventices est du type fasciculé, qui se forme au tallage et remplace donc progressivement le précédent. La densité racinaire est d'autant plus forte que la phase de tallage plus longue. Les racines adventices atteignent leur grande activité au stade floraison puis rentrent en sénescence (Boulal et *al.*, 2007).

1.5 Cycle de développement du blé dur

Le cycle du blé comporte deux grandes périodes : une période végétative et une période reproductrice (figure 4), la période végétative comporte les phases germination, Pré tallage et tallage. Cependant la période reproductrice comporte les phases montaison, épiaison, floraison et maturation (Boumdouha et krim, 2019).

1.5.1 Germination

La germination est l'ensemble des phénomènes par lesquels la plantule, en vie ralentie dans la graine mure, commence une vie active et se développe grâce aux réserves contenues dans cette dernière (Bill, 2007).

La germination débute lorsque la graine commence à absorber de l'eau et elle se traduit par la sortie des racines séminales et par la croissance de la coléoptile (Boulal et *al.*, 2007).

1.5.2 Levée

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

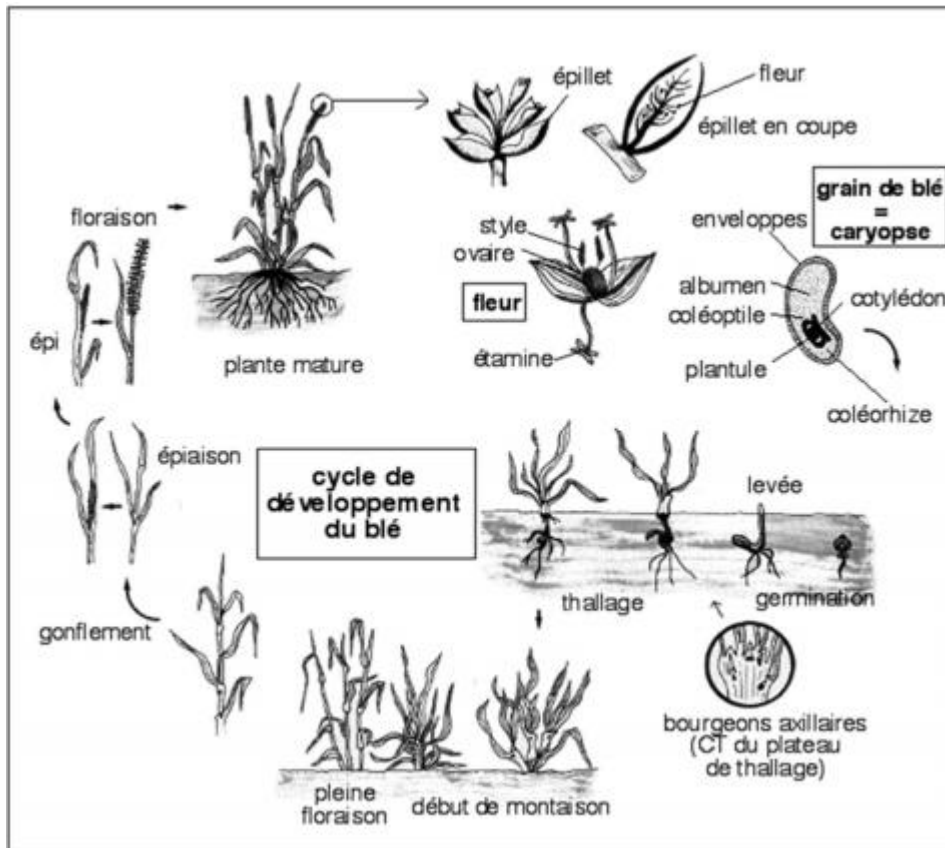


Figure 04 : Cycle de développement de blé (Henry *et al.*, 2000).

1.5.3 Tallage

Le début du tallage est marqué par l'apparition de l'extrémité de la 1^{ère} feuille de la talle latérale primaire. L'ensemble court noué, formant un plateau du tallage situé juste au niveau du sol. L'importance des talles dépend de la variété, la densité de semis, la densité des adventices et la nutrition azotée (Belaid, 1986). La fin du tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive (Gate, 1995).

1.5.4 Montaison- gonflement

D'après Gate et Giban (2003), cette phase débute à partir du stade épi 1cm par l'élongation des entres nœuds, ce stade est repérable une fois l'ébauche de l'épi du maître brin atteint 1cm du plateau du tallage. La montaison est le stade le plus critique du développement du blé. Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la dernière feuille (Boulal *et al.*, 2007).

1.5.5 Epiaison-floraison (Période reproductrice)

L'épiaison est la période allant de l'apparition des premiers épis jusqu'à la sortie complète de tous les épis hors la gaine de la dernière feuille. Après 4 à 8 jours, les épis fleurissent au même moment à l'écart de 2 ou 3 jours, une fois la fécondation est terminée le nombre de grains est fixé (Mekaoussi, 2015).

1.5.6 Remplissage du grain (Période de formation et de maturation du grain)

D'après Gate (1995), la formation du grain se fait en trois étapes essentielles :

- La première étape de la floraison au grain laiteux, le grain est verte et la teneur en eau est élevée.
- La deuxième étape, du grain laiteux à la phase grain pâteux, il y a un remplissage des cellules des enveloppes par les sucres sous forme de l'amidon. Le stade pâteux, correspond à la fin de la migration des réserves, le grain est de couleur jaune-vert.
- La troisième étape est la maturation physiologique qui marque la fin du remplissage du grain. Le grain perd son humidité pour atteindre son poids sec final, le grain durcit et sa coloration est jaune.

1.6 Importance du blé dans le monde et en Algérie

Selon Gallais et Bannierot (1992), les céréales présentent l'avantage décisif de constituer les provisions pouvant se conserver sous forme de grain de grande valeur nutritionnelle par leurs substances amylacées et leurs protéines. Elles sont de transformation aisée et de variété de cuisson, la céréaliculture occupe une part importante des surfaces labourées et leur culture joue un rôle important en matière d'environnement.

Les céréales d'hiver, en partie le blé dur, demeurent l'aliment de base des régimes alimentaires algériens et revêtent une importance stratégique dans la nutrition humaine et l'alimentation animale, de ce fait, elles occupent une place privilégiée dans l'agriculture algérienne (Boulal et *al.*, 2007).

1.6.1 Importance alimentaire

Le blé est un aliment énergétique, la matière sèche de grain de blé est de 86 – 87 %. Le grain de blé ne constitue que 13,5 % d'eau (Moule, 1971).

Chapitre 01 : Généralité sur le blé dur

Le son et le germe sont connus pour renfermer la majorité des substances Nutritionnelles ou bioactives telles que les fibres et les minéraux (notamment Fe, Mg, Se, Zn, P), des antioxydants (notamment acides phénoliques, caroténoïdes), les vitamines du groupe B et E (tableau 02) Moule (1971).

Les protéines du blé ont une teneur élevée en acide glutamique. (L'amidon est le principal polysaccharide de réserve de grain des céréales (Feillet, 2000).

Tableau 02 : Composition nutritionnelle moyenne du grain entier de blé (en % de la matière sèche MS) et composition en vitamines et en minéraux (en mg) (Fredot, 2005).

Composition nutritionnelle	Pourcentage de MS (%)
Protéines	12
Lipides	2
Glucides	61
Composition en vitamine	Poids (mg) pour 100g
<u>Vitamine :</u>	
Vitamine E	2,5
Vitamine B1	0,41
Vitamine B2	0,1
Vitamine B3	4,7
Vitamine B6	0,5
Vitamine D	0
<u>Minéraux :</u>	
Calcium	35
Cuivre	0,6
Fer	5
Magnésium	140
Sodium	3
Potassium	435
phosphore	400
Zinc	4,1

1.6.2 Production au niveau mondial

Selon Djermoun (2009), les céréales constituent une source principale de la nutrition humaine et animale grâce à leur apport énergétique élevé (plus de 60%) ainsi que leur apport protéique qui est de 75 à 80% de la ration alimentaire. Selon le premier bulletin prévisionnel 2017 de la FAO sur l'offre et la demande de céréales en 2016, la production céréalière mondiale a achevé les 2 605,8 millions de tonnes, soit 1,7 pourcent de plus que la production de 2015. Pour l'année 2017 elle devrait atteindre 2 597 millions de tonnes en volume qui représente seulement 0,3 % (9,0 millions de tonnes) de moins qu'en 2016, année record, et demeure supérieur à la moyenne enregistrée sur cinq ans (Benmakhlouf, 2018).

Selon la FAO (2018), la production mondiale de blé dur est estimée à 684 millions de tonnes annuellement sur la période 2008/2013. En 2013, la Chine était le 1er producteur mondial de blé avec 17% du total de la production devant l'Inde (13%), les Etats-Unis (8%) et la Russie (7%). Après une année record en 2014, aucun continent n'a échappé d'un recul de la production de blé en 2015. Le seuil de 700 millions de tonnes (Mt) de blé produit dans le monde est de nouveau franchi durant la campagne 2015/2016. Les approvisionnements mondiaux de blé ont resté amplement dans la campagne de commercialisation 2016/17. La production de blé est de 1,2% supérieure à celle de 2015, en 2016 elle a dépassé l'utilisation pour la quatrième saison consécutive. Par conséquent, Les stocks de blé ont augmenté et atteindre un nouveau record avec 238,5 millions de tonnes durant la campagne 2015/2016 et ce, surtout grâce à des hausses en Chine, aux Etats-Unis et en Russie. Pour la campagne 2016/17, les stocks mondiaux ont achevé 234 millions de tonnes, atteignant leur plus haut niveau depuis 2001/02. Pour la campagne 2017/18, la production décline légèrement par rapport à la campagne 2016/17 selon le premier bulletin prévisionnel 2017 de la FAO.

L'utilisation mondiale de blé est vu diminuer légèrement dans la plupart du temps et sa consommation est estimée à 730,5 millions de tonnes. Les échanges mondiaux de blé sont évalués à 165 millions de tonnes (FAO, 2018).

Les principaux exportateurs de céréales sont l'Argentine, l'Australie, le Canada, les États-Unis et l'Union européenne. En termes de production, la Chine est le 1er producteur mondial, suivi de l'Inde, de la Russie, des Etats-Unis et de la France (FAO, 2016).

1.6.3 Production au niveau national

La population algérienne est caractérisée par un mode alimentaire basé essentiellement sur la consommation des céréales sous toutes ses formes (pain, pâtes alimentaires, couscous, galettes de pain, etc.). Malgré l'amélioration des productions des céréales en général et du blé en particulier, le secteur agricole est souvent incapable de faire face à la croissance de la demande en blé. Cette croissance de demande est liée essentiellement aux changements des habitudes alimentaires et à l'élévation des niveaux de vie. Avec plus de 203 kg/personne et par an, l'agriculture algérienne est structurellement inapte à satisfaire une demande de plus en plus importante (Boussard et Chabane, 2011).

Durant les deux périodes 2000-2009 et 2010-2017, la superficie des céréales a occupé en moyenne annuelle 40% de la Superficie Agricole Utile (SAU) (MADR, 2018).

La superficieensemencée en céréales durant la décennie 2000-2009 est évaluée à 3 200 930 ha, desquelles, le blé dur et l'orge occupent la majeure partie de cette superficie avec 74% de la sole céréalière totale. Durant la période 2010-2017, cette superficie a atteint en moyenne 3 385 560 ha, en évolution de 6% par rapport à la période précédente (2000-2009) (MADR, 2018).

La production réalisée des céréales au cours de la période 2010-2017 est estimée à 41.2 Millions de quintaux en moyenne, soit un accroissement de 26% par rapport à la décennie 2000-2009 où la production a été estimée en moyenne à 32.6 Millions de quintaux. La production est constituée essentiellement du blé dur et de l'orge, qui représentent respectivement 51% et 29% de l'ensemble des productions de céréales en moyenne de 2010-2017 (MADR, 2018).

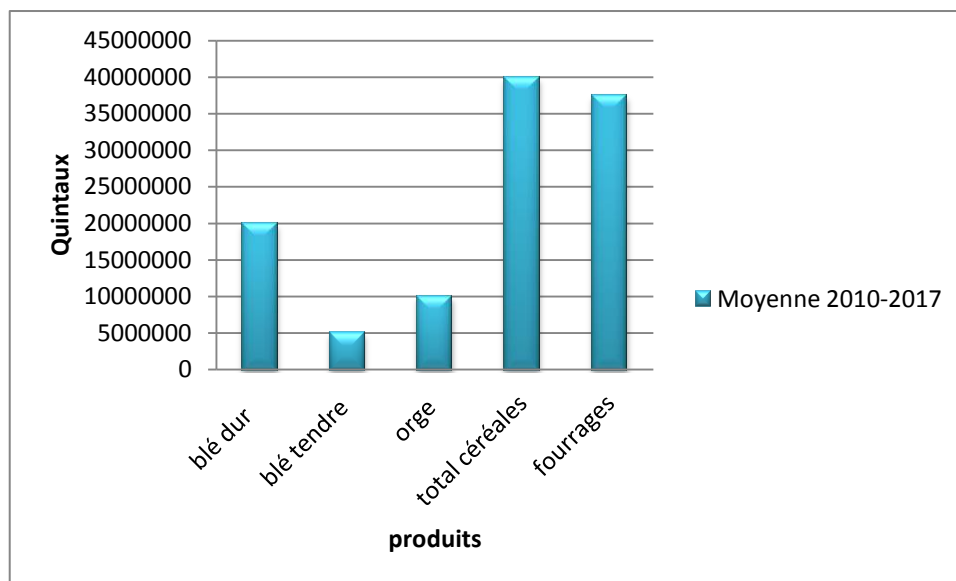


Figure 05 : Moyennes des rendements des céréales en Algérie 2010/2017 (MADR, 2018).

Parmi les autres cultures en Algérie et Selon la figure 5, le blé dur a été classé en 2^{ème} place avec une moyenne de 20, 000,000 Qnx dans les années 2010/2017, une place très importante selon le (MADR, 2018).

1.7 Exigences pédoclimatiques

1.7.1 Le sol

Le blé exige un sol bien préparé, meulé et stable, résistant à la dégradation par les pluies d'hiver pour éviter l'asphyxie de la culture et permettre une bonne nitrification au printemps. Sur une profondeur de 12 à 15cm pour les terres battantes (limoneuses en générale) ou 20 à 25 cm pour les autres terres et une richesse suffisante en colloïdes, afin d'assurer la bonne nutrition nécessaire aux bons rendements. Particulièrement un sol de texture argilo-calcaire, argilo limoneux, argilo-sableux ne présentant pas de risques d'excès d'eau pendant l'hiver. Le pH optimal se situe dans une gamme comprise entre 6 à 8 (Soltner, 1980).

1.7.2 Température

La majorité des variétés peuvent supporter un gel modéré pendant l'hiver si la plante est suffisamment développée. Par contre le blé ne supporte pas les fortes températures et les déficits hydriques en fin de cycle pendant le remplissage du grain. En effet, la température conditionne à tout moment la physiologie du blé. Une température supérieure à 0 °C (le zéro de végétation) est exigée pour la germination, cependant l'optimum de

croissance se situe entre 20 et 26 °C. Un abaissement de la température pendant l'hiver est nécessaire à certaines variétés dites d'hiver, cette exigence conditionne la montaison et la mise à fleur (Clement et Prats, 1970).

1.7.3 L'eau

L'eau joue un rôle important dans la croissance de la plante, la germination ne se réalise qu'à partir d'un degré d'imbibition d'eau de 30%. En effet, c'est durant la phase épi 1cm à la floraison que les besoins en eau sont les plus importants. La période critique en eau se situe entre 20 jours avant l'épiaison jusqu'à 30 à 35 jours après la floraison. C'est pour ça que le semis est toujours recommandé en culture pluviale (Belaid, 1986).

1.7.4 La lumière

La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé. En effet, un bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement, Une certaine durée du jour (photopériodisme) est nécessaire pour la floraison et le développement des plantes (Soltner, 1990).

Chapitre 02 :
Effets des stress abiotiques sur le
blé dur

2.1 Notion de stress

Selon Levitt (1980), le stress chez les plantes apparait avec des significations différentes en biologie, qui convergent principalement en attribuant le stress à n'importe quel facteur environnementale défavorable pour une plante.

Tsimilli-Michael et *al.* (1998), considèrent que le stress a une signification relative, avec un contrôle comme état de référence, ils considèrent le stress comme une déviation du contrôle à une contrainte.

Un stress désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé, une force qui tend à inhiber les systèmes normaux. D'autre part, les stress environnementaux nés de la fluctuation des facteurs abiotiques (sécheresse, salinité, température) affectent les conditions de croissance, le développement et le rendement des plantes (Jones et *al.*, 1989 in Madhava Rao et *al.*, 2006).

Selon Menacer (2007), le stress est un ensemble de condition qui provoque des changements de processus physiologique résultant éventuellement en dégâts dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement.

2.2 Catégories de stress

Selon Belaadi (2014), il ya deux grandes catégories de stress :

- a) **Abiotique** : provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physicochimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité.
- b) **Biotique** : imposé par les organismes (insectes, herbivores....etc.).

2.2.1 Stress abiotiques

2.2.1.1 Stress hydrique

Le stress hydrique est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi-arides, où les précipitations changent d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique, le stress hydrique a été défini comme une baisse ou un excès de la disponibilité de l'eau dans le milieu d'installation de telle culture, traduisant par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype (Boyer, 1982).

Chapitre 02 : Effets des stress abiotiques sur le blé dur

Les stress abiotiques, notamment le stress hydrique, limitent sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (Wang *et al.*, 2003).

La contrainte hydrique est le facteur ou l'ensemble des facteurs ayant pour conséquence le stress. D'un point de vue physique le stress hydrique résulte d'un abaissement du potentiel hydrique dans l'air et/ou dans le sol en dessous d'une certaine valeur, dépendant du génotype, du phénotype et des caractéristiques du milieu (type de sol, température et du vent) (Lamaze *et al.*, 1994).

Il existe de nombreuses définitions du stress hydrique. En agriculture, il est défini comme un déficit marqué et ce compte tenu des précipitations qui réduisent significativement les productions agricoles par rapport à la normale pour une région de grande étendue (Bootsma *et al.*, 1985).

2.2.1.2 Stress salin

La salinité représente une contrainte naturelle qui conditionne le développement de la production des végétaux dans des zones arides et semis arides (Vieira *et al.*, 1990).

Une brusque augmentation de la concentration en sels dans un milieu, conduit d'une part, un afflux plus élevé d'ions dans la cellule, d'autre part, à une perte d'eau par voie osmotique (Ben Hebireche, 2011).

2.2.1.3 Stress thermique

Pour effectuer sa croissance et son développement, chaque plante exige une gamme bien particulière de températures. Chaque plante possède une température optimale de croissance et de développement, Lorsque la température avoisine ses limites, la croissance diminue et au-delà, elle s'annule (Haichour, 2009).

Le stress thermique est souvent défini quand les températures sont assez hautes ou basses pendant un temps suffisant pour qu'elles endommagent irréversiblement la fonction ou le développement des plantes. Elles peuvent être endommagées de différentes manières, soit par des températures basses ou élevées de jour ou de nuit, par l'air chaud ou froid ou par les températures élevées du sol. La contrainte thermique est une fonction complexe qui varie selon l'intensité (degré de la température), la durée et les taux d'augmentation ou de diminution de la température (Oukarroum, 2007).

2.3 Les effets des stress abiotiques sur le blé dur

2.3.1 Effet du stress hydrique

2.3.1.1 Effet sur la croissance et le développement du blé

Le stress hydrique se caractérise, chez la plupart des espèces, par un ralentissement de la mise en place de nouveaux organes aériens, c'est-à-dire des feuilles et des tiges, et par une réduction de la croissance des organes préexistants (Gaufichon *et al.*, 2010).

Ces modifications résultent d'une diminution de la vitesse de division des cellules constituant les tissus végétaux. L'un des premiers effets provoqués par le déficit hydrique est une réduction de la croissance végétative. La croissance de la partie aérienne, et surtout celle des feuilles, est généralement plus sensible que celle des racines (Hopkins, 2003).

Selon Boutfirass *et al.* (1994) *in* El Mourid *et al.* (1996), le déficit hydrique constitue un important facteur limitant pour la production des cultures céréalières dans les zones arides et semi-arides, qui se caractérisent par une forte irrégularité des précipitations.

Toutefois, si le stress est sévère on peut observer aussi un arrêt total du développement foliaire. Pour les céréales, la période de sensibilité la plus élevée est celle qui va de la formation du grain de pollen (stade fin gonflement) à la fécondation. Tout déficit hydrique à ce moment affecte le nombre de grain/ épillet (Gate *et al.*, 1993).

Le stress hydrique a deux conséquences quasi simultanées sur le tallage du blé, le premier est l'arrêt du processus de tallage qui se traduit par un arrêt de la croissance des bourgeons axillaires. Une carence hydrique précoce durant la phase végétative réduit donc le nombre et la taille des talles chez le blé. La seconde est la réduction de la vitesse de croissance des talles les plus jeunes (Assem *et al.*, 2006).

2.3.1.2 Effet sur la photosynthèse

La photosynthèse est particulièrement sensible au stress hydrique. Elle peut être affectée de deux manières. D'abord la fermeture des stomates supprime normalement l'accès du chloroplaste à un apport de dioxyde de carbone d'origine atmosphérique. Ensuite, l'apparition dans les cellules de potentiels hydriques faibles intervient directement sur l'intégrité de la machinerie photosynthétique (RAO *et al.*, 1987).

La survie des plantes au manque d'eau est en partie due à la diminution de la capacité photosynthétique des feuilles, permettant le rétablissement rapide des plantes suite à une

période de stress abiotique. Sous un stress hydrique, une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur. Pour limiter les pertes en eau par évaporation et aussi l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse, cette économie en l'eau se traduit par une dilution de la chlorophylle (Bousba *et al.*, 2013).

2.3.1.3 Influence sur le rendement du blé dur

Un stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. Un stress hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aérienne, le développement des feuilles et des organes reproducteurs. Le rendement en grains chez le blé dépend fortement du nombre de grain par épi, du poids de grains par épi et du nombre d'épi par m² (Triboï, 1990).

L'effet du déficit hydrique sur ces composants et par conséquent sur le rendement, dépend du stade au cours duquel ce déficit survient. Ainsi, un déficit hydrique à la montaison se traduit par la chute du nombre d'épi par m² la régression intense des tailles et la baisse du nombre des grains par épi. À la fin de la montaison 10 à 15 jours avant l'épiaison, la sécheresse réduit le nombre de fleurs fertiles par épillet (Debaeke *et al.*, 1996).

2.3.2 Effets du stress salin

2.3.2.1 Influence sur la germination

La germination des plantes qu'elles que soient halophytes ou glycophytes est affectée par la salinité. Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique (Ismail, 1990).

a- Effet osmotique

La salinité inhibe l'absorption de l'eau, la mobilisation des réserves et leur transport vers l'embryon. Cependant il existe un seuil critique d'hydratation que l'embryon doit atteindre avant le démarrage des processus germinatifs (Ismail, 1990).

b- Effet toxique

Les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination (Rejili *et al.*, 2006).

2.3.2.2 Effet sur la croissance et le développement

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes. Chez les céréales, l'effet dépressif du sel manifeste à partir d'un seuil critique de concentration caractéristique de l'espèce ou de la variété (Bouaouina *et al.*, 2000).

La salinité du sol est l'un des principaux facteurs environnementaux qu'affectent la production agricole dans les régions arides et semi arides, tant pour l'agriculture pluviale que pour celle à irrigation de complément, En effet, les dégâts causés par le stress salin se manifestent communément par des modifications sur le plan morphologique et physiologique (Laribi *et al.*, 2016).

Les effets de la salinité se manifestent par deux actions sur la plante, la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions (Na^+ et Cl^-) dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes (Bedrane, 2019).

L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{+2} , il y' aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{+2} pour les même sites de fixation apoplasmiques. L'interaction entre les ions Na^+ et Ca^{+2} influe sur la croissance des racines. Chez le blé la concentration élevée en Na^+ diminue l'absorption de K^+ et également l'absorption de Ca^{+2} (Haoula *et al.*, 2007).

Cet effet est marqué par un retard de tallage, une diminution de la biomasse sèche, une réduction de la surface foliaire et de la longueur des racines (Ben Khaled *et al.*, 2007).

La présence d'une forte concentration en NaCl, diminue la croissance de la partie aérienne et racinaire, retarde l'émergence des nouvelles feuilles, limite l'accumulation de K^+ et Ca^{+2} dans ces organes, influe négativement sur la longueur et le nombre des racines

et même sur le poids frais des parties aériennes et racinaires, et réduit la longueur de la feuille et des coléoptiles (Mrani et *al.*, 2013).

2.3.2.3 L'effet de la salinité sur l'eau dans la plante

Une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique adapté, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire et à celui du sol, ce phénomène assure d'une part, la poursuite de l'absorption de l'eau du sol, et d'autre part, la rétention de l'eau intracellulaire et le maintien de la turgescence. Lorsque l'ajustement osmotique est insuffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules, ce qui provoque un déficit hydrique et la perte de la turgescence (Niu et *al.*, 1995).

2.3.3 Effets du stress thermique

Le froid constitue l'un des facteurs limitant la production du blé dur. Il a été démontré qu'une seule journée avec une température minimale inférieure à -4 °C entre le stade épi à 1 cm et un nœud pénalise le nombre de grains par épi (Gate, 1995).

Les gelées printanières, dans les hautes plaines et même dans les plaines d'intérieurs à basse altitude causent des pertes importantes par gels des épis au stade floraison. Les hautes températures sont aussi parmi les facteurs intervenant dans la limitation du rendement. En effet, si une hausse de température survient au stade remplissage du grain, elle peut faire chuter le rendement de 50 % par l'échaudage (Chaker et Brinis, 2004).

L'effet des hautes températures peut modifier, non seulement le poids final de grain, aussi le nombre de grains par épi et par unité de surface (Chaker et Brinis, 2004).

Pendant la période de tallage herbacé, des températures assez élevées, de l'ordre de 15-20°C, peuvent exercer un rôle favorable en permettant à la plante de produire un nombre de talles suffisants. En revanche pendant la phase de montaison, l'occurrence plus fréquente de températures élevées a une incidence défavorable sur la croissance des tiges (Gate, 1995).

Le blé dur est cultivé dans une large gamme d'environnements. Il a une adaptation la plus large, cette adaptation est largement due, dans une large mesure, à la tolérance au

froid, c'est-à-dire la capacité à supporter des températures bien inférieures à 4°C, considérée comme la température minimale pour la croissance (Laala, 2010).

2.4 Mécanismes d'adaptation du blé aux stress abiotiques

2.4.1 Mécanismes d'adaptation au stress hydrique

Selon Levitt (1980), l'adaptation des végétaux au déficit hydrique obéit à 3 formes distinctes l'esquive, l'évitement et la tolérance :

La tolérance du stress chez les plantes sauvages est souvent définie comme la survie au stress, chez les plantes cultivées, elle est plus liée à la productivité (Levitt, 1980).

La tolérance du stress comme la différence entre les rendements obtenus sous stress et en absence du stress. Elle est aussi définie comme la baisse de rendement extériorisé par un génotype sensible au stress considéré. La tolérance, c'est aussi le rendement relatif d'un génotype comparé au rendement d'autres génotypes avec lesquels il est testé (Sabaghina et *al.*, 2006).

2.4.1.1 La stratégie d'esquive

Cette stratégie consiste à éviter de subir le déficit hydrique en effectuant le cycle de développement pendant des périodes pluvieuses. On réduit alors le risque de perte de rendement, en échange d'une réduction du rendement maximum atteignable (Jean-Pierre et *al.*, 2006).

Le décalage du cycle cultural depuis des périodes à forte demande climatique vers des périodes à plus faible risque est la stratégie des cultures d'hiver, qui réalisent leur cycle sur une période à faible risque de déficit hydrique et compensent une croissance à une saison où le rayonnement incident est réduit par une durée plus longue du cycle (Folkert et *al.*, 2001).

2.4.1.2 La stratégie d'évitement

Cette stratégie consiste à empêcher que la plante soumise à des conditions hydriques défavorables ne subisse un stress hydrique trop important. Ces adaptations réduisent le risque de perte de rendement, mais ont le plus souvent un coût en termes de rendement maximum. Les mécanismes d'évitement sont de type morphologique et physiologique (Jean-Pierre et *al.*, 2006).

2.4.1.3 Tolérance

Selon Boyer (1976), la tolérance du stress est définie comme la capacité de la plante à croître sous stress. La translocation est mise en œuvre, par la plante stressée, dès que l'activité photosynthétique est inhibée par le stress. Ce mécanisme est rapporté, dans plusieurs recherches, comme étant la principale source de remplissage de la graine, sous stress sévère de fin de cycle (Bahlouli et *al.*, 2005).

Dans le tableau (03), Monneveux (1991), résume les paramètres phénologiques, morphologiques, et physiologiques d'adaptation au déficit hydrique.

Tableau 03 : Paramètres phénologiques et morphologiques, et physiologiques d'adaptation au déficit hydrique (Monneveux, 1991).

Paramètres d'adaptation	Exemples
Paramètres phénologiques	Précocité.
Paramètres morphologiques (macromorphologiques et morphologiques)	<ul style="list-style-type: none"> - extension du système racinaire - port et surface des feuilles - taille du chaume - longueur des barbes - enroulement des feuilles - densité du trichome - glaucescence et couleur des familles - présence de cires - densité et taille des stomates - compaction du mésophylle - épaisseur de la cuticule - nombre et diamètre des vaisseaux au xylème racinaire
Paramètres physiologiques	<ul style="list-style-type: none"> - effets stomatiques et non stomatiques du déficit hydrique sur la photosynthèse - réduction de la transpiration par fermeture des stomates - maintien d'un potentiel hydrique élevé - osmorégulation (accumulation d'ions minéraux, de proline, de sucres solubles)

Monneveux (1991), a noté la fermeture des stomates sous stress hydrique, la figure (06) présenté le mécanisme d'action des cellules de garde face au déficit hydrique.

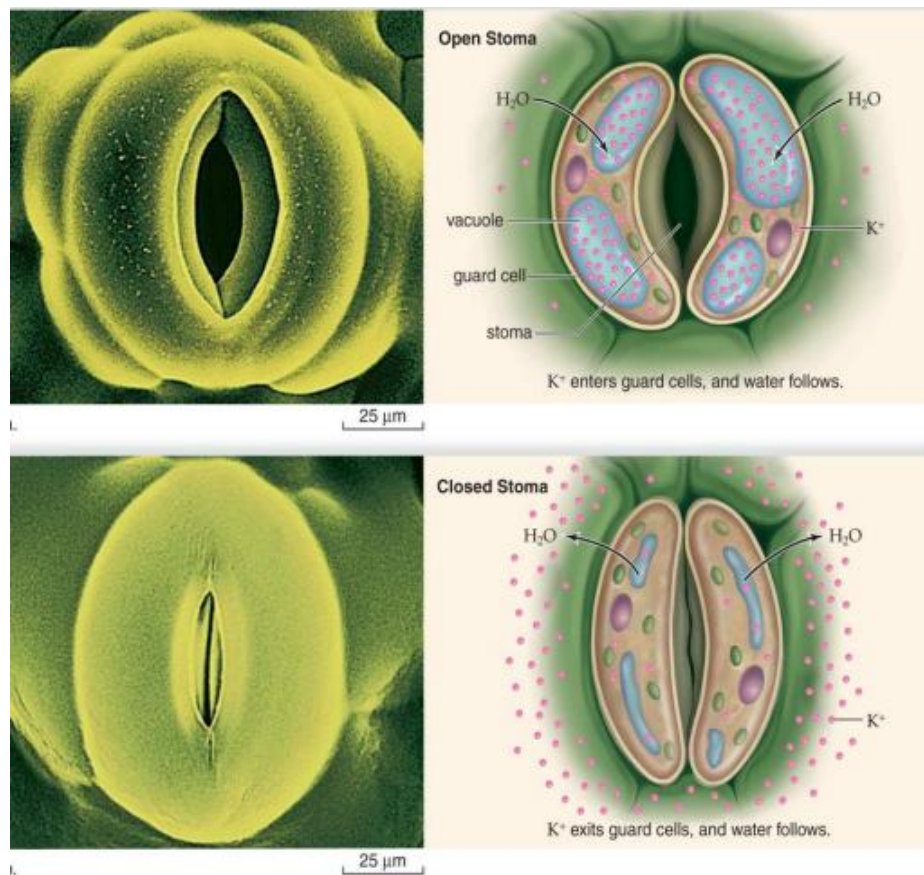


Figure 06 : Mécanismes d'action des cellules de garde face au déficit hydrique (Monneveux, 1991).

2.4.2 Mécanismes d'adaptation au stress salin chez le blé

2.4.2.1 La compartimentation vacuolaire

Celle-ci consiste à évacuer du cytoplasme les ions Na^+ en excès vers la vacuole afin d'éviter leur effet toxique et inhibiteur à l'encontre des processus enzymatique (Flowers et *al.*, 1977).

Grâce à ce processus de compartimentation du sodium au sein de la vacuole, la cellule parvient à maintenir une faible concentration de sodium dans le cytoplasme minimisant ainsi son effet toxique, et d'autre part, l'augmentation concomitante de la concentration de sodium dans la vacuole va engendrer une forte pression osmotique qui va favoriser l'absorption d'eau et donc améliorer la turgescence des cellules (Glenn et *al.*, 1999).

La compartimentation du NaCl dans les vacuoles représente le mécanisme principal de détoxification du sel chez les halophytes, tandis que les glycophytes ont recours aux

mécanismes d'exclusion du sodium des cellules (au niveau de la membrane plasmique) des parties aériennes vers les racines (Munns, 2008).

2.4.2.2 L'Exclusion

La plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne de cellule de la racine. Cependant, cette barrière peut être interrompue, en particulier lors de l'émergence des ramifications de la racine, d'autres mécanismes limitent le passage de sel des racines vers les feuilles mais les gènes qui gouvernent sont encore largement inconnus (Berthomieu et *al.*, 2003).

2.4.2.3 L'inclusion

La plante capte le sel, qui parvient aux feuilles, au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de pompe moléculaire. Les vacuoles sont des compartiments fermés au sein de la cellule, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (Berthomieu et *al.*, 2003).

2.4.3 Mécanismes d'adaptation au stress thermique chez le blé

Selon Keith et Yash (2010), étant donné que les plantes sont immobiles, elles doivent s'adapter aux conditions dominantes du sol et de la météo. En réalité, les plantes sont incapables d'adapter la température de leurs tissus. Réciproquement, ces dernières ont mis au point plusieurs mécanismes qui leur permettent de tolérer de plus hautes températures, Parmi les mécanismes de tolérance à la chaleur, les mécanismes citées ci dessous :

- a- **La transpiration** : un mécanisme simple et efficace qui met à profit l'énergie d'évaporation de l'eau pour refroidir les feuilles.
- b- **Le métabolisme C4** : Avec l'élévation de la température, la solubilité du CO₂ diminue plus vite que celle de l'O₂. Le « gaspillage » énergétique que représente l'activité oxygénase de la Rubisco est accentué. Les mécanismes de concentration du CO₂ dans les plantes en C4 (blé) permettent d'éviter cette contrainte (Levitt, 1980).
- c- **La modulation des proportions en acides gras membranaires saturés/insaturés** : en particulier dans les membranes chloroplastiques, passe parmi les mécanismes majeurs d'acclimatation et d'adaptation aux températures

extrêmes. Une forte proportion d'acides gras saturés dans les lipides membranaires aura tendance à apporter de la stabilité sous une contrainte chaleur (Amrouche et *al.*, 2017).

2.5 Accumulation des osmolytes face aux stress abiotiques

Afin de se protéger contre un stress abiotique en conditions stressantes, les plantes synthétisent en grande quantité des solutés compatibles. Il s'agit de molécules hautement solubles, de faible poids moléculaire et non toxique, ils sont sans charge et tendent à être neutres au pH physiologique (Farooq et *al.*, 2009). On distingue deux principaux osmolytes :

2.5.1 La proline

C'est un acide aminé qui peut s'accumuler sous l'action d'un stress hydrique, salin ou thermique (Paquin, 1977).

Selon Levit (1980), L'accumulation de proline chez différentes variétés de blé au stade juvénile est corrélée positivement avec le degré de tolérance au déficit hydrique évalué en plein champ, elle intervient comme une réaction de la plante. L'accumulation de proline est l'une des manifestations les plus constatées en vue du stress hydrique.

Elle résulterait d'une activité intense du métabolisme de la plante suite à un stress, lequel pourrait avoir lieu à n'importe quel stade. Elle donne lieu à l'accumulation d'autres acides aminés comme l'Asparagine, la Glutamine, la Serine, la Glycine. La concentration en proline suite à une sécheresse peut atteindre jusqu'à 100 fois celle que l'on trouve dans les tissus en turgescence (Morsli, 2010).

2.5.2 L'Accumulation des sucres solubles

Les sucres sont considérés par plusieurs auteurs comme des bons osmorégulateurs, qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse, Les sucres sont qualifiés d'osmolytes compatibles. Les osmolytes compatibles s'accumulent principalement dans le cystol (Slama et *al.*, 2005).

Un osmolyte compatible est une molécule qui reste exclue de la surface d'une protéine et de sa sphère d'hydratation proche, qui tend à stabiliser sa structure spatiale, elles protègent les membranes contre la déshydratation. Généralement on pense que l'accumulation des sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse des réserves en

Chapitre 02 : Effets des stress abiotiques sur le blé dur

particulier l'amidon mais aussi une modification du métabolisme carboné (Lepoivre et *al.*, 1995).

2.6 Les stress Biotiques

Les principaux stress biotiques chez le blé dur, causés par les agents pathogènes et des adventices sont présentés dans le tableau (04) :

Tableau 04 : Les principaux ravageurs et maladies du blé selon (Richard et *al.*, 1985).

Stade végétatif	Maladies cryptogamiques	Ravageurs
Semis levée	Fonte de semis : Fusariose	Cicadelle des céréales et plusieurs espèces
Levée tallage	Maladies du pied : Rhizoctone	Les Pucerons au printemps
Montaison	Rouilles Piétin-verse Oïdium	Tordeuse des céréales
Epiaison	Septoriose Le Charbons	Puceron des épis les Oiseaux Et plusieurs espèces

Chapitre 03 :

Matériel et méthodes

3.1 Objectifs de l'expérience

Avant de réaliser notre expérience, nous avons tracé les objectifs suivants :

- Etudier la réaction physiologique du blé dur sous différents types de stress.
- Rechercher d'éventuelles corrélations entre les paramètres biochimiques du blé dur sous différents stress.
- Voir le comportement du blé stressé après l'application d'une phytohormone Gibbérelline.

3.2 Matériel végétal

Pour connaître la réaction des plantes de blé dur aux différents stress abiotiques, nous avons utilisé la variété Siméto de la catégorie semence de la première reproduction (R1), certifiée par le CNCC (figure 07), traitée par des fongicides et collectée par l'office Algérien Interprofessionnel des Céréales (OAIC) de Laghouat en année 2019.



Figure 07 : Graines de blé dur traité variété siméto (originale ,2020).

Cette semence a été produite par des producteurs de semences des régions sud comme Mnea et Laghouat, Cette variété est très cultivée dans ces régions pour leurs résistances à la sécheresse selon les déclarations des responsables de OAIC de Laghouat, Le tableau (05) représente les caractéristiques de cette variété.

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

Tableau 05 : Caractéristiques de la variété siméto du blé dur (INA 2009 *in* kelbit, 2018).

Le nom scientifique de la variété	<i>Triticum durum</i> Desf.
Origine	Introduite d'Italie
Caractéristiques morphologiques	Compacité de l'épi : demi-lâche Couleur de l'épi : blanc Taille de plante à la maturité : 90-100cm
Caractéristiques culturales	Cycle végétative : semi-précoce Tallage : fort
Adaptation aux facteurs biotiques et abiotiques	Sensible à la rouille brune, la fusariose et la septoriose Résistante à oïdium Résistante au froid et la sécheresse
Technologie	PMG : 48 g, Mitadinage et moucheture : bonne résistance

3.3 Conditions expérimentales

3.3.1 Lieu de l'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée dans le laboratoire de département d'agronomie de l'université de Laghouat, et a durée 4 mois (décembre 2019 – Mars 2020), du stade levée au stade fin tallage, sous des conditions contrôlées en utilisant une chambre de culture, nous avons fixée la température a 20°C et la durée de la lumière 16/8h, le phytotron utilisé est celui du modèle SNIJDERS LABS, (figure 08). Une partie supplémentaire de l'expérience sur la gibbérelline en phase montaison a été réalisé sous serre.

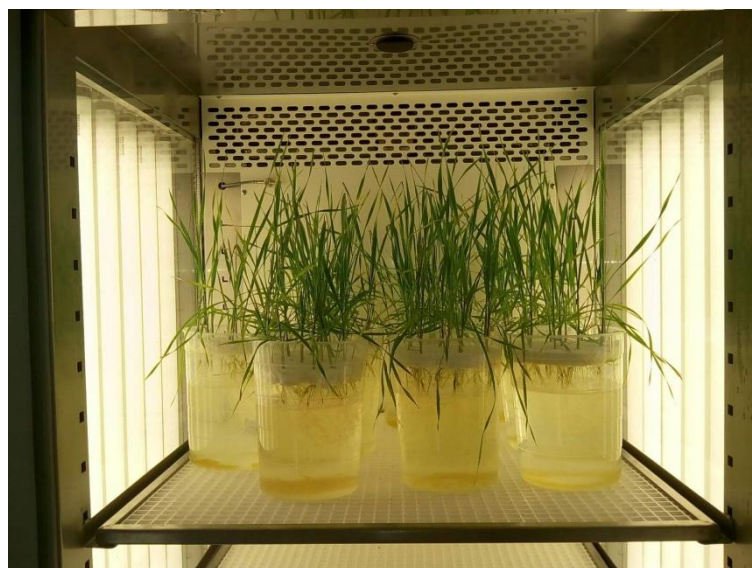


Figure 08 : Expérimentation réalisée dans un phytotron (Modèle SNIJDERS LABS) (Originale, 2020).

3.3.2 Conduite de l'essai

L'essai a été conduit en hydroponie, dans des conteneurs en plastiques transparents, de capacité de 2 litres, remplis par une solution nutritive (voir la page 32). En dessus de chaque conteneur, une couche de polyester désinfectée par l'eau de javel à 14 % (hypochlorure de sodium) a été placée et perforée pour faciliter la fixation des graines de blé dur et des plantes durant tout l'essai (figure 09).



Figure 09 : Installation des graines de blé germées dans les conteneurs (Originale, 2020).

3.3.3 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé dans cet essai est une randomisation total (figure 10) à un facteur étudié (types de stress) à 5 niveaux, avec l'application de 2 répétitions pour

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

chaque niveaux, chaque unité expérimentale (répétition) comprend 10 plantes, nous avons utilisée 10 boîtes au totale, Soit 100 plantes de blé à tester.

Les niveaux de stress ont été mentionnés par des traitements (T), soit :

T1R1 : témoin

T2R1 : stress hydrique

T3R1 : stress salin

T4R1: stress thermique (chaleur)

T5R1 : stress thermique (froid)

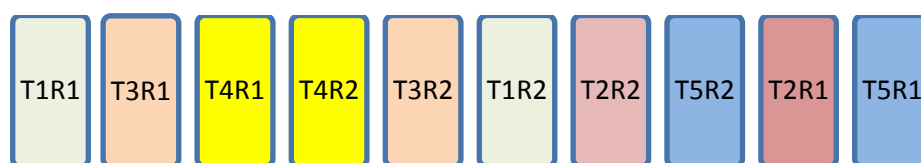


Figure 10 : Schéma du dispositif expérimental en randomisation totale.

Légendes : T1 : témoin, aucun stress ; T2 : stress hydrique, T3 : stress salin ; T4 : stress thermique (chaleur) ; T5 : stress thermique (froid) ; R1 : répétition 1 ; R2 : répétitions 2.

3.3.4 Préparation du semis

3.3.4.1 Pré germination

Pour faciliter la fixation des plantes sur la couche de polyester, nous avons fait une pré germination des graines dans des boites de Pétrie, chaque boite a été tapissée par deux couches de papier absorbant humide contenant 20 graines de blé, Les boites couvertes ont été mises dans une étuve à une température de 25°C, la germination a été suivi pendant 3 jours (jusqu'à ce que tous les graines ont été germées).

3.3.4.2 Repiquage des germes

Après trois jours de germination, Nous avons fait un repiquage des jeunes germes de blé sains, de taille environ 12 cm à 15 cm au stade de la première feuille, à raison de 10 germes par boite. Nous avons fait émerger les coléoptiles à travers les couches en polyester, ces derniers ont fixé les plants de blé de façon à faire baigner les racines dans la solution nutritive, et la partie aérienne exposée à l'air (fig. 09), ces couches ont été

adoptées comme couvercles aux boîtes, en fin un trou d'aération a été aussi réalisé sur le couvercle.

3.3.5 Préparation de la solution nutritive

Ce présent travail s'est basé essentiellement sur une culture de plantes hors sol, cette culture dite hydroponique, consiste à émerger la partie racinaire de la plante dans un milieu riche et équilibré en éléments nutritifs, ce mode de culture, a été choisi car il permet : un meilleur contrôle et une meilleure homogénéisation de l'apport minéral, L'obtention de racines saines, indemne de toute perturbation pouvant interférer avec la réponse propre des plantes, et permet aussi d'éviter les contraintes du sol, ce qui permet une croissance rapide et un bon développement des plantes dans des conditions totalement contrôlées, il s'agit de mieux gérer les stress étudiés.

Pour la bonne gestion de la solution nutritive, nous avons préparée des solutions mères concentrées en macro et oligoéléments ainsi que celle en fer d'un volume de 1 litre, pour faciliter la préparation de la solution fille et éviter de peser les engrais à chaque fois. Nous avons préparé 20 litres de solution fille renouvelable riche et équilibrée en nutriments essentiels à la plante. Enfin chaque boîte a été remplie de 1.5 litre de cette solution fille.

La composition chimique de ce milieu de base est donnée dans le tableau (06) selon la formulation standards de Coic et Lessaint (1983), que nous avons modifié en fonction de la composition de l'eau d'irrigation disponible dans le laboratoire à pH =7.8 et à CE= 0.96 ms/cm à 25 °C et aussi en fonction des engrais existants.

Pour faciliter les prélèvements à chaque préparation et éviter d'éventuelles précipitations entre produits, nous avons préparé 3 solutions mères concentrées (A, B, C), afin de prélever à chaque fois des volumes pour préparer notre solution fille (Tableau 06).

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

Tableau 06 : Composition de la solution nutritive utilisée.

solution mère	volume d'eau (l)	Elément	quantité (g)	volume de solution A, B, C à prélever pour 100 litre	volume d'eau ajouté (l)
A (Macroéléments)	5	NPK+OE (12-12-36)	425	1 L	100
		MgSO ₄	200		
		KNO ₃	175		
B	5	CaNO ₃	425	1 L	
		EDTA-Fe	17.5		
C (oligoéléments)	1	Molybdate d'ammonium	0.5	10 ml	
		Acide borique	15		
		Sulfate magnésium	20		
		Sulfate de cuivre	2.5		
		Sulfate de zinc	10		

Pour éliminer les algues qui peuvent apparaître dans le milieu, assurer une propreté totale des boîtes et maintenir une CE convenable du milieu nutritive, nous avons procédé à changer la solution chaque 15 jour.

3.3.5.1 Control de la conductivité électrique et le pH

La conductivité électrique indique la concentration de la solution nutritive, telle que mesurée par un conductivité-mètre électrique. L'unité de mesure de la CE est le dS/m. Toutefois, les valeurs de la CE pour les systèmes hydroponiques sont de 1,5 à 2,5 dS m⁻¹. Une CE supérieure ou inférieure empêche l'absorption des nutriments en augmentant la pression osmotique aussi affecte la santé des plantes et le rendement si elle est élevée nous avons dilué la solution par des apports en eau.

Le pH joue un rôle prépondérant sur l'absorption des nutriments par la plante, car il permet d'harmoniser les échanges électriques entre les racines et l'environnement dans lequel elles se développent, A l'aide d'un pH mètre, nous avons contrôlé le pH de la solution fille en l'abaissant à une valeur de 5.8 par l'ajout de 0.6 ml/l de HNO₃.

3.3.6 Description des stress abiotiques étudiés

Après la croissance et le développement des plantes de blé dur, jusqu'au stade tallage, Nous avons exposée les plantes aux différents stress abiotiques suivants :

3.3.6.1 Stress hydrique

Nous avons vidé la solution nutritive des boites (T2R1) et (T2R2), ces dernières ont été laissées sous un stress de sécheresse jusqu'à l'observation des symptômes de déshydratation, nous avons fait nos mesures de paramètres physiologiques.

3.3.6.2 Stress salin

Nous avons ajouté deux gramme (2g) de NaCl chaque jour dans la solution nutritive des boites (T3R1) et (T3R2), afin d'éviter un choc physiologique et ce jusqu'à observer des symptômes de stress et selon les résultats de Kelbit (2018), qui a trouvé que la variété siméto peut tolérer 6g/l de NaCl, les quantités ajoutées ont suivis l'ordre présenté dans le (tableau 07).

Tableau 07 : Les périodes et les quantités des sels ajoutés dans la solution nutritive.

03/02/2020	2 gramme
04/02/2020	4 gramme
05/02/2020	6 gramme
06/02/2020	8 gramme

Nous avons constaté l'apparition des symptômes de stress salin qui ont commencé a partir de 8g/l de NaCl dans la solution nutritive, par ailleurs la quantité de 4 et 6 gramme de NaCl, a favorisée la croissance du blé ce qui a été conforme aux résultats de (kelbit, 2018).

3.3.6.3 Stress thermique

Nous avons abaissé la température du phytotron à 5°C, pour exposer les plants des deux boîtes (T5R1) et (T5R2) à un stress thermique en froid jusqu'à l'apparition de symptômes de stress, les plants sont ainsi mis pour analyse au laboratoire, ensuite nous avons mis les boîtes (T4R1) et (T4R2) dans le phytotron à 40°C, pour déclencher un stress de chaleur, donc nous avons attendu l'apparition des symptômes de chaque stress pour faire le dosage des paramètres biochimiques (proline, sucre solubles, et chlorophylle).

3.3.6.4 Sans stress

Nous avons gardé deux boîtes (T1R1) et (T1R2) comme un témoin, les plantes de ces boîtes n'ont subi aucun type de stress.

3.3.7 Essai du comportement du blé sous Stress salin avec l'utilisation de la gibbérelline

Nous avons réalisé un autre essai sur les plants en supplément après les analyses biochimiques effectuées sur les différents stress étudiés. Nous avons choisi de pulvériser une hormone la gibbérelline sur les plants stressés par le sel et de les comparer avec un témoin sans stress et un témoin sans stress pulvérisé avec de la gibbérelline.

Nous avons pesé 0.35g de gibbérelline poudre à l'aide d'une balance de précision, cette quantité de phytohormone a été diluée dans un litre d'eau distillée puis nous avons mis le mélange dans un pulvérisateur, pour pulvériser les plantes de blé dur au stade de montaison, et ce à raison de 3 fois par semaine :

- Les plants en surplus de la boîte stressée par 10 grammes de NaCl ont été pulvérisés par la gibbérelline (GA3).
- Les plants en surplus de la boîte du témoin (R1) non stressés ont été pulvérisés par la gibbérelline (GA3).
- Les plants en surplus de la 2^{ème} répétition du témoin non stressés ont été laissés sans application de la gibbérelline.

L'essai a duré 10 jours, dans la figure 10 nous représentons l'état des plants de blé dans cette phase.



Figure 11 : Blé dur sous stress salin pulvérisé avec de la gibbérelline comparé à celui du non salin sans et avec gibbérelline.

3.4 Paramètres physiologiques et biochimiques mesurés

Nous avons fait des coupes de la partie aérienne, pesé leur poids frais et la matière sèche, afin de calculer la teneur en eau de chaque plants afin de la relier avec la teneur en proline, en sucres solubles et en chlorophylle.

3.4.1 Teneur en eau (%) et taux de la matière sèche (%)

Après le prélèvement d'échantillons pour faire le dosage des paramètres biochimiques nous avons pesé les feuilles et les tiges restantes de chaque plante, pour avoir le poids frais en (g).

A l'aide d'une balance (avec une précision de 0,01 g), nous avons mesuré le poids frais de chaque plant, la partie aérienne séparée de la partie racinaire, la partie aérienne a été placée dans une étuve à 70°C et pesé après 48 heures, nous avons déterminé ainsi le poids sec. La teneur en eau des plants de blé dur a été déterminée par la méthode décrite par Garnier et Laurent (1994) :

Teneur relative en eau (%) : $TRE (\%) = [(Poids\ frais - Poids\ sec) / Poids\ frais\ de\ turgescence] \times 100$.

Notant que le Taux de matière sèche a été ainsi déduit par cette formule : $MS (\%) = 100 - TRE (\%)$.

3.4.2 Dosage de Proline (mMol/ gMF)

La méthode utilisée est celle de Troll et lindsay (1955), Simplifiée et mise au point par Dreir et Goring (1974), pour le dosage de 100 mg de matière fraîche pesée par un balance de précision et mettre dans des tubes a essai contenant 2 ml de méthanol à (40%), l'ensemble est chauffée à 85°C dans un bain marie pendant 60 min après le refroidissement nous avons ajouté 1 ml de l'acide acétique (CH_3COOH) et 25 mg de ninhydrine ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$) et 1 ml de mélange contentant :

{ 120 ml d'eau distillé
300 ml d'acide acétique
80 ml d'acide ortho phosphorique (H_3PO_4)

La solution a été exposée à ébullition pendant 30 min à 100°C, la couleur devient rouge après refroidissement, nous avons ajouté 5 ml de toluène (C_7H_8) dans la solution, les deux phases ont été séparées en 2 phases :

- Phase inférieure transparente et sans proline
- Phase supérieure rouge contentant de la proline

Nous avons passé a l'agitation à laide d'un agitateur vortex pour obtenir une couleur homogène, la solution reposée 5 min puis la phase supérieur est récupérée dans des nouveaux tubes est déshydraté par l'ajout de 0.005g de sulfate de sodium (Na_2SO_4) pour éliminer l'eau qu'elle contient, à l'aide d'un spectrophotomètre nous avons déterminé la densité optique sur une longueur d'onde de 528 nm, les valeurs obtenues sont référée en taux de proline par le biais d'une « courbe étalon » établie a partir d'une série de solution de concentration de 1g/l de proline, cette courbe est utilisée pour déterminer les concentrations de proline dans les feuilles des plantes.

3.4.3 Dosage des sucres totaux (mMol/gMF)

Les sucres totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol Dubois et *al.* (1956), elle consiste a prendre 100 mg de matière fraîche dans des tubes à essais contenant 3 ml de l'éthanol (80%), l'ensemble est reposé a l'obscurité pendant 48h puis chauffé à 80°C pour faire évaporer l'alcool, 20 ml d'eau distillée est ajoutée dans les tubes, nous avons prélève 1 ml de solution à analyser dans des autres tubes à essais puis nous avons ajouté 1 ml de phénol à (5%) et 5 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) à 96% avec le prudence de ne pas le verser dans

les parois du tube, la couleur de solution devient jaune. Passe à l'agitation sur vortex pour homogénéiser la couleur de solution, les tubes ont été mis au repos pendant 10 min puis nous les avons mis dans le bain marie pendant (10-20) min à 30°C, les tubes refroidis pendant 10 min puis déterminer la densité optique à l'aide d'un spectrophotomètre sur une longueur d'onde de 485nm. Les valeurs obtenues sont rapportés sur un courbe étalon des sucres solubles établis à partir d'une série de solution de concentration de 0.01g/l de glucose pour connaître la concentration des sucres dans les feuilles des plantes.

3.4.4 Dosage de la chlorophylle (mg/gMF)

Le dosage de la chlorophylle a été déterminé par la méthode de Mckinney (1941), elle consiste à broyer 100 mg de matière fraîche dans des mortiers contient 5 ml d'acétone à 80% et filtrée par un entonnoir et papier filtre dans des tubes à essais, mesurer l'absorbance au spectrophotomètre sur deux longueurs d'ondes de 663nm et 645nm. Les concentrations en chlorophylle sont déterminées par la formule suivante :

$$\text{Chlorophylle totale (mg/gMF)} = 20.2 * \text{DO (645nm)} + 8.02 * \text{DO (663nm)}$$

3.5 Analyses statistiques

Nous avons traité les données enregistrées avec le logiciel minitab 17, nous avons utilisé le test ANOVA à un seul facteur étudié (effet de stress), au seuil de 5% pour faire une comparaison entre les moyennes, le test Tukey a été réalisé pour déterminer les groupements statistiques. Et puisque les répétitions sont inférieures à 30, Nous avons testé la normalité avec le test non paramétrique de Shapiro-Wilk.

Nous avons aussi utilisé le logiciel XLSTAT (Premium 2016.02.28451), pour rechercher des corrélations entre les paramètres étudiés, cette dernière a été réalisée avec le test de corrélation de Pearson. Aussi nous avons réalisé une ACP et une (CAH), pour classer les différents types de stress et rechercher le paramètre qui conditionne le plus cette classification.

Chapitre 04 :

Résultats et discussion

4.1. Résultats

4.1.1 Aspect général des plantes du blé

Après 4 mois de culture, nous avons constaté qu'il existait un effet facteur sur les plantes du blé, soumis à différents stress (salinité, froid, sécheresse et chaleur) comparé à ceux du témoin sans stress. Nous avons observé que la variété Siméto résistait à certains types de stress et a supporté mal les autres. Dans la figure (12) est représenté l'aspect des plantes de blé avant et après stress, et avant de réaliser les différentes analyses au laboratoire.

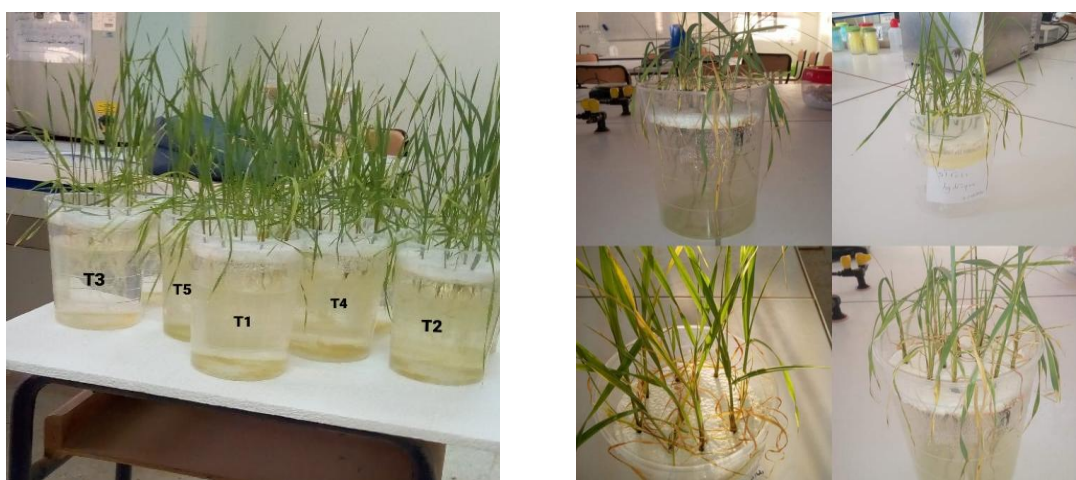


Figure 12 : Aspect des plantes de blé dur (à gauche) avant stress, (à droite) après stress (Original, 2020).

Nous avons observé les symptômes suivants au niveau de chaque stress décrits dans le tableau 08 :

Tableau 08 : Les symptômes observés chez les plantes de blé dur sous stress abiotiques.

Stress	Durée	Symptômes
Salin	8 jours	Jaunissement léger et une sénescence des feuilles
Hydrique	2 jours	Flétrissement des feuilles
Thermique de froid	5 jours	Enroulement des feuilles et arrêt de croissance
Thermique de chaleur	3 jours	Brulures de l'extrémité des feuilles et un jaunissement
Salin avec la gibbérelline	8 jours	Un jaunissement des feuilles

4.1.2 Paramètres biochimiques et la teneur en eau des feuilles du blé dur

4.1.2.1 Quantité de la proline (mMol/gMF)

Les résultats de la teneur en proline contenu dans les feuilles végétales, est présentée dans la figure 13 sous forme d'histogrammes.

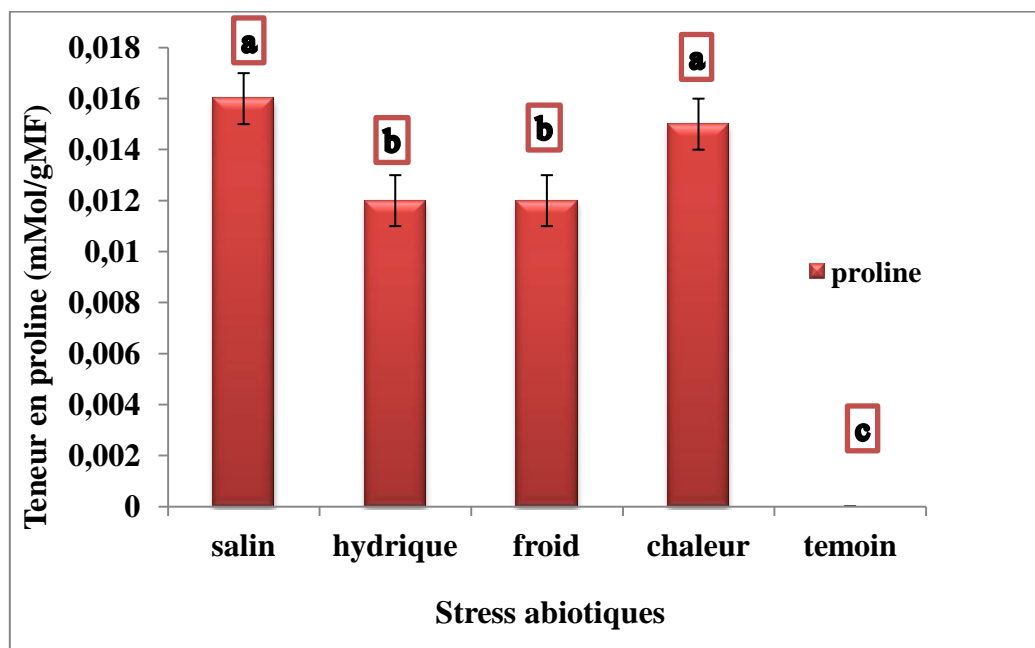


Figure 13 : Teneur en proline (mMol/gMF) chez le blé dur sous différents stress abiotiques.

Selon la figure 13, nous avons noté qu'il y a une différence entre les différents traitements, l'analyse de la variance (annexe 1) a révélé une différence hautement significative ($P = 0.000$). Les moyennes des concentrations en proline chez le blé dur, soumis aux stress thermique froid (5°C) et hydrique ont été les plus faibles avec une valeur de 0,012 mMol/gMF, par ailleurs chez les plantes sous stress salin la moyenne de la proline a été la plus élevée avec une valeur de 0,016 mMol/gMF suivi de celle du stress sous chaleur avec une moyenne de 0.015 mMol/gMF. La proline dans les plantes témoin non stressé a été égale à zéro.

4.1.2.2 La teneur en sucres totaux (mMol/gMF)

Les résultats de l'effet des stress abiotiques sur la teneur en sucres solubles contenu dans les feuilles de blé sont présentés dans la figure (13) :

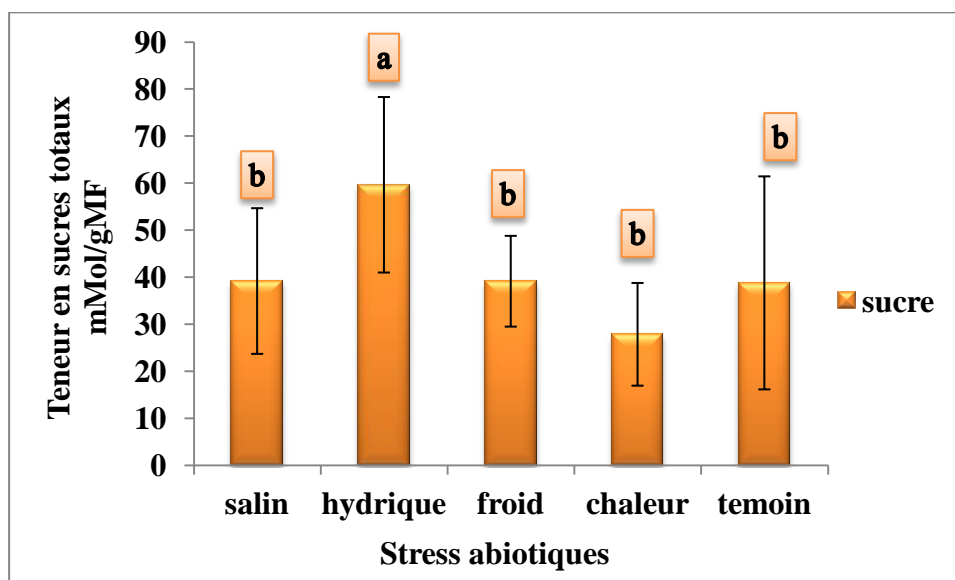


Figure 13 : Teneur des sucres solubles en (mMol/gMF) chez le blé dur sous différents stress abiotiques.

Selon la figure (13), nous avons observé qu'il y a une différence entre les concentrations des sucres totaux chez les plantes de blé dur sous les différents stress étudiés, l'analyse de la variance dans (annexe 1) a montré qu'il y a eu une différence significative ($P = 0,03$) entre les traitements, la moyenne la plus élevée a été noté sous le stress hydrique avec une valeur de 59,63 mMol/gMF, ce dernier a présenté à lui seul un seul groupement statistique par rapport aux reste des traitements qui ce sont groupés dans un seul groupe. Néanmoins la moyenne des sucres la plus faible a été sous le stress de chaleur avec une concentration de 27,83 mMol/gMF. La concentration sous le stress salin a été égal à 39,16 mMol/gMF, et sous le stress de froid avec une valeur de 39,12 mMol/gMF, la moyenne de témoin non stressé a été égal 38,77mMol/gMF.

4.1.2.3 Teneur en chlorophylle totale (mg/gMF)

Les résultats de l'effet des stress abiotiques étudié sur la formation des pigments chlorophylliens des feuilles de blé dur sont présentés dans la figure (14) :

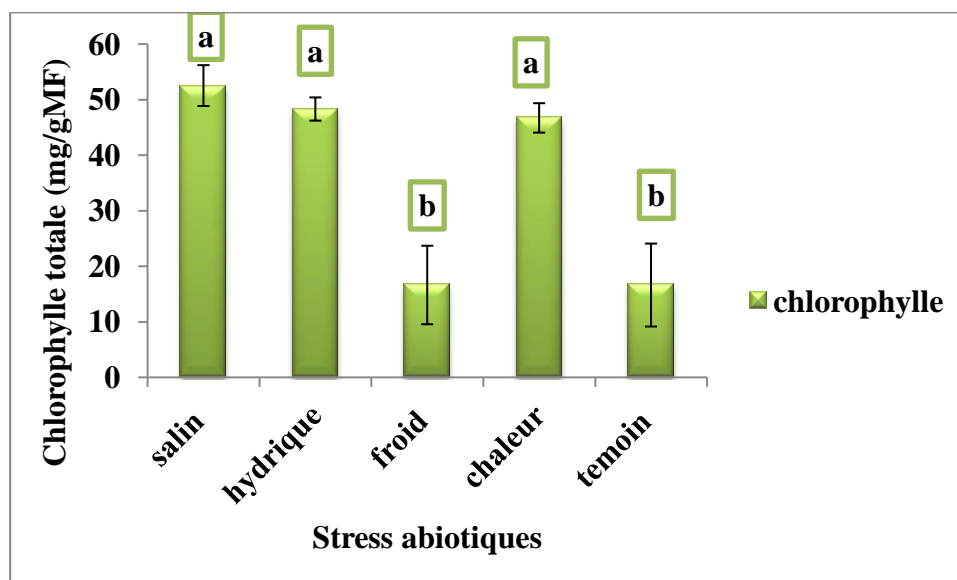


Figure 14 : Quantité de la chlorophylle totale en (mg/gMF) chez le blé dur sous les stress abiotiques.

D'après les résultats obtenus dans la figure (14), et les résultats de l'analyse de la variance dans (l'annexe 1), nous avons enregistré qu'il y a une différence hautement significative ($P = 0.000$). Concernant la teneur en chlorophylle totale chez les plantes de blé dur, la production de la chlorophylle totale la plus élevée a été sous l'effet de la salinité avec une valeur de 52,53 mg/gMF, suivi de ceux du stress hydrique et le stress de chaleur, la production de la chlorophylle totale a varié entre 48.31mg/gMF, et 46,71mg/gMF successivement ; ces dernier ont formé un même groupement statistique avec le stress salin.

La production en chlorophylle la plus faible a été observée dans le témoin avec une valeur de 16.61mg/gMF, le stress thermique de froid a enregistré une valeur proche du témoin avec une moyenne faible de 16,62 mg/gMF.

a) Matière sèche (MS%)

Les résultats de teneur en matière sèche en pourcent, sont présentés au niveau de figure (15) :

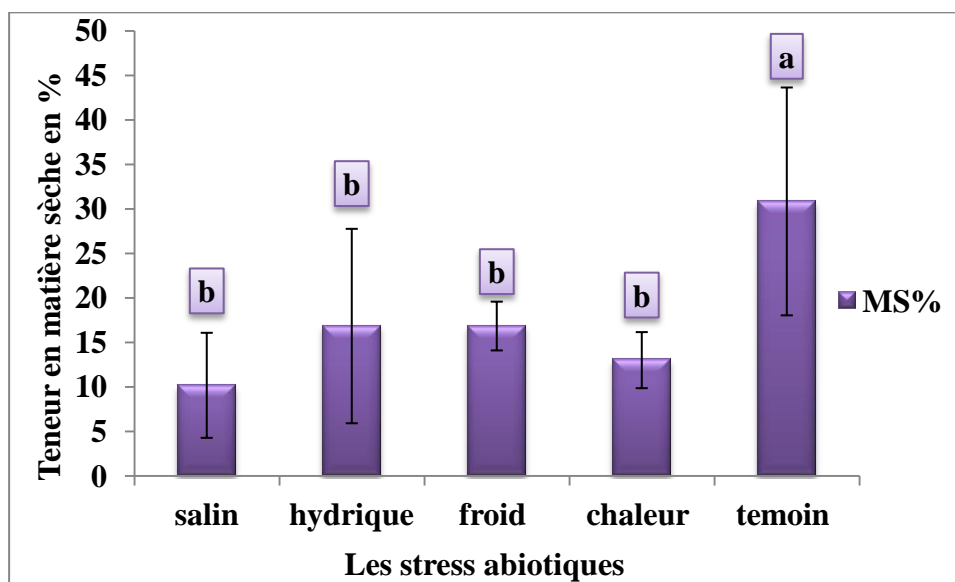


Figure 15 : Taux de la matière sèche en (%) chez les plantes de blé dur sous les stress abiotiques.

La teneur en matière sèche a été influencée par les stress abiotiques étudiés. Selon la figure (15) et l'analyse de la variance dans (l'annexe 1), nous avons constaté que il ya une différence significative ($P = 0.002$) entre les moyennes de teneur en matière sèche chez le blé dans les quatre stress, les valeurs les plus élevées ont été celles du témoin avec une valeur de 30.83%. Les stress ; hydrique et thermique froid (16,83%) et chaleur (13%) ont présenté un seul groupement statistique. La valeur la plus faible a été sous stress salin avec une valeur de 10.17%.

b) Teneur relative en eau (TRE%)

Les résultats de les calculs de la teneur relative en eau dans les feuilles des plantes de blé dur est présentée dans la figure (16) :

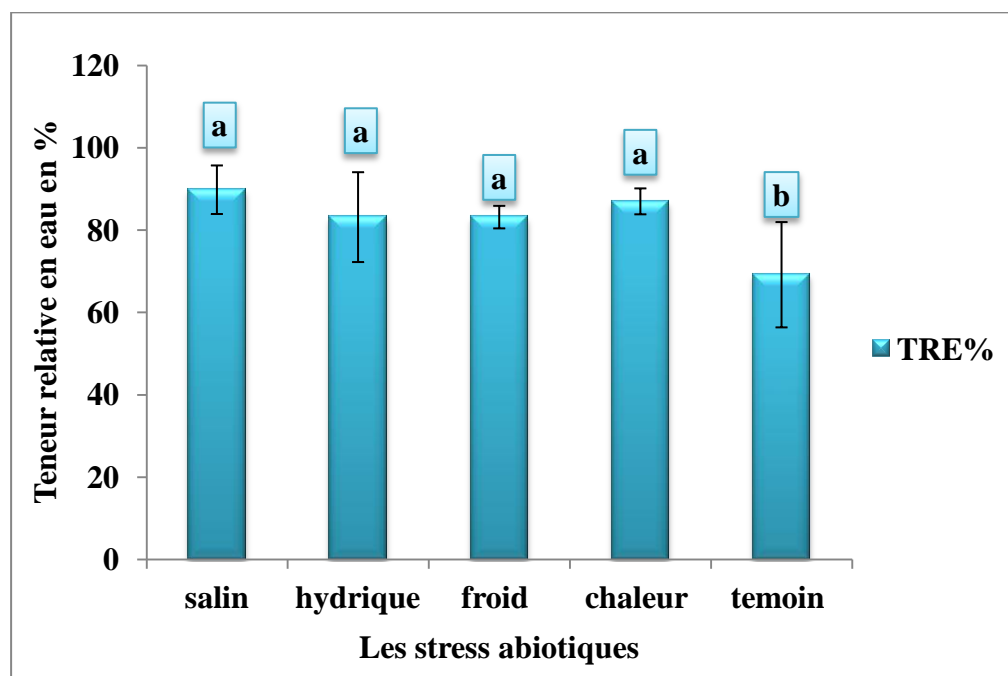


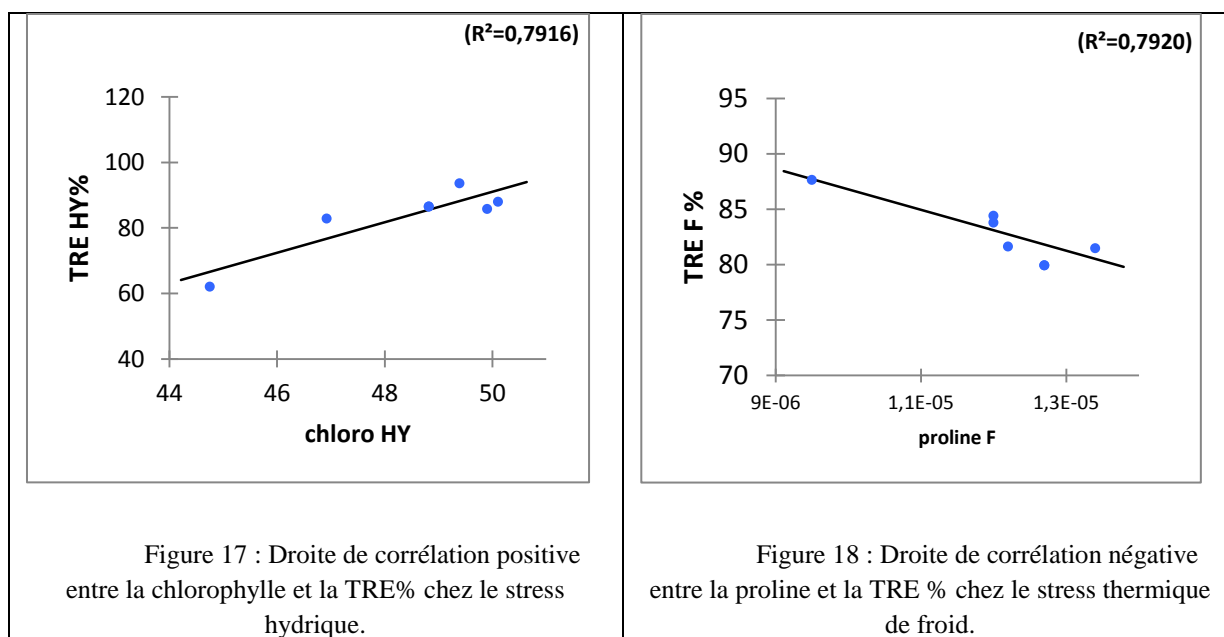
Figure 16 : La teneur relative en eau en (%) chez le blé dur sous les stress abiotiques.

D'après la figure (16) et l'analyse de la variance, nous observons que Il y a une différence significative ($P = 0.002$) entre les moyennes de la teneur relative en eau chez le blé sous stress abiotiques et le témoin, ce dernier a présenté la plus faible moyenne avec une valeur de 69,17%. La valeur la plus élevée a été 89,83% sous le stress salin suivi de la valeur du stress de chaleur avec une moyenne de 87,00% et des valeurs sous stress hydrique et thermique (froid) avec une moyenne de 83,17%.

4.1.3 Corrélation entre les paramètres étudiés

Afin de mieux comprendre la réponse des plantes de blé dur variété siméto vis-à-vis les stress abiotiques, nous avons voulu rechercher d'éventuelles corrélations significatives, positive ou négative, et ce entre les paramètres mesurés, nous avons présenté les résultats de la matrice de corrélation (Pearson) dans (annexe 2). La majorité des corrélations parmi les paramètres biochimiques et la teneur en eau ont été non significatives avec ($P \geq 0.05$) au niveau de l'ensemble des stress étudiés.

Par ailleurs, nous avons enregistré deux corrélations significatives, au niveau du stress hydrique ($P = 0,018$) et le stress thermique en froid ($P= 0,018$), figure (17) et figure (18) successivement. Nous avons constaté que si les plantes sont soumises au stress hydrique la teneur en chlorophylle augmente avec la teneur en eau (TRE), en outre une corrélation négative a été enregistrée, entre la proline et TRE % dans le stress thermique de froid.



4.1.4 La classification ascendante hiérarchique (CAH)

La classification ascendante hiérarchique (CAH), nous a permis de comprendre le comportement du blé vis-à-vis les différents stress étudiés (figure 19), cette analyse a fait classer l'effet des stress en 3 classes : la classe 1 (C1) qui regroupe (le stress salin, hydrique et chaleur) ; la Classe 2 (C2) regroupe le stress en froid, enfin la classe 3 (C3) qui regroupe celui du témoin. La dissimilarité a été plus grande entre la C1 et la C3. Il apparaît donc que ceux de la C1 ont réagi d'une façon similaire et plus nocif que ceux du C2 (froid) sur le blé qui est plus proche du blé non stressé comme témoin (C3).

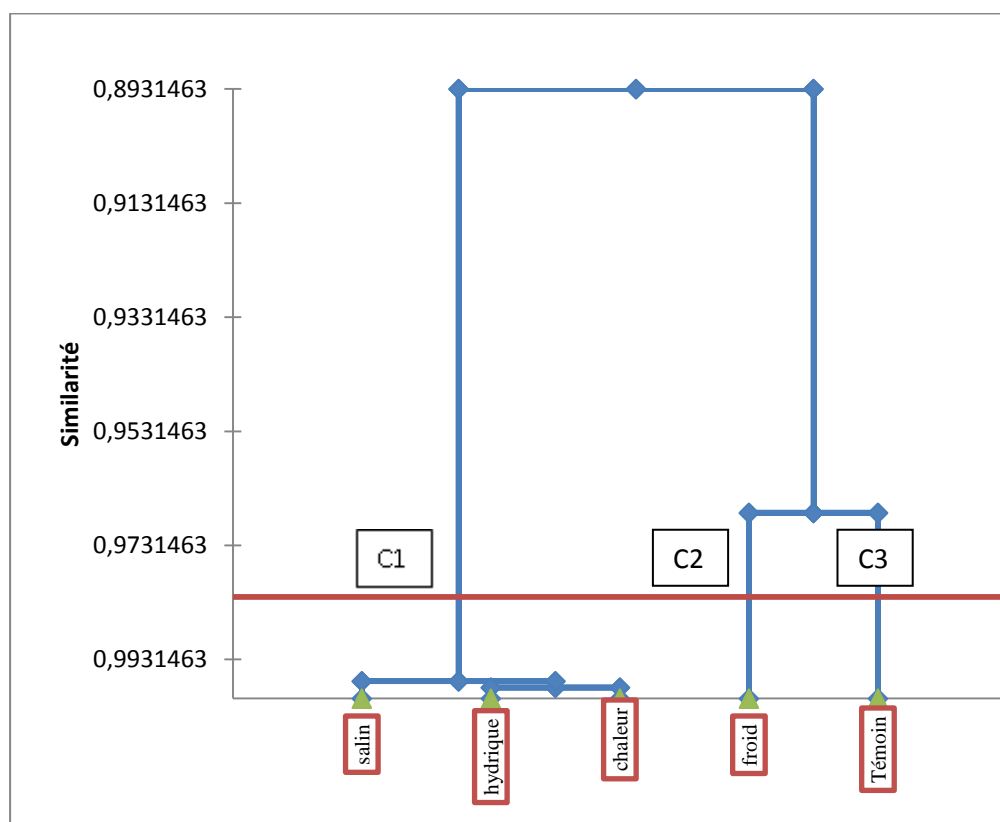


Figure 19 : Dendrogramme de (CAH) démontrant la similarité entre les effets des différents stress abiotiques sur les plantes de blé dur.

Selon la figure (19), nous avons observé la différence entre les classes C1, C2 et C3, qui montre la différence qualitative et quantitative entre les paramètres étudiés, en fonction du coefficient de corrélation (Person), la classe C1 indique que les trois stress (salin, hydrique et chaleur) affectent les plantes de manière similaire, par contre la dissimilarité entre l'effet du stress de froid dans la classe C2, et le témoin dans la classe C3.

4.1.5 Analyse en composants principales (ACP)

Après avoir pu classer les effets des différents stress sur le blé à l'aide de l'CAH, nous avons réalisé une analyse en composantes principales (figure 20).

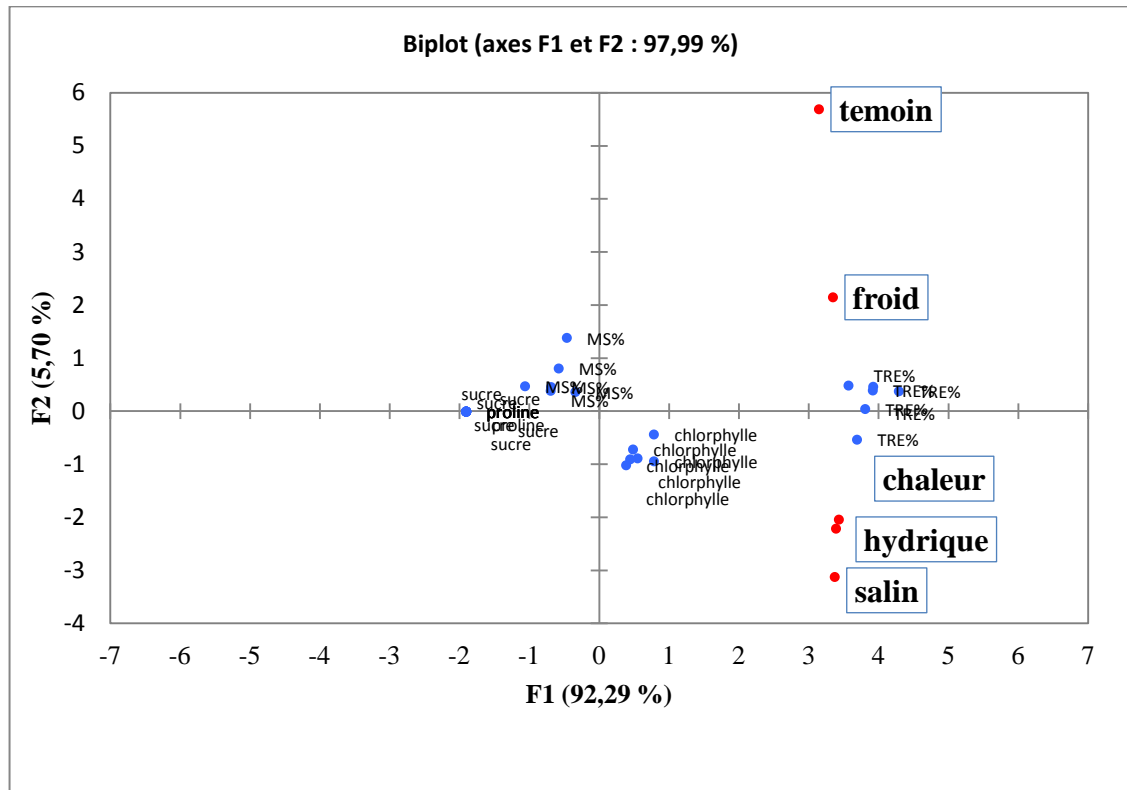


Figure 20 : Une ACP démontrant la relation entre les paramètres biochimiques et les différents stress étudiés.

Dans la figure (20), les deux facteurs (F1 x F2) de l'ACP ont donné 97.99 % d'informations, le facteur 1 a été corrélé positivement par tous les stress et le témoin pour la teneur en eau, par ailleurs il a été corrélé négativement par la proline et les sucres totaux (paramètres de stress), le F1 nous a expliqué **la réponse physiologique** des plantes aux stress.

Le facteur 2 a été corrélé négativement par le taux de la chlorophylle et positivement par la matière sèche, ce facteur F2 a représenté la réponse **biométriques** (MS%) et la **photosynthèse** vis-à-vis des stress.

L'ACP nous a permis de détecter le paramètre le plus touché par le stress, en observant la figure, nous avons constaté que le paramètre qui est le plus influencé par le stress est la teneur en eau TRE% avec des coordonnées sur l'axe de 3 à 4.

Chapitre 04 : Résultats et discussion

4.1.6 Effet de l'application de la gibbérelline sur le blé dur sous stress salin

L'application de la gibbérelline sur le blé au stade montaison sur les plants stressés par la salinité et les plants non stressés comparés à ceux du témoin sans gibbérelline, nous a permis de noter les résultats mentionnés dans le tableau (09).

Tableau 09 : Effets de la gibbérelline sur les paramètres biochimiques sous stress salin.

Traitement	N	Proline (mMol/gMF)	Sucres totaux (mMol/gMF)	Chlorophylle totale en (mg/gMF)	Matière sèche en (%)	Teneur relatif en eau (%)
Salin avec gibbérelline	6	0,012 ± 0,003 (a)	21,13 ± 12,08 (a)	5,51 ± 3,32	6,19 ± 1,26	93,80 ± 1,26
Témoin avec Gibbérelline	6	0,002 ± 0,003 (c)	6,05 ± 4,04 (b)	8,34 ± 6,15	5,57 ± 1,67	94,42 ± 1,67
Témoin sans gibbérelline	6	0,007 ± 0,004 (b)	15,00 ± 5,85 (a, b)	5,15 ± 2,18	6,95 ± 2,29	93,05 ± 2,29
P value		0,000	0,019	0,384	0,434	0,434

D'après le tableau (09), nous avons observé une différence entre les traitements, l'analyse de la variance a montré qu'il y a une différence hautement significative ($P = 0.000$) entre les moyennes de la proline, la valeur la plus élevée a été constaté dans le stress salin avec une concentration de 0,012 mMol/gMF, et la valeur la plus faible a été observé dans les plantes qui ont été pulvérisé avec la gibberilline sans l'exposition au stress avec une concentration de 0,002 mMol/gMF, alors que le témoin a présenté une valeur de 0.007 mMol/gMF. Rappelant que ce test a été réalisé sous serre ou nous avons eu une attaque de puceron noir (annexe 05), et nous avons traité avec un insecticide, ce ci peut expliquer la présence de proline chez le témoin.

Selon la tableau (09), nous avons observé qu'il y a eu aussi une différence significative ($P = 0.019$) entre les concentrations des sucres solubles dans les feuilles des plantes de blé, la valeur de la production des sucres la plus élevée a été enregistrée chez les plantes de blé dur sous le stress salin pulvérisé avec la gébbirilline avec une valeur de 21,13 mMol/gMF, et la valeur la plus faible a été observé chez les plantes de blé dur pulvérisé par le GB sans stress avec une valeur de 6,05 mMol/gMF. Le témoin a marqué une valeur de 15,00 mMol/gMF.

Chapitre 04 : Résultats et discussion

Les résultats de la quantité de la chlorophylle totale chez les plantes de blé dur, d'après le tableau (9) et l'analyse de la variance dans l'annexe (03), ont montré une différence non significative ($P = 0,384$), nous avons observé que la valeur la plus élevée a été constaté dans les plantes pulvérisées avec la GB sans l'exposition de stress avec une valeur de 8,34 mg/gMF, et la plus faible valeur est 5,15 mg/gMF dans le témoin. La moyenne chez les plantes sous stress salin a été de 5.51 mg /gMF.

Les résultats de taux de la matière sèche ont marqué une différence non significative ($P = 0,434$), la plus élevée a été observée dans le témoin avec une valeur de 6,95 %, et la plus faible valeur a été chez les plantes pulvérisées avec la GB avec une valeur de 5,57%. Les plantes sous le stress salin pulvérisé par la GB ont présenté une valeur de 6.19%.

Les mêmes constatations ont été marquées pour la teneur relatif en eau, l'analyse de la variance dans l'annexe (03), a été non significative ($P = 0,434$), la valeur la plus élevée a été observée dans les plantes pulvérisées avec la GB sans stress avec une valeur de 94,425 %, et la plus faibles valeur a été constaté dans le témoin avec une valeur de 93,050 %. La moyenne chez les plantes sous stress salin pulvérisé avec la GB a atteint 93,80%.

4.2 Discussion

Dans le cadre de ce travail, on s'est intéressées à étudier le comportement de la variété de blé dur (Siméto) vis-à-vis des différents stress abiotiques (thermiques, hydrique et salin). Au cours de nos travaux nous nous sommes basés sur l'analyse des paramètres biochimiques et physiologiques permettant ainsi de démontrer l'adaptation de la variété aux stress appliqués et aussi de rechercher d'éventuelles corrélations entre ces paramètres étudiés, citant : la TRE% et la MS% l'accumulation des proline, sucres totaux et la chlorophylle totale.

Les résultats obtenus ont démontré que, le stress salin et en chaleur ont été les plus néfastes sur le blé, puisque ils ont présenté les valeurs les plus élevées en proline par rapport au stress hydrique et en froid, ces derniers ont aussi provoqués la synthèse de la proline par rapport au témoin mais d'une moindre teneur.

Nos résultats ont été conformes aux déclarations de Grote et Claussen (2001), qui ont déclaré que l'accumulation de cet acide aminé peut en effet jouer un rôle dans l'osmorégulation des cellules en cas de stress abiotiques et servir comme indicateur de la sécheresse et/ou un détecteur de stress. 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).

Selon Levit (1980), L'accumulation de proline chez différentes variétés de blé au stade juvénile est corrélée positivement avec le degré de tolérance au déficit hydrique évalué en plein champ, elle intervient comme une réaction de la plante. L'accumulation de proline est l'une des manifestations les plus constatées en vue du stress hydrique.

. La concentration en proline suite à une sécheresse peut atteindre jusqu'à 100 fois celle que l'on trouve dans les tissus en turgescence (Morsli, 2010).

Nous avons aussi trouvé que le stress hydrique a augmenté significativement la teneur en sucre par rapport au reste des différents stress. Cette augmentation se maintient et s'amplifie avec l'intensité et la durée de la contrainte hydrique selon les résultats de Bouchelaghem (2012), ce qui semble être un comportement de résistance au stress hydrique. De nombreuses études mettent en évidence une accumulation de teneurs élevées

Chapitre 04 : Résultats et discussion

en sucres solubles chez différents types de plantes soumises à différents stress : hydrique (Bouchelaghem, 2012), salin (Zid et Grignon, 1991), osmotique (Abdelkrim *et al.*, 2005). Cette augmentation est en réalité un paramètre d'adaptation aux conditions de stress (Tahri *et al.*, 1998).

L'ajustement osmotique est reconnu comme un mécanisme effectif de tolérance au stress hydrique, plusieurs avantages lui sont conférés, le plus important étant le maintien de la pression cellulaire. Ce résultat est en conformité avec les recherches de plusieurs auteurs dont Mekliche *et al.* (2003), signalent une augmentation de la teneur en sucres solubles chez six variétés de blé dur en situation de contrainte hydrique. D'après Luo *et al.* (2009), l'accumulation des sucres joue un rôle critique dans l'ajustement osmotique des plantes. Arabzadeh (2012), avise une accumulation des sucres solubles dans les feuilles des plantes pendant la dessiccation participent à maintenir leur turgescence et empêchent la déshydratation des membranes cellulaires.

Dans notre étude l'application des stress salin, hydrique et chaleur a augmenté le taux de la chlorophylle chez le blé dur, ce taux n'a pas été influencé par le froid comparé au témoin. Des résultats similaires obtenus par Percy et Ustin (1984), qui ont démontré que la teneur en chlorophylle s'accroît avec un stress de NaCl modéré. Qiu *et al.* (2005) in Mallem *et al.* (2019), ont rapporté une réduction considérable du système des granas et stroma thylakoïdes et parfois même une déformation morphologique des chloroplastes dans le candélabre de *Kandelia* sous l'effet de sels, ce qui peut être liée au fait que le stress salin augmente l'accumulation de NaCl dans les chloroplastes des plantes supérieures, entraînant une augmentation du stroma causée par des dégâts aux membranes des chloroplastes. Selon nos résultats la teneur en chlorophylle élevée sous stress en chaleur et hydrique a pu être réagit de la même manière. Sous stress thermique avec l'élévation de la température, la solubilité du CO₂ diminue plus vite que celle de l'O₂. Le « gaspillage » énergétique que représente l'activité oxygénase de la Rubisco est accentué. Les mécanismes de concentration du CO₂ dans les plantes en C4 (blé) permettent d'éviter cette contrainte (Levitt, 1980).

L'application des différents stress abiotiques a affecté directement la production de la matière sèche qui est le résultat de la photosynthèse. L'analyse de la variance relative à la matière sèche a montré une différence significative entre la teneur en matière sèche chez les plantes stressées. Ce qui montre l'effet négatif des stress abiotiques sur

Chapitre 04 : Résultats et discussion

la croissance végétative du blé dur. La production de la matière sèche a été utilisée par plusieurs auteurs comme critère de sélection pour la tolérance à la salinité (Menguzza et *al.*, 2000). Une carence hydrique précoce durant la phase végétative réduit le nombre et la taille des talles chez le blé et la vitesse de croissance des talles les plus jeunes (Assem et *al.*, 2006).

L'application des stress abiotiques sur le blé dur étudié a fait augmenter la teneur en eau dans les tissus du végétal, comparant au blé non stressé. Les teneurs élevées en eau (TRE%) chez les plants stressés est un mécanisme d'adaptation des plantes à la salinité, qui se justifie par la fermeture des stomates par la libération des osmorégulateurs tels que, la proline et les sucres solubles pour éviter la perte d'eau par transpiration (Mallem et *al.*, 2019).

Selon Ernez et Lannoye (1991), l'altération de l'état physiologique des plantes, causée par des conditions défavorables de l'environnement, se reflète rapidement au niveau des signaux lumineux et thermiques émis par les feuilles. Pour limiter les pertes en eau par évaporation et aussi l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse, l'économie de l'eau se traduit par une turgescence relative moins affectée par le stress (Slayter, 1974 in Mouellef, 2010).

Notre analyse de la corrélation, nous a permis de confirmer les déclarations des auteurs cités plus haut indiquant la relation entre la proline et la teneur en eau sous stress, nous avons trouvé une corrélation entre la teneur en eau et la chlorophylle chez le blé dur sous le stress hydrique ; l'accumulation de l'eau et des pigments chlorophylliens ont été corrélés positivement pour faire face au stress et accomplir le cycle de la plante, cela est dû à la fermeture des stomates.

Par contre sous stress de froid à 5°C, le blé dur a réagit différemment, normalement la teneur en proline fait augmenter la teneur en eau dans le tissu car c'est un osmoregulateur des cellules, il apparaît que sous froid le blé a réagit autrement, cette corrélation a expliqué pourquoi le blé est moins stressé sous froid que sous les autres stress.

La classification ascendante hiérarchique (CAH), nous a permis de détecter le degré de réaction du blé dur sous différents types de stress, il a été constaté que le blé résiste mieux au froid par rapport aux autres types de stress, selon Laala (2010), Le blé dur est cultivé dans une large gamme d'environnements, il a une adaptation la plus large, cette adaptation

Chapitre 04 : Résultats et discussion

est largement due, dans une large mesure, à la tolérance au froid, c'est-à-dire la capacité à supporter des températures bien inférieures à 4°C, considérée comme la température minimale pour la croissance. Nos résultats ont démontré un seuil de tolérance du blé dur au froid à 5 °C, ce qui a été conforme aux déclarations de Laala (2010), il serait souhaitable de tester des températures plus basses. Par ailleurs nous avons enregistré des effets plus marquants des stress salin, hydrique, et chaleur sur le blé dur, ces derniers ont présenté la même classe, ils ont réagi d'une façon presque similaire.

L'analyse en composantes principales (ACP), nous a permis de détecter le paramètre le plus touché par le stress, nous avons constaté que le paramètre qui a été le plus influencé par le stress a été la teneur relative en eau (TRE%). Cette démonstration a bien confirmé les déclarations des auteurs précités.

Les résultats préliminaires de l'application de la gibbérelline sur le blé stressé en sel, nous a permis de comprendre comment le blé stressé réagit physiologiquement au stress salin. Nous avons constaté que la gibbérelline a eu un effet positif sur la durée de l'apparition des symptômes (jaunissement et flétrissement) sur les feuilles des plantes stressées, elle a diminué le taux de proline et aussi les sucres solubles chez le blé stressé en sel, et ce par rapport au stress sans gibbérelline de la première partie de l'expérience au phytotron.

L'application de la gibbérelline dans notre essai n'a pas présenté un effet marquant sur ; le taux de la chlorophylle, la matière sèche et la teneur en eau chez les plants stressés,

Ces résultats s'ajoutent aux travaux de Bouatrous et Yakhlef (2014), sur l'effet positif des phytohormones sur l'accélération des divisions cellulaires et l'organisation générale de la plante.

Plusieurs études ont confirmé que les phytohormones augmentent la perméabilité membranaire des ions et leurs translocations des racines vers les parties aériennes sous des stress abiotiques (Sureena *et al.*, 1995).

Conclusion

Conclusion

Conclusion

L'amélioration génétique du blé dur des zones sèches reste basée sur la recherche d'une meilleure tolérance aux stress abiotiques pour adapter la plante, à la variabilité du milieu de production. Certaines études ont permis de décrire les comportements variés vis-à-vis des contraintes abiotiques qui règnent dans l'environnement de la céréaliculture Algérienne et en particulier de distinguer celui des variétés améliorées.

Le stress abiotique affecte le développement et le bon fonctionnement des plantes. Par ailleurs, la plante doit disposer des mécanismes d'adaptation qui lui permettent de supporter la sécheresse, la haute température et la salinité. Les principaux mécanismes de la tolérance à ces contraintes demeurent la résultante de plusieurs actions : L'expression de différents gènes et l'accumulation de diverses osmolytes.

A travers cette étude, nous pouvons conclure d'une part que les stress abiotiques provoquent l'installation de nombreux mécanismes d'adaptation chez les plantes de blé dur.

Le stress salin et en chaleur ont été les plus néfastes sur le blé, puisque ils ont présenté les valeurs les plus élevées en proline par rapport au stress hydrique et en froid, ces derniers ont aussi provoqués la synthèse de la proline par rapport au témoin. La variété siméto donc résiste au froid a une température de 5°C.

Le stress hydrique a augmenté significativement la teneur en sucre par rapport au reste des traitements. C'est une méthode de tolérance au stress hydrique.

L'application des stress ; salin, hydrique chaleur ont augmenté le taux de la chlorophylle totale chez le blé dur, ce taux n'a pas été influencé par le froid comparé au témoin.

L'application des différents stress abiotiques a affecté directement la production de la matière sèche qui est le résultat de la photosynthèse.

L'application des stress abiotiques sur le blé dur a fait augmenter la teneur en eau dans les tissus du végétal, comparant au blé non stressé.

Sous stress hydrique l'accumulation de l'eau et des pigments chlorophylliens ont été corrélés pour faire face au stress et accomplir le cycle de la plante, cela est dû à la fermeture

Conclusion

des stomates. Par contre sous stress de froid à 5 °C, le blé a réagit différemment, normalement la teneur en proline fait augmenté la teneur en eau dans le tissu car ces un osmoregulateur des cellules, il apparait que sous froid le blé a réagit autrement cette corrélations a expliqué pourquoi le blé est moins stressé sous froid que sous les autres stress.

Il apparait que la gibbérelline a diminué le taux de proline et les sucres totaux chez le blé stressé en sel.

L'application de la gibbérelline n'a pas présenté un effet marquant sur le taux de la chlorophylle, la matière sèche et la teneur en eau sur les plants stressés et non stressés.

D'autre part, il est clair qu'à partir des résultats obtenus sur la tolérance des plantes de blé dur en conditions de stress abiotique, que la variété siméto cumule un nombre important de mécanisme de tolérance aux stress abiotiques, ceci suggère que cette variété semble être résistante aux contraintes abiotiques, elle résiste au froid et pourrait être adaptée dans un milieu à basse température.

Enfin, nous avons pu conclure et confirmer la réponse du blé dur aux stress abiotiques par la libération des osmrégulateurs, et démontrer le mécanisme le plus touché pour faire face au stress, qui a été la teneur en eau des cellules, cette étude a ajouté aussi des connaissances sur le degré de tolérance du blé dur à chaque type de stress.

Les résultats obtenus laissent entrevoir de nombreuses perspectives qui nécessitent des études plus approfondies, à s'avoir :

- Il serait souhaitable de refaire l'essai avec d'autre gamme de stress
- De refaire l'essai avec d'autre gammes de températures, surtout pour le stress en froid il s'agit de tester des températures plus basses.
- De refaire l'étude avec d'autre variété de blé dur et même d'autres espèces cultivées.
- Tout en continuant d'étudier la tolérance qui reste important dans la caractérisation des variétés de blé. Il importe également d'utiliser l'analyse des paramètres biochimiques et physiologiques pour une meilleure connaissance des espèces afin de mieux les discriminer.
- Approfondir les études par l'utilisation des différents types de phytohormones faisant face aux divers types de stress.

Références bibliographiques

Références bibliographique

- Abdelkrim F., Djebbar R. et Aid F., 2005 :** Effet d'un stress osmotique sur la germination et le début de croissance de deux variétés de colza : *Brassica napus L. Eurol* et *Goeland*. 1er Colloque Euro-méditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30 novembre 2005.
- Aknouche D. et Laib R., 2017 :** Amélioration de la production du blé dur : cas de la zone sud de Constantine. Mémoire de master, université des Frères Mentouri Constantine, 95 p.
- Amrouche I. et Mesbah E., 2017 :** Effet du stress abiotique sur l'accumulation des protéines totales chez deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de master, université des Frères Mentouri Constantine, 96p.
- Arabzadeh N., 2012 :** The Effect of Drought Stress on Soluble Carbohydrates (Sugars) in Two Species of *Haloxylon persicum* and *Haloxylon aphyllum*. Asian Journal of Plant Sciences, 11: 44-51.
- Assem, N., El Hafid, L., Haloui, B., & El Atmani, k. 2006 :** Effets du stress hydrique appliqué au stade trois feuilles sur le rendement en grains de dix variétés de blé cultivées au Maroc oriental. Science et changements planétaires/Sécheresse, 17. 4 : 499-505.
- Bahlouli F. Bouzerzour H. Hassous K., 2005 :** Selection of high yielding of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi arid conditions. Journal of Agronomy, 4: 360-365.
- Bedrane A., 2019 :** Effets de la salinité sur les plantes, agronomie info, <https://agronomie.info/fr/effets-de-la-salinite-sur-les-plantes/>. (Consulté le 11/06/2020).
- Belaadi M., 2014 :** Etude de l'effet de la salinité sur la germination et la croissance de quelques variétés d'Haricot (*Phaseolus vulgaris L*), mémoire de master, université 8 mai 1945, Guelma, 54p.
- Belaid D., 1986 :** Aspect da la céréaliculture algérienne. Ed. OPU, Alger, 207 p.
- Ben Hebireche N., 2011 :** effet du stress salin sur l'accumulation de la chlorophylle chez le blé dur, thèse de doctorat, université Kasdi Merbah, Ouargla, 169p.
- Ben Khaled, El Mostafa Zid N., 2007 :** Impact du NaCl sur la croissance et la nutrition de la variété de blé dur Massa cultivée en milieu hydroponique, Acta Botanica Gallica, 154:1, 101-116.
- Benmakhlouf Z., 2018 :** Etude de l'effet des phytohormones sur la croissance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) var.Kebir cultivée dans des conditions salines. Thèse de doctorat, université des Frères Mentouri Constantine, 152p.
- Berthomieu P. Conéjéro G. Nublat A. Brackenbury, W. Lambert, C. Savio, C. Uozumi N., 2003 :** Functional analysis of ATHKT1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. Embo Journal. 22 : 2004-2014.

Références bibliographique

- Bill I., 2007** : La biologie de A à Z : 1100 définitions. Ed. Dunod, Paris, 123p.
- Bootsma A., Boisvert B. Dejong R. Baier W., 1985** : La sécheresse et l'agriculture canadienne. Sécheresse: 277 - 285.
- Bouaouina S. Zid E. Hajji M., 2000** : Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum durum* L.) CIHEAM Options Méditerranéennes. 239-2.
- Bouatrous Y. Yakhlef N., 2014** : effet de phytohormones (AIA, GA3) sur la sélectivité K^+ / Na^+ et la résistance stomatique dans l'adaptation à la salinité de blé dur (*triticum durum* Desf) et une espèce apparentée, université Mentouri Constantine, Algérie Lebanese Science Journal, Vol. 15, No. 2, 53.
- Bouchelagem S., 2012** : contribution à l'étude de l'impact d'un engrais couramment utilisé en algérie (NPK) sur la croissance le métabolisme et le développement racinaire d'un modèle végétale blé dur, these de doctorat, Univ. Constantine.
- Boulal H., Zaghouane O., El Mourid M. et Rezgui S., 2007** : Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
- Boumdouha et Krim, 2019** : Quelques Caractères physiologiques et morphologiques de tolérance de blé dur (*Triticum durum* Desf.) de deux génotype (WAHA et GTA) au salinité. Mémoire de master, université Mohamed Boudiaf Msila, 79 p.
- Bousba R. Djekoun A. Duraa S. Ykhlef N., 2013** : Caractérisation moléculaire et association marqueur SSR phénotype pour la tolérance au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf), European Scientific Journal, vol 9, N°12:186-201.
- Boussard J. Chabane M., 2011** : La problématique des céréales en Algérie, Communication dans le cadre des 5èmes Journées de recherches en sciences sociales à AgroSup Dijon.
- Boyer, J.S. 1982** : Plant Productivity and Environment. Science, 218, 443-448.
- Branlard G., Pujos E., Nadaud I., Bancel E., Piquet A., 2012** : Nouveaux outils pour une analyse fine de la composition des grains. Innovations Agronomiques, 19 : 37-49.
- Chaker A. Brinis L., 2004** : Effet d'un stress thermique à la chaleur sur quelques traits biochimique de quelque génotypes de blé dur N 42, 21-28 .
- Chaves, M. Pereira S. Maroco J. Rodrigues L. Ricardo P., 2002** : How plants cope with water stress in the field?, Photosynthesis and growth. Ann Bot, 89, 907-916.
- Clark M., Norvell A., Buckley T., 2002** : Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. Can. J. Plant Sci. Revue canadienne de phytotechnie. 82 : 27-33.

Références bibliographique

- Clement G. et Prats J., 1970** : les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed. 351p.
- Coïc Y. Lesaint C., 1983** : Culture hydroponique, technique d'avenir. Paris: Maison Rustique, 300 p.
- Debaeke P. Cabelguenne M. Casals M. Puech J., 1996** : Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d'un modèle de simulation de la culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées. *Epicphase-blé*. *Agro.16*: 25 - 46.
- Djermoun A., 2009** : La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques *Revue Nature et Technologie*. n° 01. 45 à 53p.
- Doumanji S., Bounechada M., 2011** : Régime alimentaire et évolution de la consommation des feuilles de blé dur (*triticum durum*) chez *ocneridia volxemi* (insecta, orthoptera) dans la région de stef, *Agriculture*, Volume 2, Numéro 2, 33-42.
- El Mourid M. Karrou M. El Gharous M., 1996** : La recherche en aridoculture respectueuse de l'environnement. *Al Awamia*, 92, 69-81.
- Ernez M, Lannoye R., 1991** : Quantification of physiological disorders in stressed plants. In: *Physiologybreeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments*. Montpellier, France, *Colloques INRA n° 55*, 414-433.
- FAO, 2016** : Production et consommation de blé dans le monde. [www.planetoscope.com/cereales/191- production-mondiale-de-ble.html](http://www.planetoscope.com/cereales/191-production-mondiale-de-ble.html) affichée le 8 avr. 2017 10:38:41 GMT.
- FAO, 2018** : Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/>. Affichée le 04 mai 2020 18 :02 50 GMT.
- Farooq M. Ahid A. Obayashi N. Asra D., 2009** : Plant drought stress: effects, mechanisms and management. 4p.
- Feillet P., 2000** : Le grain du blé. Composition et utilisation. Ed. INRA, Paris, P17-18.
- Feldman N. et Sears B., 1981** : Les ressources génétiques du blé. *Pour la science* N°42, 35-38p.
- Flowers T. Troke P. Yeo A., 1977** : The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Rev. Plant. Physiol.*, 28, 89-121.
- Folkert A, Hoekstra E, Golvina C et Buitink M., 2001** : Mechanisms of plant Références bibliographiques 46 desiccation tolerance. *Trends in plant science*. Vol 6. 9: 431-438.
- Frédéric B. Hénin A., 2017** : Production-mondiale-de-blé-2015-2016: <http://www.momagri.org/FR/articles/Production-mondiale-de-ble-2015-2016-Avec-une>

Références bibliographique

recolte attendue en hausse la France fait bande à part_1606.html. Date de publication: 06/04/2017.

- Fredot E., 2005** : Connaissance des aliments. 1ère édition. Lavoisier. Paris, 397p.
- Gallais et Bannierot, (1992)** : Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectif et critère de sélections. Ed INRAA.
- Garnier Y. & Laurent G., 1994**: Leaf anatomy. Specific mass and water content in congeneric annual and perennial grass species. *New Phytol.* 128: 725-736.
- Gate P. et Giban M., 2003** : Stades du blé. Ed. ITCF, Paris : 68 p.
- Gate P., 1995** : Ecophysiologie du blé. Paris: Tec et Doc- Lavoisier.
- Gate P., Bouthier A., Casabianca H. & Deleens E., 1993** : Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France : interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique du carbone des grains. Colloque Diversité génétique et amélioration variétale Montpellier (France). Les colloques. 64.Inra . Paris.
- Gaufichon L. Prioul L. Bachelier B., 2010** : Quelles sont les perspectives d'amélioration génétique de plantes cultivées tolérantes à la sécheresse? In. Etude de la foundation FARM.
- Glenn J. Edward P et Brown., 1999** : Salt –tolerant mechanisms and crop potential of halophyte. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 18.2: 227-255.
- Grignac P., 1978**: Le blé dur, monographie succincte. Annale de l'INR. Paris. 83-98p.
- Grote D. Claussen W., 2001** : Severity of root rot on tomato plants caused by *Phytophthora nicotianae* under nutrient and light stress conditions. *Plant Pathol.* 50: 702–707.
- Haichour R., (2009)** : Stress thermique et limite écologique du Chêne vert. Mémoire. Université Mentouri – Constantine – p : 12-24-49.
- Haoula F. Ferjani H. EL Hadj S., 2007** : Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{+2}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines de ray grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 11, 3: 235-244.
- Henry Y. Buysen J., 2000** : L'origine du blé. *Pour la Science* 26:60-62.
- Hopkins G., 2003** : Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruscelles: 61-476p.
- Hucl P. et Baker J., 1998** : Tiling patterns of spring wheat genotypes in semi- arid environment. *Can J Plant, Sci.* 69:71-79.

Références bibliographique

- Ismail A., 1990** : Germination ecophysiology in population of *Zygophyllum qatarenses* Hadidi from contrasting habitats. *J. Arid. Environ.*, 18: 185-194.
- Jean-Pierre A, Philippe D, Bernard I, 2006** : Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, INRA.France. 72 p.
- Karou M ., Haffid R., Smith D.N.et Samir K., 1998** : Roots and shoot growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early – season drought .*Agronomie* 18 , 18:186.
- Kelbit D., 2018** : évaluation de la tolérance de deux variétés de blé dur (*triticum durum* desf) (siméto et vitron) à la salinité mémoire de master, Univ. Amar thelidji Laghouat 54p.
- Laala Z., 2010** : Analyse en chemin des relations entre le rendement en grains et les composantes chez des populations F3 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. Mémoire de magister, Dépt. Agron. Faculté des Sciences. Université Ferhat Abbas. Sétif.
- Lamaze T. Tousch D. Sarda X. Grignon C. Depigny C., 1994** : Résistance de plantes a la sécheresse : mécanismes physiologiques. *Le sélectionneur Français* 45 : 75-85.
- Laribi A. Gharbi S. Kouki K. M'hamdi M. Bettaieb T., 2016** : Institut National Agronomique. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology, IABC.*17 : 1321-1327.
- Lepoivre P. Jaafari S. Semal J., 1995** : Implication de l'acide abscissique dans la résistance du blé à la sécheresse. *Quel avenir pour l'amélioration des plantes.*Ed. AUPELF-UREF. Paris. P: 141-148.
- Levitt J., 1980** : Responses of plants to environmental stresses. Academic Presse, New York.
- Louali Y., 2016** : Production de génotypes mutants chez le blé dur (*Triticum durum* desf.) Une source de variabilité génétique pour la tolérance à la sécheresse, thèse de doctorat, Université des Frères Mentouri, Constantine, 169 p.
- Luo F, et al. 2009** : Core and periphery structures in protein interaction networks. *BMC Bioinformatics* 10 Suppl 4:S8.
- Madhava Rao V. Raghavendra S. et Janardhany K., 2006** : Printed in the Netherlands. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants.*Springer: 1-14 p.
- MADR, 2018** : Statistiques Agricoles les céréales. Ministère de l'agriculture et du développement rural, Algérie.
- Makhlouf M., Ayadi A., Chennafi H., 2006** : Réponse des variétés contrastées de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à la date d'implantation sous semis direct en milieu semi-aride. (ed.). 4. Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Zaragoza : CIHEAM / ATU-PAM / INRAA / ITGC / FERT, 63-70.

Références bibliographique

- Mallem H, Houyou Z., et Benrima A., 2019** : Réponses morpho-physiologiques des plantules de *Retama Raetama* à des niveaux de salinité extrêmes, Université Amar Telidji, Laghouat Revue Agrobiologia 9,2: 1610-1620.
- Mekaoussi R., 2015** : Etude de comportement variétal du blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis de *Rhopalosiphum maidis* (Homoptera : Aphididae) dans la région de Batna. Mémoire de magister, université El-Hadj Lakhdar, Batna, 127 p.
- Mekliche A. Boukecha D. et Hanifi L., 2003** : Etude de la tolérance à la sécheresse de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Institut National Agronomique - El-Harrach - Vol.24. N°1 et 2.2003, p 97.
- Menacer F., 2007** : Contribution à l'étude de l'effet de la salinité sur un marqueur biochimique, cas de la proline chez *Atriplex halimus* L. et *Atriplex conescens* (Pursh) Nntt, p99.
- Menguzzo S, Navari-Izzo F, Izzo R., 2000** : NaCl effects on water relations and accumulation of mineral nutrients in shoots, roots, and cell sap of wheat seedlings. *J Plant Physiol* 156 :711-716.
- Monneveux P., 1991** : Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. In : l'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. AUPELF-UREF. Ed. John Libbey. Eurotest . 165- 186p.
- Morsli L., 2010** : Adaptation du blé dur (*triticum durum* Desf.) dans les conditions des hautes plaines constantinoises, thèse de doctorat, université Badji Mokhtar, Annaba, 99p.
- Mouellef A., 2010** : Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire de magistère, Université Mentouri, Constantine, 118 p.
- Moule C., 1971** : Céréales 2. Phytotechnie spéciale. (Ed). La maison rustique, Paris, 236p.
- Moule C., 1980** : Les céréales. Ed. Maison rustique. Paris. 318p.
- Mrani M. El Jourmi L. Ouarzane A. Lazar S. Hmyene A. 2013** : Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé. *J. Mater. Environ. Sci.* 4 : 6, 997-1004.
- Munns R. et Termaat A., 1986** : Whole plant response to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13: 143-160.
- Nelson F., 2003** : Behavioral Evidence on the Effects of Principles- and Rules-Based Standards. *Accounting Horizons*: March 2003.
- Niu X. Rsessan R. Hasegawa P. Pardo M., 1995** : Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*, 109. 3: 735- 742.

Références bibliographique

- Ouanzar S., 2012 :** Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) mémoire de magister, université Ferhat Abbas Setif, 70p.
- Oukarroum A., 2007 :** Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse doctorat. Univ. De Genève.
- Padilla M. et Oberti B., 2000 :** alimentation et nourritres autour de la Méditerranée, Editions Kathala, Ciheam-Iamm, Paris et Montpellier. 120p.
- Paquin R. 1977 :** Effet de basses températures sur la résistance au gel de la luzerne et son contenu en proline libre – *Physio.veg* 115 , 14 : 657-665.
- Pichot A., 1980 :** Génétique et amélioration du blé Ed. *Rev. Agriculture*, N° 441, PP 189- 193.
- RAO IM. Sharp RE. Boyer JS., 1987 :** Leaf Magnesium Alters Photosynthetic Response to Low Water Potentials in Sunflower. *Plant physiology* 84 : p 1214 -1219.
- Rejili M. Vadel A. Neffat M., 2006 :** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, 17.1 : 65- 78.
- Richard C. Dary J. Laffont J. 1985 :** Produits phytosanitaire, recherche, développement, homologation, édition de la nouvelle librairie. Département Agri-Nathan International. Paris. 263p.
- Sabaghina N. Dehghani H. Sabaghpour 2006 :** nonparametric methods for interpreting GxEninteraction of lentil genotypecrop *Sci* 64: 1100-1106.
- Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. et Zid E. D., 2005 :** Les céréales en Tunisie: production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse* 16, 3 :225-9.
- Soltner D., 1980 :** Les grandes productions végétales, collections de sévices des techniques agricoles, Ed. 16ème éditions 464p.
- Soltner D., 1990 :** les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairie. Coll. Sciences et techniques agricoles. 17ème Ed.464p.
- Sureena C. Nirmal K. Dhingra H. Varghest S., 1995 :** Effect of foliar application of NAA and BAP on in vitro pollen germination and tube elongation in chickpea raised under saline conditions. *Indian J. Plant Physiol.*, 38: 168-170.
- Surget A. et Barron C., 2005 :** Histologie du grain de blé, *Industrie des céréales* 145: 4-7.
- Tahri E. Belabed A. Sabki K., 1998 :** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de la proline et chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine. synthétase chez trois variétés de blé dur (*Tricum durum*). *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, 21 : 81-87.

Références bibliographique

- Triboï E., 1990** : Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre. *Agronomie*. 10, 191-200.
- Tsimilli-Michael M. Pêcheux R. Strasser N., 1998** : Vitality and stress adaptation of the symbionts of coral reef and temperate foraminifers probed in hospite by the fluorescence kinetics O-J-I-P. *Archs. Sci. Genève*.51: 205 - 240.
- Vieira D. Silva J. Pham T.Fodil Y., 1990** : Workshop Européen sur la physiologie, la Biochimie et la génétique de la résistance à la sécheresse chez les plantes. *Colloque.Sci. Bot. Fr*, 147.
- Wang X. Vinocur P. Altmin A., 2003**: Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance, *plant*, P1-14.
- Wardlaw I. Dawson I. Munibi P., 1989** : The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. *ISurvey procedures and general response patterns. Agric. Res.* 40: 1-13.
- Zid E. Grignon C., 1991** : Tests de sélection précoce et résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique, *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux aride*.Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris. 91-108.

Annexes

ANNEXES

ANNEXE 1 : Analyse de la variance

1) Proline

Analysis of Variance :

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	0,000000	0,000000	362,72	0,000
Error	25	0,000000	0,000000		
Total	29	0,000000			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0000010	98,31%	98,04%	97,56%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
proline S	6	0,000016	0,000001	(0,000015; 0,000016)
proline hy	6	0,000012	0,000001	(0,000012; 0,000013)
proline thr	6	0,000015	0,000001	(0,000015; 0,000016)
proline F	6	0,000012	0,000001	(0,000011; 0,000013)
Proline T_1	6	-0,000003	0,000000	(-0,000004; -0,000002)

Pooled StDev = 9,955585E-07

Fisher Pairwise Comparisons :

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
proline S	6	0,000016	A
prolin thr	6	0,000015	A
proline hy	6	0,000012	B
proline F	6	0,000012	B
proline T_1	6	-0,000003	C

2) sucres

Analysis of Variance :

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	0,003193	0,000798	3,04	0,036
Error	25	0,006568	0,000263		
Total	29	0,009761			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0162083	32,72%	21,95%	3,11%

ANNEXES

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
sucre S	6	0,03916	0,01549	(0,02553; 0,05279)
sucre HY	6	0,05963	0,01866	(0,04600; 0,07325)
sucre the	6	0,02783	0,01092	(0,01420; 0,04146)
sucreF	6	0,03912	0,00965	(0,02549; 0,05275)
sucre T_1	6	0,03877	0,02265	(0,02514; 0,05239)

Pooled StDev = 0,0162083

Fisher Pairwise Comparisons :

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
sucre HY	6	0,05963	A
sucre S	6	0,03916	B
sucreF	6	0,03912	B
sucre T_1	6	0,03877	B
sucre the	6	0,02783	B

3) Chlorophylle

Analysis of Variance :

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	7746,8	1936,69	74,10	0,000
Error	25	653,4	26,14		
Total	29	8400,2			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5,11248	92,22%	90,98%	88,80%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
chlorofylleS	6	52,53	3,68	(48,23; 56,82)
chloro HY	6	48,313	2,088	(44,015; 52,612)
chlo ter	6	46,71	2,65	(42,42; 51,01)
chloroF	6	16,62	7,07	(12,32; 20,91)
chloro T	6	16,61	7,47	(12,31; 20,91)

Pooled StDev = 5,11248

Fisher Pairwise Comparisons :

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
chlorofylleS	6	52,53	A
chloro HY	6	48,313	A
chlo ter	6	46,71	A
chloroF	6	16,62	B
chloro T	6	16,61	B

ANNEXES

4) MS%

Analysis of Variance :

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	1516	379,03	5,65	0,002
Error	25	1676	67,04		
Total	29	3192			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
8,18763	47,50%	39,10%	24,40%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
MS S%	6	10,17	5,90	(3,28; 17,05)
MS HY%	6	16,83	10,92	(9,95; 23,72)
MS thr	6	13,00	3,15	(6,12; 19,88)
MS F %	6	16,83	2,74	(9,95; 23,72)
MS T %	6	30,83	12,80	(23,95; 37,72)

Pooled StDev = 8,18763

Fisher Pairwise Comparisons :

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
MS T %	6	30,83	A
MS F %	6	16,83	B
MS HY%	6	16,83	B
MS thr	6	13,00	B
MS S%	6	10,17	B

5) TRE%

Analysis of Variance :

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	1516	379,03	5,65	0,002
Error	25	1676	67,04		
Total	29	3192			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
8,18763	47,50%	39,10%	24,40%

ANNEXES

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
TRE S%	6	89,83	5,90	(82,95; 96,72)
TRE HY%	6	83,17	10,92	(76,28; 90,05)
TRE thr	6	87,00	3,15	(80,12; 93,88)
TRE F %	6	83,17	2,74	(76,28; 90,05)
TRE T %	6	69,17	12,80	(62,28; 76,05)

Pooled StDev = 8,18763

Fisher Pairwise Comparisons :

Factor	N	Mean	Grouping
TRE S%	6	89,83	A
TRE thr	6	87,00	A
TRE F %	6	83,17	A
TRE HY%	6	83,17	A
TRE T %	6	69,17	B

ANNEXES

ANNEXE 02 : matrices de corrélation

Matrice de corrélation (Pearson) : stress salin					
Variables	proline S	sucré S	ChlorophylleS	MS S%	TRE S%
proline S	1	-0,523	-0,068	-0,274	0,274
sucré S	-0,523	1	0,585	0,184	-0,184
Chlorophylle S	-0,068	0,585	1	0,236	-0,236
MS S%	-0,274	0,184	0,236	1	-1,000
TRE S%	0,274	-0,184	-0,236	-1,000	1
<i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i>					
p-values :					
Variables	proline S	sucré S	chlorophylleS	MS S%	TRE S%
proline S	0	0,287	0,898	0,600	0,600
sucré S	0,287	0	0,222	0,727	0,727
chlorophylleS	0,898	0,222	0	0,652	0,652
MS S%	0,600	0,727	0,652	0	< 0,0001
TRE S%	0,600	0,727	0,652	< 0,0001	0
<i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i>					
Coefficients de détermination (R ²) :					
Variables	proline S	sucré S	chlorofylleS	MS S%	TRE S%
proline S	1	0,274	0,005	0,075	0,075
sucré S	0,274	1	0,343	0,034	0,034
chlorofylleS	0,005	0,343	1	0,056	0,056
MS S%	0,075	0,034	0,056	1	1,000
TRE S%	0,075	0,034	0,056	1,000	1
Matrice de corrélation (Pearson) : Stress hydrique					
Variables	proline HY	sucré HY	chloro HY	MS HY%	TRE HY%
proline HY	1	-0,512	-0,075	0,335	-0,335
sucré HY	-0,512	1	-0,526	0,552	-0,552
chloro HY	-0,075	-0,526	1	-0,890	0,890
MS HY%	0,335	0,552	-0,890	1	-1,000
TRE HY%	-0,335	-0,552	0,890	-1,000	1
<i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i>					
p-values :					
Variables	proline HY	sucré HY	chloro HY	MS HY%	TRE HY%
proline HY	0	0,300	0,887	0,516	0,516
sucré HY	0,300	0	0,283	0,256	0,256
chloro HY	0,887	0,283	0	0,018	0,018

ANNEXES

MS HY%	0,516	0,256	0,018	0	< 0,0001
TRE HY%	0,516	0,256	0,018	< 0,0001	0
<i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i>					
Coefficients de détermination (R ²) :					
Variables	proline HY	sucre HY	chloro HY	MS HY%	TRE HY%
proline HY	1	0,262	0,006	0,112	0,112
sucre HY	0,262	1	0,277	0,305	0,305
chloro HY	0,006	0,277	1	0,792	0,792
MS HY%	0,112	0,305	0,792	1	1,000
TRE HY%	0,112	0,305	0,792	1,000	1
Matrice de corrélation (Pearson) : stress thermique					
Variables	proline TH	sucre TH	chlo TH	MS TH	TRE TH
proline TH	1	0,810	-0,634	-0,112	0,112
sucre TH	0,810	1	-0,527	-0,228	0,228
chlo TH	-0,634	-0,527	1	0,791	-0,791
MS TH	-0,112	-0,228	0,791	1	-1,000
TRE TH	0,112	0,228	-0,791	-1,000	1
<i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i>					
p-values :					
Variables	proline TH	sucre TH	chlo TH	MS TH	TRE TH
proline TH	0	0,051	0,176	0,832	0,832
sucre TH	0,051	0	0,282	0,664	0,664
chlo TH	0,176	0,282	0	0,061	0,061
MS TH	0,832	0,664	0,061	0	< 0,0001
TRE TH	0,832	0,664	0,061	< 0,0001	0
<i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i>					
Coefficients de détermination (R ²) :					
Variables	proline TH	sucre TH	chlo TH	MS TH	TRE TH
proline TH	1	0,656	0,402	0,013	0,013
sucre TH	0,656	1	0,278	0,052	0,052
chlo TH	0,402	0,278	1	0,625	0,625
MS TH	0,013	0,052	0,625	1	1,000
TRE TH	0,013	0,052	0,625	1,000	1
Matrice de corrélation (Pearson) : Témoin					
Variables	proline T_1	sucre T_1	chloro T	MS T %	TRE T %
proline T_1	1	0,450	0,831	-0,053	0,053
sucre T_1	0,450	1	0,374	0,473	-0,473
chloro T	0,831	0,374	1	0,160	-0,160
MS T %	-0,053	0,473	0,160	1	-1,000
TRE T %	0,053	-0,473	-0,160	-1,000	1
<i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i>					
p-values :					
Variables	proline T_1	sucre T_1	chloro T	MS T %	TRE T %

ANNEXES

proline T_1	0	0,370	0,040	0,920	0,920
sucré T_1	0,370	0	0,465	0,343	0,343
chloro T	0,040	0,465	0	0,761	0,761
MS T %	0,920	0,343	0,761	0	< 0,0001
TRE T %	0,920	0,343	0,761	< 0,0001	0
<i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i>					
Coefficients de détermination (R ²) :					
Variables	proline T_1	sucré T_1	chloro T	MS T %	TRE T %
proline T_1	1	0,203	0,691	0,003	0,003
sucré T_1	0,203	1	0,140	0,224	0,224
chloro T	0,691	0,140	1	0,026	0,026
MS T %	0,003	0,224	0,026	1	1,000
TRE T %	0,003	0,224	0,026	1,000	1

Matrice de corrélation (Pearson) :					
Variables	proline F	sucréF	chloroF	MS F %	TRE F %
proline F	1	0,619	0,491	0,890	-0,890
sucréF	0,619	1	0,057	0,476	-0,476
chloroF	0,491	0,057	1	0,649	-0,649
MS F %	0,890	0,476	0,649	1	-1,000
TRE F %	-0,890	-0,476	-0,649	-1,000	1
<i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i>					
p-values :					
Variables	proline F	sucréF	chloroF	MS F %	TRE F %
proline F	0	0,191	0,323	0,018	0,018
sucréF	0,191	0	0,915	0,340	0,340
chloroF	0,323	0,915	0	0,163	0,163
MS F %	0,018	0,340	0,163	0	< 0,0001
TRE F %	0,018	0,340	0,163	< 0,0001	0
<i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i>					
Coefficients de détermination (R ²) :					
Variables	proline F	Sucré F	Chloro F	MS F %	TRE F %
proline F	1	0,383	0,241	0,792	0,792
Sucré F	0,383	1	0,003	0,227	0,227
Chloro F	0,241	0,003	1	0,421	0,421
MS F %	0,792	0,227	0,421	1	1,000
TRE F %	0,792	0,227	0,421	1,000	1

ANNEXES

ANNEXE 03 : analyse de la variance (effet de la gibbérelline)

1) proline

Analysis of Variance :

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	0,000000	0,000000	15,63	0,000
Error	15	0,000000	0,000000		
Total	17	0,000000			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0000031	67,58%	63,26%	53,32%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
proline S/G	6	0,000012	0,000003	(0,000009; 0,000014)
proline G	6	0,000002	0,000003	(-0,000001; 0,000004)
proline T_1	6	0,000007	0,000004	(0,000005; 0,000010)

Pooled StDev = 3,127749E-06

Fisher Pairwise Comparisons :

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
proline S/G	6	0,000012	A
proline T_1	6	0,000007	B
proline G	6	0,000002	C

2) Sucres solubles

Analysis of Variance :

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	0,000690	0,000345	5,27	0,019
Error	15	0,000983	0,000066		
Total	17	0,001673			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0080937	41,25%	33,42%	15,40%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
sucres S/G	6	0,02113	0,01208	(0,01409; 0,02817)
sucres G	6	0,00605	0,00404	(-0,00099; 0,01309)
sucres T_1	6	0,01500	0,00585	(0,00795; 0,02204)

Pooled StDev = 0,00809368

Fisher Pairwise Comparisons :

ANNEXES

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
sucre S/G	6	0,02113	A
sucre T_1	6	0,01500	A B
sucre G	6	0,00605	B

3) chlorophylle

Analysis of Variance :

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	36,50	18,25	1,02	0,384
Error	15	267,89	17,86		
Total	17	304,39			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
4,22600	11,99%	0,26%	0,00%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
chlorophylle S/G	6	5,51	3,32	(1,83; 9,19)
chlorophylle G	6	8,34	6,15	(4,66; 12,02)
Chlorophylle T_1	6	5,158	2,183	(1,481; 8,835)

Pooled StDev = 4,22600

Fisher Pairwise Comparisons :

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Chlorophylle G	6	8,34	A
Chlorophylle S/G	6	5,51	A
Chlorophylle T_1	6	5,158	A

4) MS%

Analysis of Variance :

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	5,700	2,850	0,88	0,434
Error	15	48,364	3,224		
Total	17	54,063			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1,79562	10,54%	0,00%	0,00%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
MS S/G %	6	6,192	1,269	(4,629; 7,754)
MS G %	6	5,575	1,676	(4,012; 7,137)
MS T_1 %	6	6,950	2,292	(5,388; 8,513)

Pooled StDev = 1,79562

ANNEXES

Fisher Pairwise Comparisons :

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
MS T_1 %	6	6,950	A
MS S/G %	6	6,192	A
MS G %	6	5,575	A

5) TRE%

Analysis of Variance :

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	5,700	2,850	0,88	0,434
Error	15	48,364	3,224		
Total	17	54,063			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1,79562	10,54%	0,00%	0,00%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
TRE S/G %	6	93,808	1,269	(92,246; 95,371)
TRE G %	6	94,425	1,676	(92,863; 95,988)
TRE T_1 %	6	93,050	2,292	(91,487; 94,612)

Pooled StDev = 1,79562

Fisher Pairwise Comparisons :

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
TRE G %	6	94,425	A
TRE S/G %	6	93,808	A
TRE T_1 %	6	93,050	A

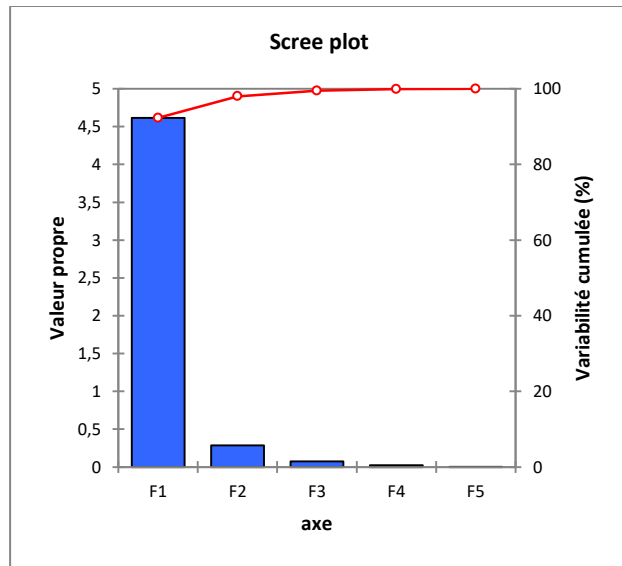
ANNEXES

ANNEXE 04 : Analyse en Composantes Principales ACP

Valeurs propres :

	F1	F2	F3	F4	F5
Valeur propre	4,6145	0,2851	0,0748	0,0215	0,0040
Variabilité (%)	92,2905	5,7021	1,4955	0,4309	0,0810
% cumulé	92,2905	97,9927	99,4881	99,9190	100,0000
Vecteurs propres :					
	F1	F2	F3	F4	F5
salin	0,4517	-0,4184	0,0756	-0,5708	-0,5380
hydrique	0,4541	-0,2965	-0,4036	0,7098	-0,1978
chaleur	0,4596	-0,2737	-0,0545	-0,2120	0,8160
froid	0,4482	0,2870	0,7988	0,2788	-0,0305
Coordonnées des observations :	0,7614	-0,4214	-0,4363	-0,2185	-0,0678

Observation	F1	F2
proline	-1,9044	-0,0100
proline	-1,9044	-0,0100
proline	-1,9044	-0,0100
proline	-1,9044	-0,0100
proline	-1,9044	-0,0100
proline	-1,9044	-0,0100
proline	-1,9044	-0,0100
Sucres solubles	-1,9011	-0,0095
Sucres solubles	-1,9015	-0,0105
Sucres solubles	-1,9015	-0,0104
Sucres solubles	-1,9011	-0,0093
Sucres solubles	-1,9025	-0,0099
Sucres solubles	-1,9014	-0,0091
chlorophylle	0,3875	-1,0211
chlorophylle	0,7857	-0,9466
chlorophylle	0,5514	-0,8910
chlorophylle	0,4862	-0,7232
chlorophylle	0,4451	-0,9091
chlorophylle	0,7851	-0,4407
MS%	-0,3395	0,3607
MS%	-0,5780	0,8030
MS%	-0,6875	0,4531
MS%	-0,4613	1,3804
MS%	-1,0600	0,4681
MS%	-0,6929	0,3829
TRE%	3,5719	0,4810
TRE%	3,8104	0,0387
TRE%	3,9199	0,3886
TRE%	3,6937	-0,5387
TRE%	4,2924	0,3736
TRE%	3,9254	0,4588



ANNEXES

ANNEXE 05 : PUCERON NOIRE

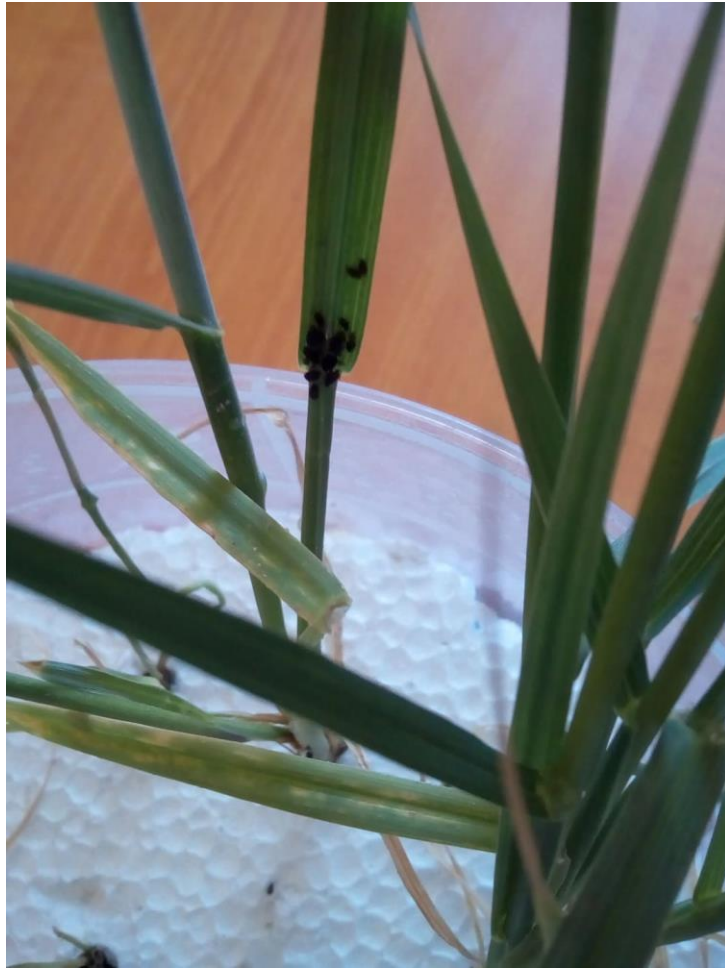


Figure 21 : L'attaque de puceron noire chez les plantes de blé dur (Originale, 2020).