

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Amar TELIDJI Laghouat
Faculté des Sciences
Département des Sciences Agronomiques



MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : Sciences de la Nature et de la Vie (SNV)

FILIERE : Sciences Agronomiques

OPTION : Amélioration des plantes

Présenté par : DAMECHE Fatima

THEME

**Étude de la tolérance de trois variétés de blé dur
(*Triticum durum Desf.*) à la salinité, cultivées en
hydroponie**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom Grade Qualité

Mr AMARA Yacine	MCD	Président
Mm Zaza Messaouda	MAA	Examineur
Mme. MALLEM Hamida	MCA	Rapporteur

Juin 2024

Titre : Étude de la tolérance de trois variétés de blé dur "' *Triticum durum* Desf.» à la salinité cultivée en hydroponie

Résumé :

La salinité des eaux et des sols constitue l'une des causes probables de la faiblesse des rendements en céréales observés actuellement dans les régions Sahariennes. L'objectif de ce travail est de comparer le comportement de trois variétés de blé dur *Triticum durum* Desf. (Vitron, Mansoura, Siméto) sous stress salin. Les plants ont été cultivés en système hydroponique durant 45 jours, des doses de NaCl (0g/l, 3g/l, 6g/l et 8g/l) ont été ajoutées à la solution nutritive, après 10 jours de stress salin, nous avons mesuré les paramètres physiologiques et biochimiques au niveau de chaque plant. Nous avons trouvé que la variété Vitron a présenté les taux les plus élevés en Biomasse totale, en teneur en eau, en proline, en K et en K/Na, par ailleurs la variété Mansoura a présenté des faibles moyennes, le taux du Na a été élevée chez cette variété. La variété Siméto a présenté des valeurs intermédiaires. Pour conclure il semble que la variété la plus tolérante au sel à 8g/l est vitron alors que la variété Mansoura est la plus sensible

Les mots clés : Blé dur, salinité, Vitron, Mansoura, Siméto, hydroponie

Title: Study of the salt tolerance of three durum wheat varieties (*Triticum durum* Desf.) grown in hydroponics

Abstract:

Salinity of water and soil is one of the probable causes of the low cereal yields observed in Saharan regions. The objective of this work is to compare the behavior of three durum wheat varieties (*Triticum durum* Desf.) under saline stress. The plants were grown in a hydroponic system for 45 days, and doses of NaCl (0g/l, 3g/l, 6g/l and 8g/l) were added to the nutrient solution. After 10 days of saline stress, we measured the physiological and biochemical parameters at the level of each plant. We found that the Vitron variety presented the highest rates of total biomass, water content, proline, K and K/Na, while the Mansoura variety presented low averages. The Na rate was high in this variety. The Simeto variety presented intermediate values. To conclude, it seems that the most salt-tolerant variety at 8g/l is Vitron, while the Mansoura variety is the most sensitive.

Keywords : Durum wheat- Salinity- Vitron- Mansoura- Simeto- Hydroponics

العنوان دراسة تحمل ثلاث أنواع من القمح الصلب «*Triticum durum Desf*». للملوحة المزروعة في نظام الزراعة المائية

الملخص:

تشكل ملوحة المياه والتربة أحد الأسباب المحتملة لانخفاض غلة الحبوب في المناطق الصحراوية. تهدف هذه الدراسة إلى مقارنة سلوك ثلاث أنواع من القمح الصلب *Triticum durum Desf* (Vitron و Mansoura و Siméto) تحت تأثير الملحي. تم زراعة النباتات في نظام الزراعة المائية لمدة 45 يوماً، وتمت إضافة جرعات من NaCl (0 غ/ل، 3 غ/ل، 6 غ/ل و 8 غ/ل) إلى المحلول الغذائي. بعد 10 أيام من إضافة جرعات متفاوتة التركيز الملحي، قمنا بقياس المعايير الفسيولوجية والكيميائية الحيوية لكل نبات. وجدنا أن صنف Vitron أظهر أعلى معدلات الكتلة الحيوية، ومحتوى الماء، والبروتين، والبوتاسيوم، ونسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم. من ناحية أخرى، أظهر صنف Mansoura أدنى متوسطات، بينما كان معدل الصوديوم مرتفعاً في هذا الصنف. أظهر صنف Siméto قيماً وسيطة. يبدو أن الصنف الأكثر تحملاً للملوحة عند 8 غ/ل هو Vitron بينما الصنف Mansoura هو الأكثر حساسية.

الكلمات المفتاحية: قمح صلب، ملوحة، Vitron، Mansoura، Siméto، الزراعة المائية

Sommaire

Résumé

Remerciement

Dédicace

Liste des Abréviations

Liste des Tableaux

Liste des Figures

	Introduction	01
Chapitre 01 : Généralités sur le blé dur		
1.1	Historique	03
1.2	Biologie du blé	04
1.2.1	Généralité sur le blé	04
1.2.1	Description botanique	05
1.2.2	L'origine génétique du blé	06
1.2.3	Le cycle de développement du blé	07
1.2.3.1	La période végétative	07
1.2.3.2	La période reproductive	07
1.2.3.3	La phase de maturation	08
1.2.4	Les conditions écologiques du blé	08
1.2.4.1	Les conditions édaphiques	08
1.2.4.2	Les conditions hydriques	09
1.2.4.3	Les conditions climatiques	09
a.	Température	09
b.	Lumière	09
c.	Fertilisation	09
Chapitre 02 : Généralité sur la salinité chez les plantes		
2.1.2	Effet du stress salin sur la physiologie de la plante	10
2.1.3	Effet du stress salin sur la photosynthèse et les échanges gazeux	10
2.1.4	Effet du stress salin sur la physiologie de la reproduction	10
2.1.5	Effet du stress salin sur la phénologie de la plante.	11
2.1.6	Mécanismes de la tolérance des plantes au stress salin	11

Chapitre 3 : Matériel et méthode		
3.1	Objectif de travail	13
3.2	Matériel végétal	13
3.3	Exigences	14
3.3.1	L'environnement de l'expérimentation de la phase germination	14
3.2	Méthodologie	14
3.2.1	Pré germination des graines	14
3.2.2	Préparation de la solution nutritive	15
3.2.3	Dispositif expérimental	16
3.2.4	Les paramètres mesurés	19
3.2.4.1	La biomasse végétale et la teneur en eau	19
3.2.4.2	Dosage de la chlorophylle totale	20
3.2.4.3	Dosage de la proline	20
3.2.4.4	Teneur en Sodium et en Potassium	21
3.2.4.5	Analyses statistiques	22
Chapitre 04 : Résultats et discussions		
4.1	Résultats	23
4.1.1	Biomasse totale (g)	23
4.1.2	La teneur relative en eau (%)	24
4.1.3	Matière sèche	25
4.1.4	Chlorophylle totale (mg/g MF)	26
4.1.5	Proline ($\mu\text{mol/g MF}$)	28
4.1.6	Le Sodium (Na)	29
4.1.7	Potassium (K)	30
4.2	Discussion	33
	Conclusion	36

Références Bibliographiques

Annexe

Remerciements

*Je remercie avant tout le **Grand Dieu Allah**, le plus puissant, le miséricordieux de m'avoir donné la force de la volonté courage et patience pour faire ce travail.*

« La connaissance est la seule chose qui s'accroît lorsqu'on la partage »

Et Parce que personne ne vient seul :

*Tout d'abord, je voudrais exprimer mes sincères remerciements et reconnaissances vont Spécialement à mon professeur, **Dr. Mallem Hamida** pour l'honneur d'être parmi vos élèves, votre encadrement et vos conseils m'ont toujours profondément impressionné.*

Pour sa confiance et compétence, sa sincérité, sa rigueur, sa patience durant ce travail et profiter de votre éducation, ainsi que votre respect.

Je tiens à remercier aussi les membres du jury de m'avoir accordé du temps et de la patience pour évaluer mon travail :

***Dr. Amara Yacine** et **Dr. Zaza Mesaouda**.*

*En particulier, je souhaite remercier chaleureusement ma cousine **Abdelali Chaima**. Dont le soutien a été inestimable, m'épauler et me motiver tout au long de ce travail.*

*Je remercie sincèrement **Mr Hadjouja Moustafa** et tous les ingénieurs de laboratoire de biologie et agronomie au niveau de département de biologie université Ammar Thlidji Laghouat pour l'aide qu'ils m'ont apportée.*

Un grand merci également à tous mes professeurs de ma spécialité Amélioration des plantes et biotechnologie du département des sciences agronomiques.

Merci à toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, que soit par son amitié, ses conseils ou son soutien moral.

*Enfin, nous adressons mes plus sincères remerciements à **mes parents** et **Mon époux**, pour leur soutien et leur patience, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire et dans toute ma carrière universitaire.*

Dédicace

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie. Je dédie mon travail à mes très chers respectueux et magnifiques parents ; mon père **Saci** et ma mère **Mama** qui m'ont soutenu, encouragé et assisté toute au long de ma vie.*

*À mon époux **Hasni** pour ton soutien inconditionnel, ta patience infinie, tes encouragements constants, ton écoute attentive et tes précieux conseils.*

*À mes chères enfants **Farouk** et **Farah** pour l'amour et votre joie de vivre qui m'inspirent chaque jour.*

*À mes deux frangins **Abdessamed** et **Abdelbasset** et ma frangine **Nour elImane**.*

*À ma belle-mère **Mebarka** et mon beau-père **Sid Ahmed** pour votre soutien indéfectible, vos encouragements constants.*

*À Mon beau-frère **Mourad** et mes belle sœurs **Latifa** et **Zoubida** et ses enfants pour votre soutien constant et vos encouragements sans faille.*

*À ma copine **Nassima** et son époux **Walide** et ses enfant.*

À mes oncles et mes très chères tantes, Vous qui avez toujours été là pour me soutenir et m'encourager.

À mes très chers cousins, où qu'ils se trouvent, à tous mes amis qui me reste toujours chers, tant qu'ils sont nombreux.

Fatima

Liste des tableaux

N°	Titre	N° de page
01	Exemple de préparation d'une solution nutritive.	15
02	Résultats de biomasse totale (g) des différentes variétés	24
03	Résultats de la teneur en eau chez les différentes variétés de blé dur	25
04	Résultats de matière sèche (%) chez les différentes variétés de blé dur	26
05	Résultats de la chlorophylle totale (mg/g MF) des différentes variétés	27
06	Résultats de la chlorophylle totale (mg/g MF) des différentes variétés.	28
08	Résultats de Potassium (K) en % de MS dans les feuilles des différentes variétés	31

Listes des Figure

N°	Tire	N° de page
01	Origine et diffusion de <i>Triticum durum Desf.</i> (Bonjean, 2001)	04
02	Description du la plante blé. A : plant de blé ; B: épi; C: épillet; D: une fleur isolée avec glume et glumelles ; E ; grains de blé dont l'un est coupé Jong.	06
03	Origine génétique du blé (Debiton, 2010).	06
04	Présentation des graines des trois variétés testées.	14
05	Etapas de désinfection et de pré germination des graines de Blé dur.	15
06	Repiquage des graines germées dans les conteneurs remplis de solution nutritive.	17
07	Schéma du dispositif expérimental adopté.	19
08	Mesure de la biomasse fraîche et sèche par séchage à l'étuve.	19
09	Dosage de chlorophylle.	20
10	Dosage de proline	21
11	Photo du spectromètre à flamme.	21
12	Effets de doses de NaCl sur la biomasse totale chez les trois variétés de blé dur.	23
13	Effets de doses de NaCl sur la Teneur en eau chez les trois variétés de blé dur.	24
14	Effets de doses de NaCl sur la matière sèche chez les trois variétés de blé dur.	25
15	Effets de doses de NaCl sur la chlorophylle totale chez les trois variétés de blé dur	26
16	Synthèse sur les taux des types de chlorophylle chez les trois variétés de blé dur.	27
17	Effets de doses de NaCl sur le taux de Proline chez les trois variétés de blé dur	28
18	Teneurs en proline chez les trois variétés du blé dur	29
19	Effets de doses de NaCl sur le taux de sodium chez les feuilles des trois variétés de blé dur	30
20	Effets de doses de NaCl sur le taux de Potassium K chez les feuilles de trois variétés de blé dur	31

Liste des abréviations

Lux : unité de la mesure (xl) indique l'intensité de l'éclairage (1 Lux signifie qu'une surface de 1m² est éclairée uniformément par 1 lumen.

Introduction

Introduction

Introduction

La salinité des sols représente une menace majeure pour la productivité des cultures à travers le monde, en particulier dans les régions arides et semi-arides (Rozema et al., 2008). Les taux élevés d'évapotranspiration, le drainage inadéquat et le lessivage limité des sels minéraux de la surface du sol entraînent une augmentation de la salinité dans ces régions (Zörb et al., 2019). Sous des régimes salins, le rendement de toute culture est significativement réduit (Etikala B et al., 2021). Dans cette optique, la salinité des sols affecte négativement presque tous les stades du développement des plantes (Bazihizina et al., 2012).

De plus, l'effet inhibiteur de la salinité perturbe de nombreux processus physiologiques, biochimiques et moléculaires des plantes, ce qui entraîne une diminution de la croissance et une réduction subséquente de la production agricole (Hasegawa et al., 2000). Il est donc nécessaire d'atténuer les effets néfastes du stress salin durant ces phases cruciales, afin d'améliorer le rendement global des cultures.

De nombreuses céréales sont classées comme sensibles au sel (Munns et Gilliam, 2015). Cette sensibilité souligne la vulnérabilité des céréales aux effets néfastes de la salinité et la nécessité de s'attaquer à la gestion du stress salin dans la culture des céréales. La salinité du sol est connue pour provoquer des effets néfastes sur les processus morphologiques, physiologiques et biochimiques (Saddiq, 2020). La salinité peut affecter le développement du blé en réduisant l'absorption d'eau et de nutriments, la capacité photosynthétique, l'activité enzymatique et, par conséquent, le rendement global des cultures (Alom et al., 2016).

Bien que la salinité affecte tous les stades de croissance du blé, les stades de développement les plus sensibles sont les premiers stades de croissance (Hasanuzzaman et al., 2017). Il est largement admis que les effets du stress salin varient d'une espèce à l'autre ou d'un cultivar à l'autre (Pour-Aboughadareh et al., 2021; Saddiq et al., 2021; Uzair et al., 2022). Chez le blé dur (*Triticum Dfes*), des niveaux élevés de sel ont une influence plus importante sur la croissance que chez d'autres espèces apparentées et les autres céréales (Borrelli et al., 2011 ; Munns et al., 2006). Le blé tendre (*T. aestivum*) est classé comme modérément tolérant au sel, tandis que le blé dur est sensible au sel.

La sensibilité au sel de ce dernier type de blé est attribuée à son exclusion inefficace du Na⁺ de ses tissus (Wuet al., 2018). La capacité d'exclure le Na⁺ dans le blé dur a été

Introduction

améliorée par l'introduction de transporteurs à haute affinité de K⁺, de *Triticum monococcum*, ce qui a permis d'améliorer significativement la tolérance à la salinité en conditions de champ (James et al., 2011 ; James et al., 2012).

L'introduction des gènes Nax1 et Nax2 par le biais de programmes de sélection a permis de développer des lignées de blé dur plus tolérantes à la salinité (Munns et al., 2012 ; Mujeeb-Kazi et al., 2019).

Outre la sélection végétale, plusieurs approches ont été utilisées pour gérer les effets néfastes de la salinité des sols sur le blé (Majeed et al., 2019).

Par exemple, l'amélioration du sol par l'application de biochar a amélioré la productivité du blé en conditions salines (Huang et al., 2019).

La gestion de l'irrigation par goutte-à-goutte s'est avérée efficace pour gérer la salinité et améliorer le rendement du blé (Mousavi et al., 2022)

Notre objectif est donc d'étudier le seuil de tolérance à la salinité de trois variétés de blé dur cultivées en régions arides, à savoir : le Vitron, le Sémito et Mansoura, en particulier nous visons à valoriser cette dernière qui est locale par rapport aux deux premières qui sont d'origine européennes. Nous avons visé à tester les réponses morphologiques et physiologiques de ces trois variétés sous différentes doses de NaCl en phase de croissance, et ce pour faire ressortir la variété la plus tolérante au sel.

La présente étude, comporte : Une partie bibliographique présentant des généralités sur le blé dur dans un premier chapitre et celles sur le stress salin chez les plantes, dans un deuxième chapitre.

Une partie expérimentale subdivisée en deux chapitres :

- L'un présentant le chapitre « matériel et méthodes » apportant les détails sur la méthodologie adoptée pour réaliser notre essai.

-le chapitre « résultats et discussion » Il contient pour afficher les résultats obtenus et aussi une synthèse de recherche fondamentale abordant et discutant les résultats des publications scientifiques traitant les paramètres faisant l'objet de cette étude. Nous terminerons notre étude par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre 01 : Généralités sur le blé dur

1.1. Historique

Le blé est parmi les premières espèces cueillies et cultivées par l'homme au proche Orient, il y a environ 10.000 à 15.000 ans avant J.C (Hervé, 1979). Des restes de blés, diploïdes et tétraploïdes, ont été découverts sur des sites archéologiques au proche Orient d'après Harlan, (1975), le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran selon Feldman, (2001).

La culture du blé s'est diffusée vers le Nord-Ouest par les plaines côtières du bassin méditerranéen et arrivé jusqu'au Balkans (URSS) puis en suivant la vallée du Danube (Allemagne) pour se fixer aussi dans la vallée du Rhin (France) entre 5000 et 6000 avant J.C.

Les restes archéologiques montrent que le blé a atteint l'Ouest de l'Europe 5000 avant J.C environ. Dans le même temps, il est introduit en Asie et en Afrique.

Son introduction en Amérique, et plus encore en Australie, n'est que très récente. L'évolution du blé s'est donc produite dans de nombreux écosystèmes, de manière relativement indépendante jusqu'au XIX siècle (Bonjean, 2001). Vavilov, en (1934), a fait intervenir, pour la première fois dans la classification, l'origine géographique en distinguant nettement deux sous espèces :

- 1- La sous espèce Europeum Vav., se trouve dans les Balkans et la Russie.
- 2- La sous espèce Mediterraneum Vav., rencontrée dans le bassin méditerranéen.

Grignac, (1978) rapporte que le moyen Orient où coexistent les deux espèces parentales se rencontrent de nombreuses formes de blé dur et serait le centre d'origine géographique du blé. L'espèce *Triticum durum* s'est différenciée dans trois centres secondaires différents qui sont :

- le bassin occidental de la Méditerranée.
- le Sud de la Russie.
- le proche Orient.

Chaque centre secondaire donna naissance à des groupes de variétés botaniques aux caractéristiques phénologiques, morphologiques et physiologique particulières (Monneveux, 1991). Selon Hamed (1979), le centre d'origine du blé est le Tigre et l'Euphrate (l'actuel Irak), puis l'espèce s'est étendue en Egypte, en Chine, en Europe et en Amérique (Figure.1).



Figure01 : Origine et diffusion de *Triticum durum* Desf (Bonjean, 2001)

Par ailleurs, Orlov et Vavilov in Gueorguiev et Arifi, (1978), considèrent le Maghreb comme origine secondaire du blé. Bonjean et Picard, (1990) affirment que le monde Romain a largement contribué à la diffusion des céréales au niveau du bassin méditerranéen vers l'Europe centrale et l'Europe de l'Ouest. Les formes sauvages identifiées de ces diverses espèces (*T. monococcum* et *T. dicoccum*) seraient originaires du proche Orient et du moyen Orient. Le blé dur selon plusieurs auteurs serait une plante anciennement cultivée et était la base de l'alimentation des premières civilisations humaines.

1.2. Biologie du blé

1.2.1. Généralité sur le blé

Le blé est plante herbacée de classe monocotylédones de la famille de poacées appartenant au genre *Triticum* (PARTS et al, 1971 ; Feillet, 2000 et Hamadache, 2013), le blé dur (*Triticum durum* Desf.) et le blé tendre (*Triticum aestivum*) sont les deux espèces les plus cultivées et les plus importantes (Benderadji, 2013) existe aussi autres espèces qui se différencient par leur degré de ploïdie (diploïde, tétraploïde et hexaploïde) ainsi que par leur nombre de chromosomes (14, 28 et 42 respectivement) (Benderadji, 2013).

Selon la classification d'APG III (2009), le blé se classe de manière suivante :

- ✓ **Règne** : Plantea
- ✓ **Sous-règne** : Tracheobionta
- ✓ **Embranchement** : Phanérogamiae
- ✓ **Sous-Embranchement** : Magnoliophyta (Angiospermes)
- ✓ **Division** : Magnoliophyta
- ✓ **Classe** : Liliopsida (Monocotylédones)
- ✓ **Sous-classe** : Commelinidae
- ✓ **Ordre** : Poales (Glumiflorale)
- ✓ **Famille** : Cyperales
- ✓ **Sous-famille** : Poaceae (Graminées)
- ✓ **Tribue** : Pooideae (Festucoideae)
- ✓ **Sous-Tribue** : Triticeae
- ✓ **Genre** : Triticinae Triticum
- ✓ **Espèces** : (T. durum, desf), (T. aestivum, desf)

1.2.1. Description botanique

Le blé dur est une plante herbacée, appartenant au groupe des céréales à paille, qui sont caractérisées par des critères morphologiques particuliers (figure 1). La tige aérienne porte le nom de chaume ; elle est creuse et cylindrique; sa cavité est interrompue régulièrement, au niveau des nœuds, par des diaphragmes. La partie végétative du chaume se ramifie fréquemment à la base. Au niveau des nœuds, au contact du sol, apparaissent des bourgeons et des racines engendrant un nouvel axe feuillé (Dupont., Guignard, 2012.). Les racines du blé sont pourvues de nombreuses racines, dites fasciculées vu leur forme en faisceaux, qui prennent naissance à la base de la tige. Elles sont de type fasciculé dont ; 55 % du poids total des racines se trouve entre 0 et 25 cm de profondeur (Clement et Prat, 1970). Les feuilles sont alternées, ligulées et engainantes. Elles ont des nervures parallèles et sont terminées en pointe (Clement et Prat, 1970). - L'inflorescence est toujours en épillets associés en inflorescence épis, se recouvrant étroitement les uns aux autres (Bonjean et Picard, 1990). - Le grain de blé dur est un fruit, appelé caryopse, c'est-à-dire un akène dont l'enveloppe est intimement soudée au tégument de la graine (Dupont et Guignard, 2012).

Les grains sont de forme ovoïde, possédant sur l'une de leur face un sillon et à l'extrémité opposée de l'embryon des touffes de poils : la brosse (Godon et al., 1991; Hemery et al., 2007). La longueur du grain de blé est comprise entre 5 et 8 mm, son poids entre 20 et 50 mg (Surget et Barron, 2005). Histologiquement, le grain de blé dur est formé

de trois types de tissu : le germe (3%), les enveloppes (13-16% du grain) et l'albumen (80-85% du grain) (Kent et Evers, 1994, Barron *et al.* 2007).

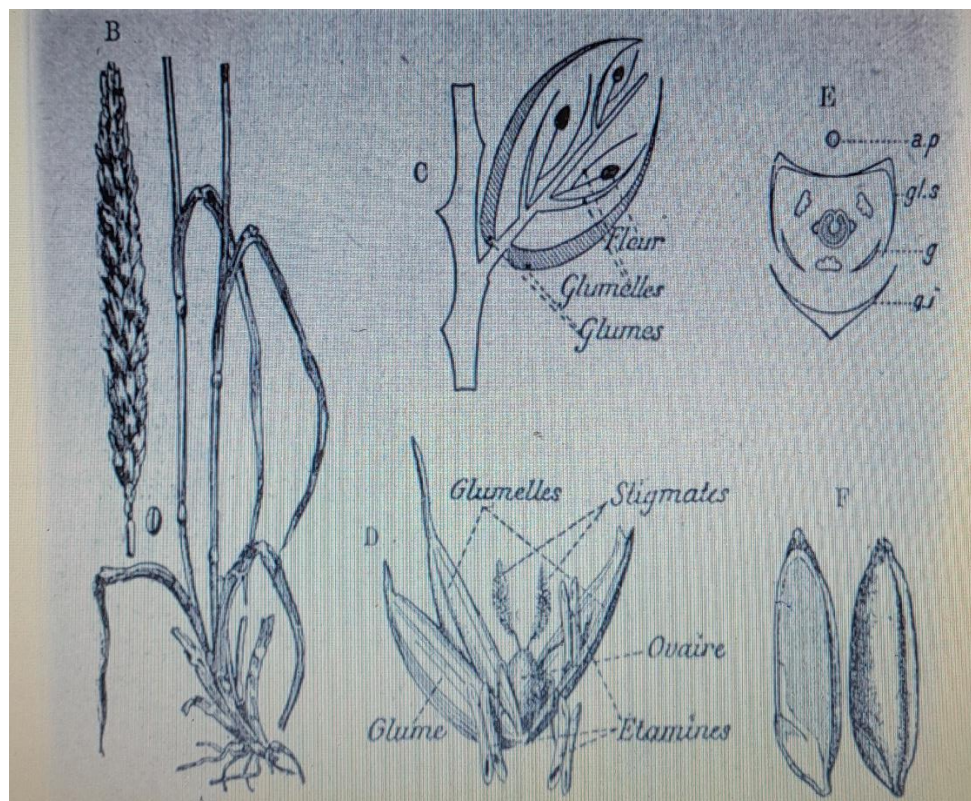


Figure02 : Description de la plante blé. A : plant de blé ; B: épi; C: épillet; D: une fleur isolée avec glume et glumelles ; E ; grains de blé dont l'un est coupé Jong.

1.2.2. L'origine génétique du blé

Selon Boulal *et al.*, (2007) les origines du blé se situent dans le croissant fertile, plus précisément au sud de l'Anatolie et au nord de la Syrie, à partir de cette région La culture du blé a été diffusée par la suite vers l'Asie, l'Afrique et l'Europe (Amrouche et Mesbah, 2017).

L'origine génétique du blé provient du croisement entre deux espèces *Triticum monococcum* (porteur du génome A) et d'une graminée sauvage appelée *Aegilops speltoides* (porteuse du génome B). Un dédoublement chromosomique a permis l'apparition d'un blé dur tétraploïde possédant un génome AABB avec un nombre total de chromosomes de $2n = 28$ (Huang *et al.*, 2002).

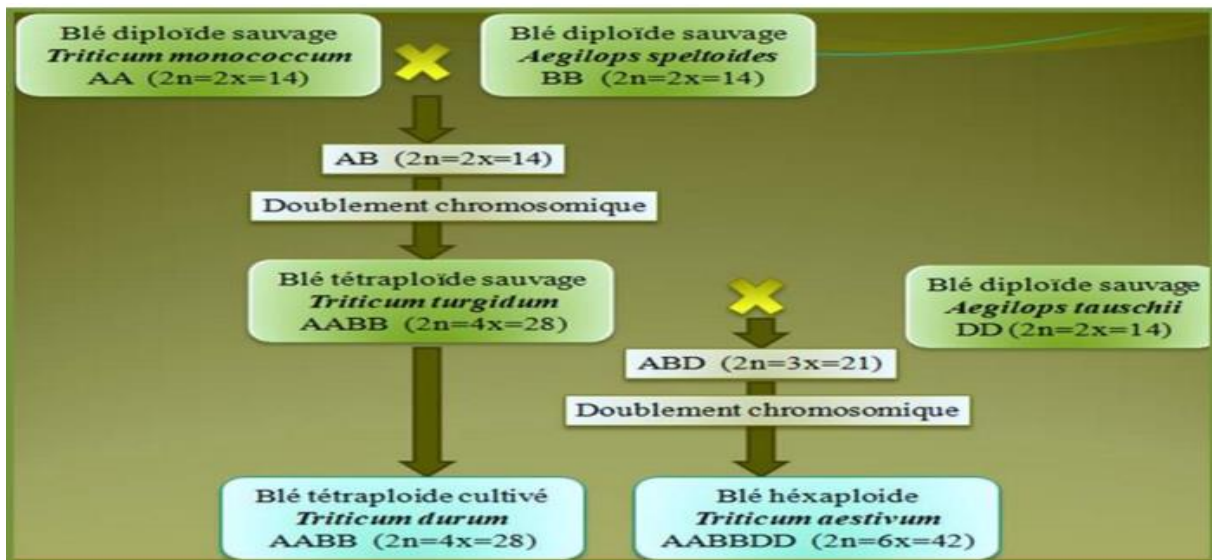
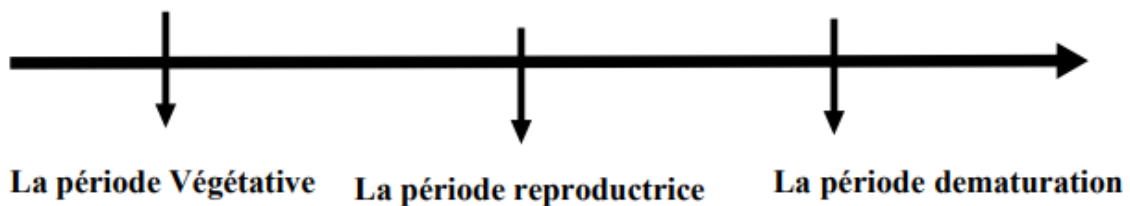


Figure 03 : Origine génétique du blé (Debiton, 2010).

1.2.3. Le cycle de développement du blé

Le cycle de développement du blé comprend trois principales phases :



1.2.3.1. La période végétative

Elle s'étend de la germination au tallage (Feillet, 2000), selon Boufenar et al., (2006) et Bill, (2007) La germination est caractérisée par l'imbibition de la semence, la réactivation des enzymes et la dégradation des réserves assimilables par l'embryon, la racicule se dégage des enveloppes séminales, le sol est alors percé par la coléoptile qui est un étui protecteur de la première feuille. La levée est caractérisée par le nombre de feuilles de la jeune plante et leur stade de développement (Giban et al., 2003). Le tallage comporte trois principaux stades : début de tallage, plein et fin tallage. Cette phase commence à partir de la quatrième feuille et elle se caractérise par l'entrée en croissance des bourgeons différenciés à l'aisselle de la première feuille, dont le bourgeon donnera le maître brin (Soltner, 2005). Le fin tallage est celle de la fin de la période végétative (Gate, 1995). Elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Soltner, 2005).

1.2.3.2. La période reproductive

La période reproductive comporte trois principales phases : la montaison, épiaison et la phase de floraison (Feillet, 2000). Selon Soltner, (2005) La montaison débute à la fin du tallage, elle est caractérisée par l'allongement des entre nœuds et la différenciation des pièces florales. L'épiaison est la sortie de l'épi de la gaine de la dernière feuille, on note l'épiaison quand l'épillet terminal apparait au-dessus de la gaine de la dernière feuille (Gate et Giban, 2003).

La floraison est marquée par la sortie des étamines lors des épillets et se termine lorsque toutes les étamines sont extériorisées (Gate et Giban, 2003).

Selon Soltner, (2005) Le blé s'amorce à changer de couleur il s'égarer sa couleur verte pour tourner plus jaune /doré/bronze.

1.2.3.3. La phase de maturation

La phase de maturation succède au stade pâteux (45% d'humidité), elle correspond à la phase au cours de laquelle le grain va égarer progressivement son humidité en passant par différents stades, elle débute à la fin du palier hydrique marqué par la stabilité de la teneur en eau des grains pendant 10 à 15 jours. Au- cette période, le grain ne perdra que l'excès d'eau qu'il contient et passera progressivement au stade rayable à l'angle (20% D'humidité), puis cassant sous la dent (15 à 16% D'humidité) (Gate et Giban, 2003).

1.2.4. Les conditions écologiques du blé

1.2.4.1. Les conditions édaphiques

Les types des sols limoneux à limono-argileux ou argilo-calcaire conviennent bien aux racines fasciculées du blé en assurant une grande surface de contact (Soltner, 2000). Selon Novak et al., (2006) Les sols qui conviennent le mieux au blé sont des drainés et profonds. On évitera les sols contenant de fortes teneurs en Na^+ , Mg^{2+} ou Fe^{2+} , la valeur optimale de pH se situe dans la gamme de 6 à 8.

Les sols à texture légère et acides, sont déconseillés pour le blé dur (Novak et al., 2006).

1.2.4.2. Les conditions hydriques

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

1.2.4.3 Les conditions climatiques

a. Température

La germination commence dès que la température dépasse 0°C, avec une température optimale de croissance située entre 15 à 22° C (Soltaner, 2000).

Selon Mekhlouf et al., (2001), les exigences en température pour les différents stades de Développement du blé de la manière suivante :

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

b. Lumière

Selon Feillet, (2000) La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement de blé. Le début de croissance nécessite une faible intensité lumineuse (500 à 1000 lux) avec une photopériode de 12 à 16 heures de lumière (Soltaner, 2000).

c. Fertilisation

La fertilisation est basée sur le principe de la restitution au sol des quantités d'éléments(NPK) fertilisants prélevés par les récoltes (Ali Daly et Mhiri., 2002). La fertilisation est un facteur d'augmentation des rendements, elle est en fonction du type de sol et du type de répartition de la pluviométrie (Abdellaoui, 2007). Selon (Ali Daly et Mhiri., 2002). L'apport de phosphore entretient la fertilité des sols, il a un effet sur la croissance et la multiplication du système racinaire.

Chapitre 02 : Généralité sur la salinité chez les plantes

2.1. Généralité sur le stress

2.1.1. Effet du stress salin sur la plante

2.1.1.1. Effet du stress salin sur la morphologie de la plante

✓ Effet du stress salin sur la partie aérienne

La salinité affecte toute la plante mais elle freine d'avantage la croissance des parties aériennes que celle des racines Munns, (2002).

D'après Munns et Rawson, (1999), l'effet de la salinité se traduit généralement par une réduction de la croissance végétative (réduction de la hauteur de la tige, nombre de tiges et de feuilles) qui est en fonction de la division et l'élongation cellulaire. Elle retarde la croissance des pousses qui sont plus sensibles aux sels que les racines mais elle pousse prématurément la plante vers la maturité.

✓ Effet du stress salin sur la partie racinaire

Selon Levigneron *et al.*, (1995), les racines sont les premières à réagir. Selon Bayuelo *et al.*, (2002), l'excès de sel dans l'environnement racinaire donne naissance à des plantes naines. La masse racinaire est moins affectée par la salinité que les limbes, les tiges et les pétioles Bayuelo *et al.*, (2002).

2.1.2. Effet du stress salin sur la physiologie de la plante

L'effet de la salinité sur la physiologie de la plante se fait sur deux paramètres : sur la photosynthèse et les échanges gazeux et sur la reproduction.

2.1.3. Effet du stress salin sur la photosynthèse et les échanges gazeux

D'après Alem *et al.*, (2002), la salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principale de la réduction de la productivité végétale.

Selon Munns, (2008), la réduction de la photosynthèse est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, qui est à l'origine de la fermeture des stomates, qui cause la réduction de la conductance stomatique. La diffusion du CO₂ à l'intérieur des stomates devient alors limitée et sa fixation au niveau des chloroplastes diminue par conséquent la régénération du RuBP (Ribulose Biphosphate) devient limitée Allen, (1995) in Lahouel, (2014).

2.1.4. Effet du stress salin sur la physiologie de la reproduction

Selon Hu, (2005), la salinité réduit le taux de croissance de la plante et ses organes reproducteurs. Ils ont étudié l'effet de la salinité sur la physiologie de la reproduction, ils ont constaté que le nombre du pollen dans deux différents types de cultivars de l'orge a été réduit de 24 à 37%. Des études réalisées par (Munns et Rawson., 1999), sur l'effet de l'accumulation du sel dans le méristème de l'orge sur la reproduction et le développement, montrent que les courtes périodes de stress salin pendant l'organogenèse peuvent avoir des conséquences irréversibles sur la fertilité de l'épi, elle provoque l'avortement des ovaires.

2.1.5. Effet du stress salin sur la phénologie de la plante.

✓ Effet du stress salin sur la germination

La salinité peut affecter le taux germinatif des grains et accuse un retard dans l'initiation du processus de la germination des plantes qu'elles soient des glycophytes ou des halophytes Debez *et al.*, (2001).

Le chlorure de sodium présent dans le sol ou dans l'eau de l'irrigation affecte la germination des glycophytes dont le blé de deux manières, il diminue la vitesse de germination et réduit le pouvoir germinatif Said et Haddioub, (2011).

✓ Effet du stress salin sur la croissance et le développement

La salinité provoque le plus souvent un retard dans le développement El- Mekkaoui, (1990). L'effet de la salinité se manifeste, par la suite, par l'arrêt de la croissance, le dépérissement des tissus sous forme de nécroses marginales, suivi par une perte de turgescence, par une chute des feuilles et finalement par la mort de la plante , la croissance foliaire est généralement plus affectée par le sel que la croissance racinaire des espèces céréalières cultivées (Munns., 1993).

2.1.6. Mécanismes de la tolérance des plantes au stress salin

✓ Exclusion des ions

Selon Sentenac et Berthomieu, (2003), la plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne de cellules de

Chapitre 02 : Généralité sur la salinité chez les plantes

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 les gouvernent sont encore largement inconnus Lahouel, (2014).

✓ **Ajustement osmotique**

L'ajustement osmotique, suite à un stress osmotique provoqué par la présence de NaCl dans le milieu extérieure est réalisé par l'accumulation de solutés organiques, parmi ces composés s'accumulant lors du stress salin, on trouve les acides aminés comme la proline Hassani et al., (2008) et des sucres (fructose, saccharose) et leur dérivés alcool (glycérol, mannitol, pinitol) et des méthylamines (Glycine bétaine) El Midaoui et al., (2007).

✓ **Régulation de la croissance**

Ils été démontré que les réponses physiologiques à divers stress tels que la sécheresse ou la salinité, ont des caractéristiques similaires, ils provoquent toute une augmentation de la concentration en ABA dans la partie aérienne ou une réduction de concentrations en cytokinine Lahouel, (2014).

D'après Zhu, (2001), la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour limiter les effets du stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles.

✓ **L'inclusion**

Les plantes résistantes au NaCl, accumulant le Na⁺ dans les feuilles ou est séquestré soit dans la vacuole de l'épiderme foliaire ou les limbes âge Zhu, (2001).

Selon Terman et Skerrett, (1999), présent dans les feuilles, l'inclusion, intervient alors sur certaines plantes, elles utilisent en effet le sel pour ajuster la pression osmotique de leurs cellules. Elles laissent donc monter le sel dans leurs parties aériennes, mais ce dernier reste stocké dans les vacuoles, et isolé des constituants cellulaires vitaux Zhu, (2001).

Chapitre 03 : Matériel et méthode

3.1 Objectif de travail

Nous avons visé par notre expérimentation à évaluer les réponses morphologiques et physiologiques de trois variétés de blé dur vis à vis de la salinité sous différentes doses de NaCl.

3.2 Matériel végétal

Ces variétés présentent les caractéristiques suivantes :

- ✓ **Variété Mansourah** : c'est une nouvelle variété, sa port au tallage est demi dressé, un rendement en grain élevé, faiblement sensible au mitadinage, elle faiblement colorée à la maturité
- ✓ **Variété SIMETO** : Cette variété est semée entre mi-novembre et mi-décembre. Elle se caractérise par une compacité d'épi moyenne, une couleur d'épi blanche et une hauteur de plante à maturité de 90-100 cm. Son cycle végétatif est semi-précoce, avec un fort tallage. Elle est sensible à la sécheresse mais tolérante au froid. Elle présente également une bonne résistance aux maladies.
- ✓ **Variété VITRON** : Originaire d'Espagne, cette variété se caractérise par une paille de hauteur moyenne à haute, un cycle végétatif demi-précoce et un tallage moyen. Elle est mieux adaptée aux régions arides et semiarides. Il est important de noter que la variété Vitron présente une paille moelleuse en section transversale et des grains allongés.



Figure 04 : Présentation des graines des trois variétés testées.

3.3. Exigences expérimentales

3.3.1. L'environnement de l'expérimentation de la phase germination

Notre essai a été réalisé dans une étuve (reglée à 20°C) au niveau du laboratoire du département d'Agronomie de l'université de Laghouat.

3.2 Méthodologie

L'essai a été conduit au laboratoire du département d'agronomie durant 2 mois sous des conditions contrôlées de température, nous avons adopté la culture en système hydroponique, nous avons préparé une solution nutritive à laquelle nous avons additionné différentes doses de NaCl.

3.2.1 Pré germination des graines

Avant l'installation de l'essai, nous avons fait germer les graines a l'étuve sous 20°C et ce afin de pouvoir les semer dans les conteneurs contenant la solution nutritive. Les graines au nombre de 100 pour chaque variété, sont désinfectées à l'eau de javel 1%, lavées abondamment à l'eau, puis rincées à l'eau distillée. Elles sont ensuite mises à germer dans des boites de Pétri tapissées de papier filters, nous avons ajouté 10 ml de l'eau distillée.



Figure 05 : Etapes de désinfection et de pré germination des graines de Blé dur.

3.2.2 Préparation de la solution nutritive

La solution nutritive est constituée de l'eau distillée addionnée avec des macro-éléments et des oligo-éléments. Pour le control de cette solution il faut contrôler régulièrement le pH=5.5-6.5 et là CE=1.5-2 ms/cm. Nous avons adopté la formulation de Houagland et Arnon (1950) décrite comme suit dans le tableau.

Tableau 01 : Exemple de préparation d'une solution nutritive.

Réactif	Quantité de réactif dans 1L d'eau distillé (ml/L)
<u>Macro-éléments</u>	
KNO₃	2.5
KH₂PO₄	0.5
Ca(NO₃)₂.4H₂O	2.5
MgSO₄ .7H₂O	1

<u>Olégo-éléments</u>	
Fe-EDTA	1.5
NH₄NO₃	1
H₃BO₃	1
MnCl₄.4H₂O	1
ZnSO₄.7H₂O	1
CuSO₄	1
Na₂MoO₄.2H₂O	1

3.2.3 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est une randomisation totale à deux facteurs étudiés : le premier facteur est le facteur variété à 3 niveaux (V1 :Oued el bared, V2 : Simeto, V3 : Vitron) et le second facteur est le facteur Doses de NaCl à 4 niveaux (0g/l, 3g/l, 6g/l et 8g/l). Chaque niveau est répété 4 fois pour chaque variété, soit au total 48 conteneurs . nous avons remplis les conteneurs avec de la solution nutritive , après nous avons repiqué les granes qui ont été pégermées dans l'etuve , a travers des orrifices sur le couvercle, qui nous ont permis de maintenir les racines émergées dans la soltution nutritive, la partie aerienne est maintenues à l'air libre (fig. 06).



Figure 06 : Repicage des graines germées dans les conteneurs remplis de solution nutritive

L'ensemble des boîtes sont placés dans le Laboratoire à la température ambiante (18°C-20°C) l'essai a débuté le 13/02/2024, dans un endroit présentant une bonne intensité lumineuse.

Afin de maintenir une levée homogène, nous avons cultivé les plants de Blé durant 1 mois dans uniquement la solution nutritive sans apport de sel, un renouvellement de la solution nutritive a été fait chaque 15 jours jusqu'à l'application du stress salin.

Dose NaCl	3g/l	6g/l	8g/l	10g/l
Variétés				
Mansoura				

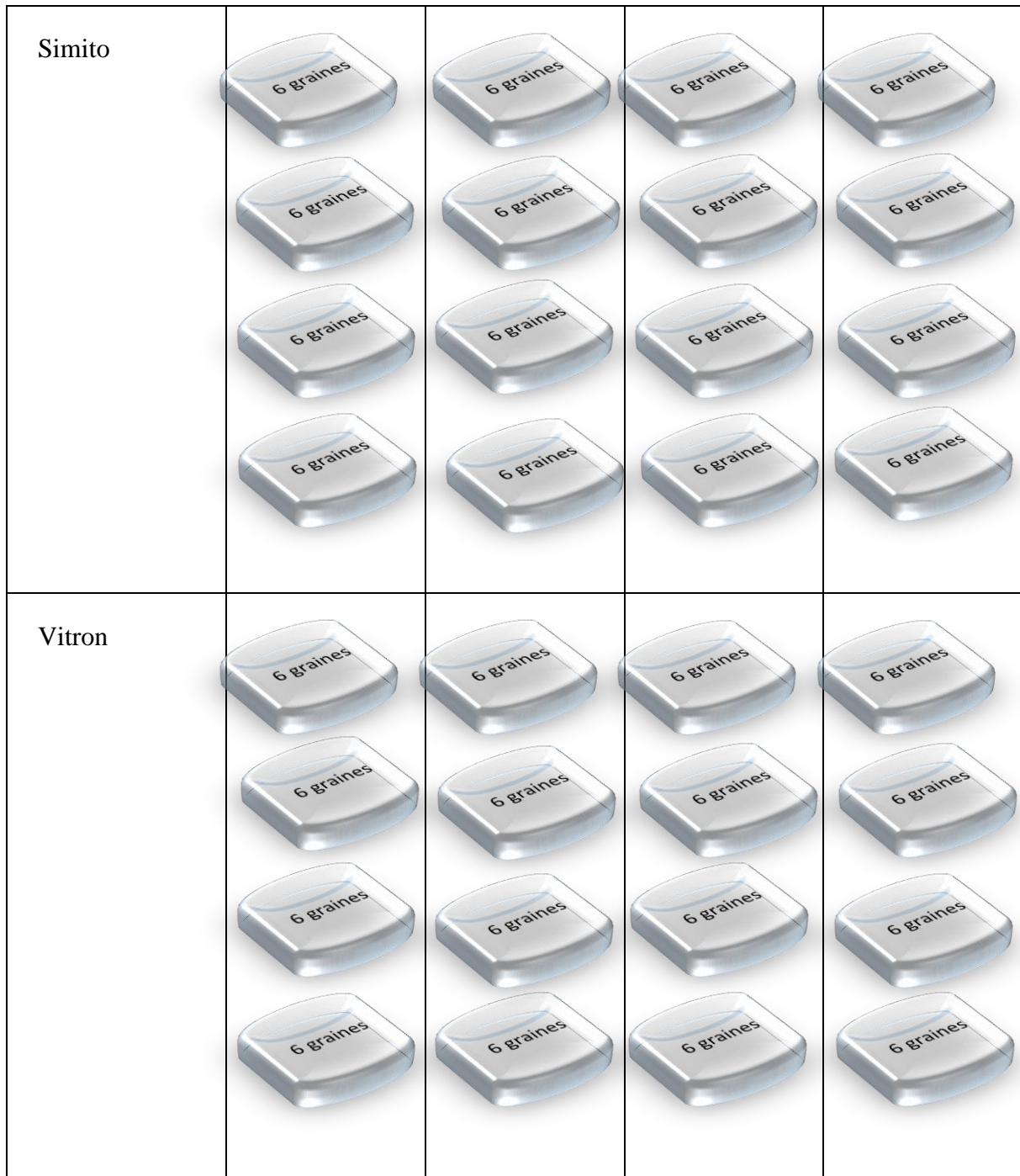


Figure 07 : Schéma du dispositif expérimental adopté.

Après, 30 jours de semis, on ajoute dans chaque boîte du sel NaCl à 4 doses différentes : 0g/l, 3g/l, 6g/l, 8g/l. Dès qu'un jaunissement est apparu chez les plants cultivés dans la concentration en NaCl la plus élevée (8g/l) : nous avons arrêté l'expérience pour mesurer les paramètres morphologiques et physiologiques. L'application du stress salin a duré donc 10 jours, les plants ont été au stade 4 feuilles (Fig.08).

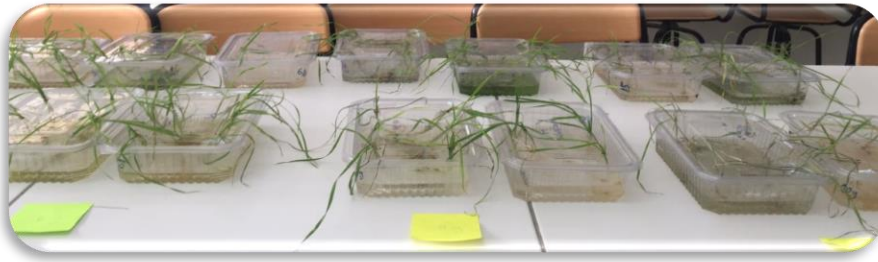


Figure 07 : Aspect des plants des variétés du Blé dur à 40 jours après semis.

3.2.4 Les paramètres mesurés

3.2.4.1 La biomasse végétale et la teneur en eau

Le poids frais de la partie aérienne et de la partie racinaire et un paramètre de croissance qui nous permettra de tester la réponse de chaque variété aux différentes doses de NaCl, elle est déterminée à la fin de chaque durée de stress, par la pesée de la masse de matière fraîche, puis la matière sèche après séchage dans une étuve à ventilation à 70°C pendant 48 heures. Elle est mesurée pour les parties aérienne et racinaire (Fig.08).



Figure 08 : Mesure de la biomasse fraîche et sèche par séchage à l'étuve.

Pour la teneur relative en eau (TRE%) est ensuite calculée par la formule suivante selon Garnier et Laurent (1994) par la formule suivante ; $TRE (\%) = 100 \times (PF - PS) / (PF)$; avec PF : poids frais et PS : poids sec.

3.2.4.2 Dosage de la chlorophylle totale

La méthode utilisée est celle d'Arnon (1949). Dans des tubes à essais on ajoute sur 100 mg d'échantillon frais, Coupé en petits fragments, 5 ml d'acétone à 80% dilué à 40 ml d'eau distillée et 160 ml d'acétone, pendant 24 heures conservé à la zone ombrée, les concentrations de la chlorophylle a, la chlorophylle b sont déterminées à l'aide d'un spectrophotomètre à des densités optiques respectivement de 663 nm et 645 nm. La teneur totale en chlorophylle a été déterminée selon l'équation : $Chlorophylle\ totale\ (mg/g\ MF) = 20,2 \times DO\ (645\ nm) + 8,02 \times DO\ (663\ nm) \times V / M$, où V désigne le volume de l'extrait total en litres et M la masse de la matière fraîche broyée en grammes.



Figure 09 : Dosage de chlorophylle.

3.2.4.3 Dosage de la proline

La méthode appliquée est celle de Bates et *al.* (1973), qui est basée sur la réaction d'oxydation proline-ninhydrine. Pour extraire le soluté, 100 mg de matière fraîche (MF) dans 2 ml de méthanol (40%) ont été chauffés à 85°C dans un bain-marie pendant 1 h. Après refroidissement à 1 ml d'extrait, nous avons ajouté 1 ml d'acide acétique, 25 mg de ninhydrine, 1 ml de mélange (120 ml de H₂O, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide orthophosphorique), puis réchauffer 30 minutes à 100°C. Après refroidissement, 5 ml de toluène ont été ajoutés à la solution et agités, la phase supérieure a été récupérée et 5 mg de Na₂SO₄ de sodium anhydre ont été ajoutés. La densité optique (OD) a été déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre (DO 528 nm).



Figure 10 : Dosage de proline

3.2.4. 4. Teneur en Sodium et en Potassium

Pour la détermination de la concentration en Na + et K +, 0,5 g de feuilles séchées de chaque plante ont été broyées et incinérées à 550 °C pendant 8 heures, suivies d'une digestion acide. Les concentrations d'ions Na et de K+ en pourcent de matière sèche ont été déterminées par spectromètre à flamme, après avoir établie des courbes pour la gamme étalon.

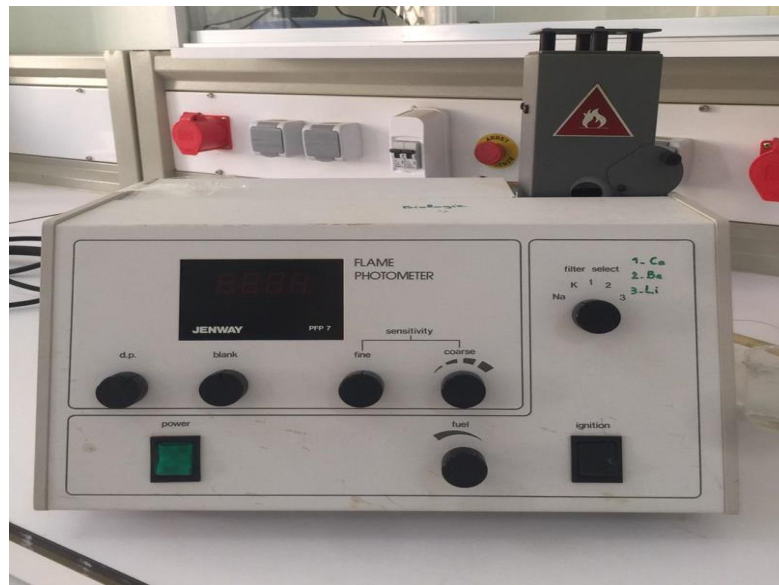


Figure 11 : Photo du spectromètre à flamme.

3.2.4.5. Analyses statistiques

Nous avons traité les données enregistrées avec le Logiciel XLSAT (version 2016), nous avons réalisé le test ANOVA à deux facteurs étudiés (effet de la variété et effet du stress salin), 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.

Chapitre 04 : Résultats et discussions

4.1 Résultats

4.1.1 Biomasse totale (g)

Selon l'ANOVA en annexe 01, l'effet de différentes doses de NaCl a été très hautement significative ($P \leq 0.0001$), les moyennes de la biomasse totale ont oscillé entre 0.2g et 0.5 g par plant après 40 jours de semis. Selon le modèle de régression présenté dans la fig. 12, nous avons constaté que la variété Vitron a présenté des biomasses plus ou moins stables de 0g/l à 8g/l de NaCl, la variété Siméto a diminué légèrement, par ailleurs la variété Mansoura a présenté une régression remarquable à partir de la dose 6 g/l.

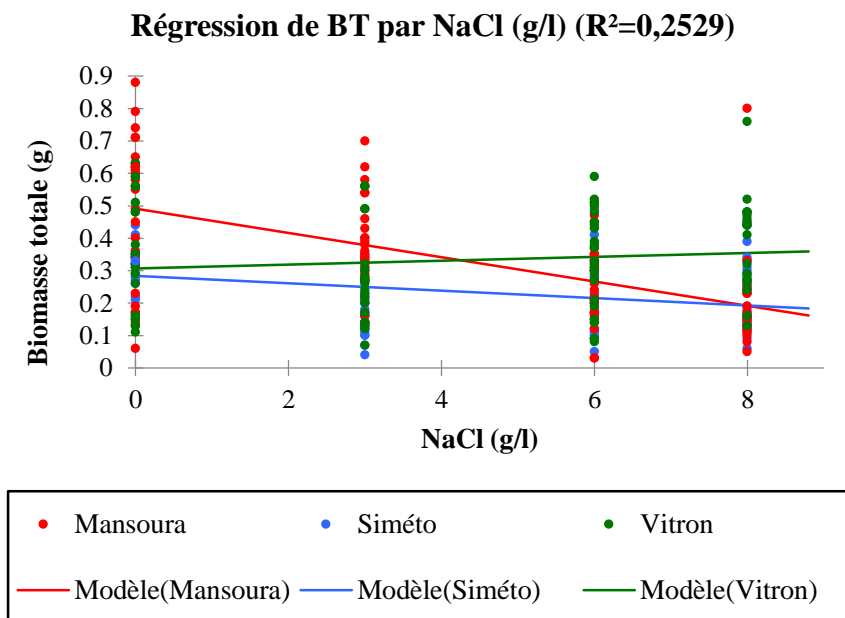


Figure 12 : Effets de doses de NaCl sur la biomasse totale chez les trois variétés de blé dur.

Pour le facteur variété la différence a été aussi très hautement significative pour le test ANOVA en annexe 01 ($P \leq 0.0001$), les valeurs dans le tableau 02, ont indiqué que la variété qui a présenté la plus faible biomasse a été Siméto (0.23g).

Tableau 02 : Résultats de biomasse totale (g) des différentes variétés

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Groupes	
Siméto	0.2334	0.0156	A	
Vitron	0.3325	0.0152		B
Mansoura	0.3379	0.0151		B

4.1.2. La teneur relative en eau (%)

Selon l’ANOVA en annexe 02, l’effet de différentes doses NaCl a été très hautement significative ($P=0.0057$), les moyennes de la teneur en eau (%) dans les feuilles des trois variétés, ont oscillé entre 73.84% et 95% après 40 jours de semis. Selon le modèle de régression présenté dans la fig. 13, nous avons constaté que la variété Vitron a présenté des TRE plus ou moins stables de 0g/l à 8g/l de NaCl, la variété Siméto et la variété Mansoura, en présenté une régression remarquable à partir de la dose 3 g/l.

Chez le témoin 0g/l de NaCl, la variété Mansoura a présenté la plus haute moyenne (95%), la plus faible moyenne a été présenté chez Siméto (88.73%), la variété Vitron a présenté une valeur intermédiaire (88.82%). Le model de régression a montré que Manssoura et Siméto ont diminué leur TRE à 80.7% et 73.87% successivement sous la dose de 8g/l de NaCl.

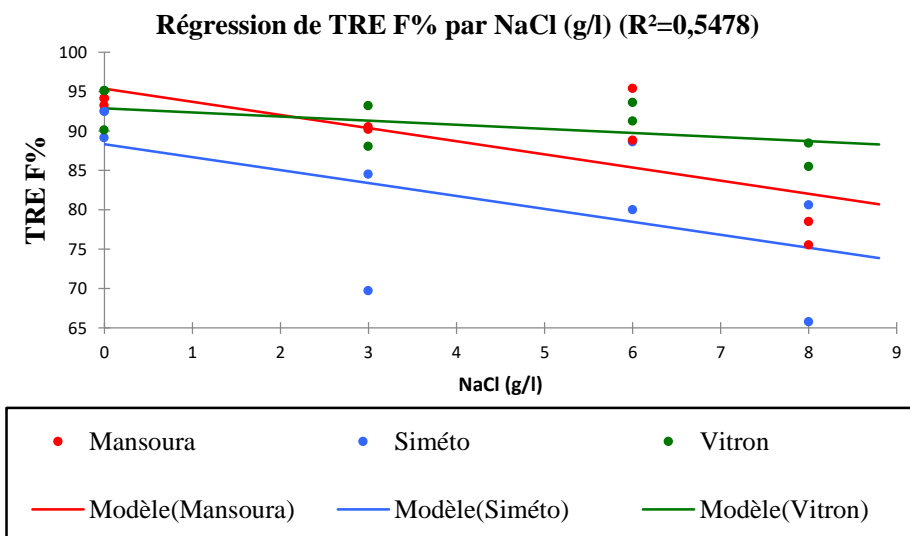


Figure 13 : Effets de doses de NaCl sur la Teneur relative en eau chez les trois variétés de blé dur.

Pour le facteur variété la différence a été aussi significative ($P= 0.01$) pour le test ANOVA en annexe 02, les valeurs dans le tableau 03, ont indiqué que la variété qui a présenté la plus faible TRE a été Siméto (81.34%), la variété Vitron a présenté 90.64%.

Tableau 03 : Résultats de la teneur en eau chez les différentes variétés de blé dur

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Groupes	
Siméto	81.3444	2.1354	A	
Mansoura	88.2757	2.1354	A	B
Vitron	90.6465	2.1354		B

4.1.3. Matière sèche

Selon l'ANOVA en annexe 03, l'effet de différentes doses de NaCl a été non significative ($P=0.9$) pour ce paramètre, les moyennes de la matière sèche ont oscillé entre 4.89 et 26.12 par plant après 40 jours de semis. Selon le modèle de régression présenté dans la fig. 14, nous avons constaté que la variété Vitron a présenté la matière sèche plus ou moins stables de 0g/l à 8g/l de NaCl, par contre la variété Siméto et Mansoura ont présenté une augmentation remarquable à partir de la dose 3 g/l.

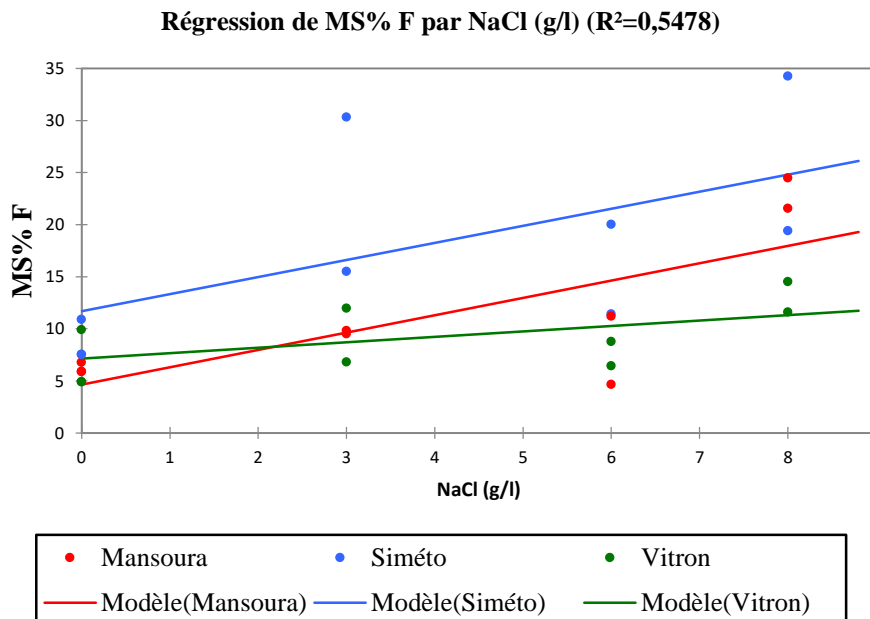


Figure 14 : Effets de doses de NaCl sur la matière sèche chez les trois variétés de blé dur.

Pour le facteur variété la différence a été aussi significative pour le test ANOVA en annexe 03 ($P= 0.01$), les valeurs dans le tableau 04, ont indiqué que la variété qui a présenté la plus faible moyenne de matière sèche a été Vitron (9.35%) alors que Siméto a présenté la plus haute valeur (18,65%).

Tableau 04 : Résultats de matière sèche (%) chez les différentes variétés de blé dur

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Groupes	
Vitron	9.3535	2.1354	A	
Mansoura	11.7243	2.1354	A	B
Siméto	18.6556	2.1354		B

4.1.4. Chlorophylle totale (mg/g MF)

Selon la figure 15, et selon l'analyse statistique présentée en annexe 04, L'ANOVA a révélé une différence très hautement significative ($P \leq 0.0009$) pour la dose NaCl.

Nous avons constaté que le taux de la chlorophylle totale augmente en fonction de la concentration saline chez les 3 variétés, les valeurs les plus élevées de la chlorophylle ont été observée chez Mansoura et Siméto avec 28.81 mg /g MF sous la dose de 8g/l de sel , comparé au témoin (0g/l) où les valeurs ont oscillé entre 18 et 22 mg/g MF , par ailleurs la variété vitron a présenté une valeur plus stable en fonction des doses croissantes de NaCl.

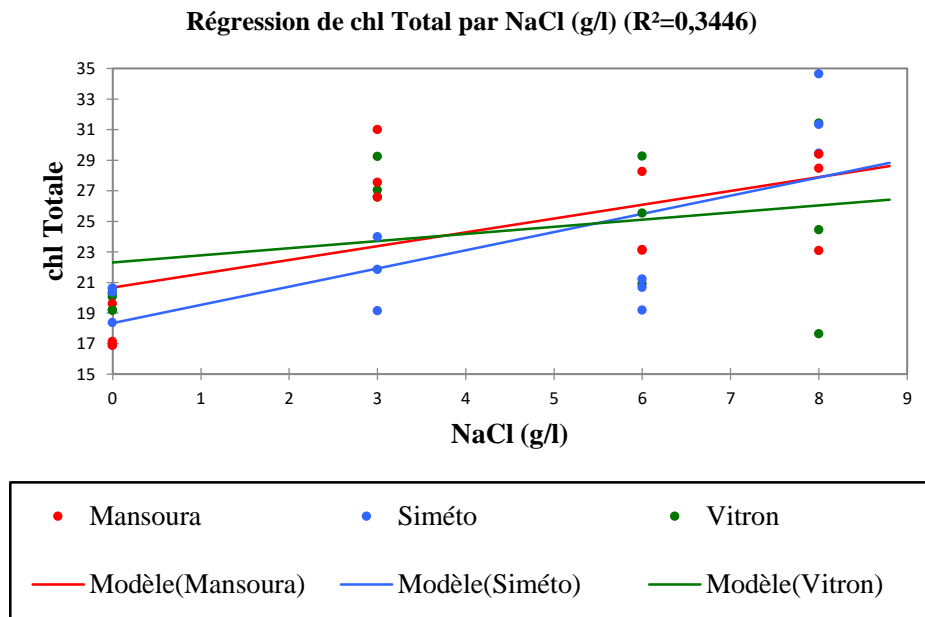


Figure 15 : Effets de doses de NaCl sur la chlorophylle totale chez les trois variétés de blé dur

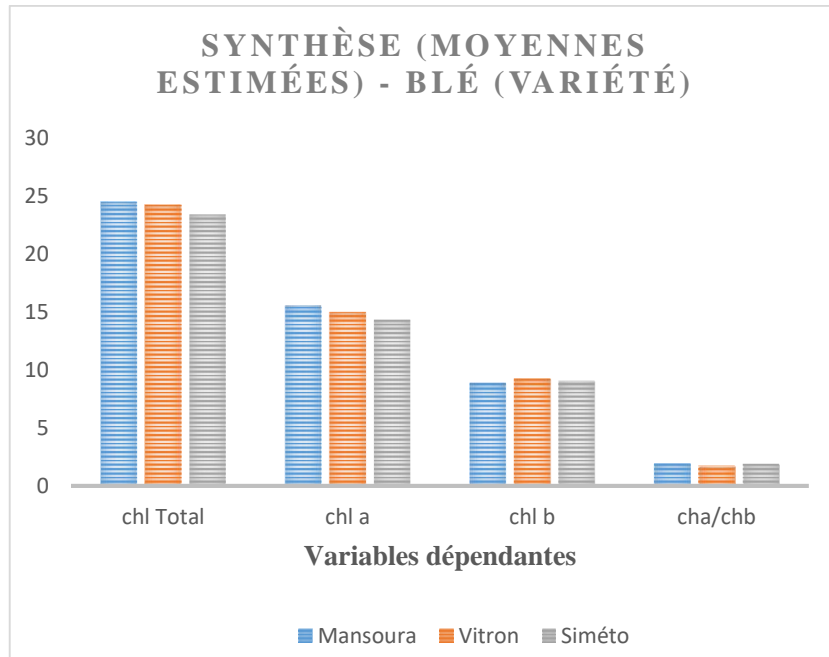


Figure 16 : Synthèse sur les taux des types de chlorophylle chez les trois variétés de blé dur.

Pour le facteur variété la différence a été non significative pour le test ANOVA en annexe 04 (P= 0.41),

Qui a présenté les trois variétés dans le même groupe statistique (A), et des valeurs minimales ont marquées chez la variété Vitron (Tableau 05), dans la fig. 16, nous avons présenté les calculs de la chlorophylle a, et b et aussi le rapport Chla / Chlb, se sont aussi des paramètres utilisés pour discuter la réponse chlorophyllienne en milieu salin, nous avons constaté que ces taux n'ont pas été différents entre les variétés.

Tableau 05 : Résultats de la chlorophylle totale (mg/g MF) des différentes variétés.

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Groupes
Vitron	23,3939	1,2142	A
Siméto	24,2877	1,2142	A
Mansoura	24,5070	1,2142	A

4.1.5. Proline ($\mu\text{mol/g MF}$)

Selon l'analyse statistique présentée en annexe 05, L'ANOVA a révélé que la teneur en proline figure.17, a varié d'une façon très hautement significative ($p \leq 0,0001$) pour les variétés et concentrations de NaCl étudiées.

L'augmentation de la quantité en proline chez les variétés les doses élevés est en corrélation positive avec le degré de stress, plus la dose est forte plus le contenu en proline est important. La synthèse de cet acide aminé a en effet, commencée bien précocement chez la variété Vitron sous les doses 8g/l, 6g/l et 3g/l.

Par contre, la variété Siméto a été caractérisée par plus faible contenu en proline par rapport aux autres variétés (0.1 $\mu\text{mol/g}$ jusqu'au 3 $\mu\text{mol/g}$) de 0g/l à 8g/l, les valeurs obtenues sont de l'ordre pour les doses respectes.

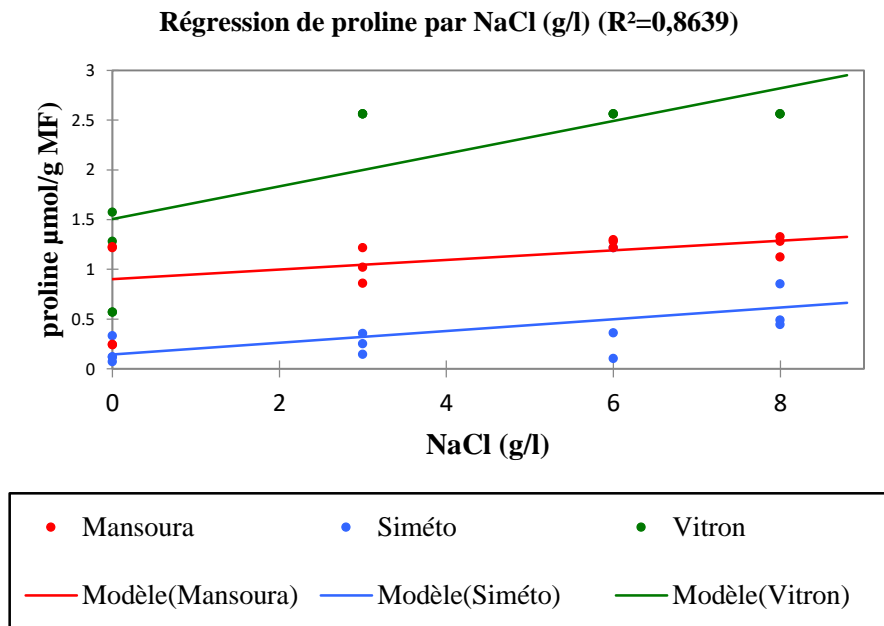


Figure 17 : Effets de doses de NaCl sur le taux de Proline chez les trois variétés de blé dur

Pour le facteur variété la différence a été significative pour le test ANOVA en annexe (P \leq 0.0001) qui a présenté les trois variétés dans trois groupes statistiques différents A, B, C (fig. 18), la variété Siméto a présenté la plus faible teneur (0,39 $\mu\text{mol/g MF}$), alors que Vitron a présenté une teneur élevée en Proline (2, 20 $\mu\text{mol/g MF}$), Mansoura a présenté une moyenne intermédiaire.

Tableau 06 : Résultats de la proline des différentes variétés.

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes		
Siméto	0.3943	0.1016	0.1868	0.6018	A		
Mansoura	1.1075	0.1016	0.9001	1.3150		B	
Vitron	2.2051	0.1016	1.9976	2.4125			C

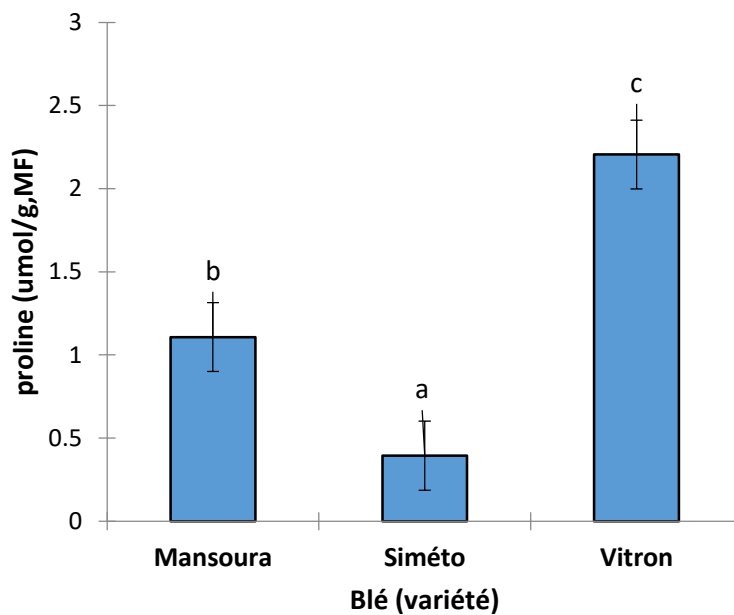


Figure 18 : Teneurs en proline chez les trois variétés du blé dur

4.1. 6. Le Sodium (Na)

Selon la figure 19, et selon l'analyse statistique présentée en annexe 06, L'ANOVA a révélé une différence très hautement significative ($P \leq 0.0001$) pour la dose NaCl.

Nous avons constaté qu'il y a une augmentation remarquable du taux de Na chez les feuilles de trois variétés en fonction de la dose du sel, la variété Mansoura a présenté la plus forte accumulation du sodium dans les feuilles elle a accumulé un taux de 0,08 % de sodium a 8g/l de NaCl, suivie de la variété Siméto ensuite Vitron, ce dernier a atteint 0,05 % de Na à 8g/l de NaCl.

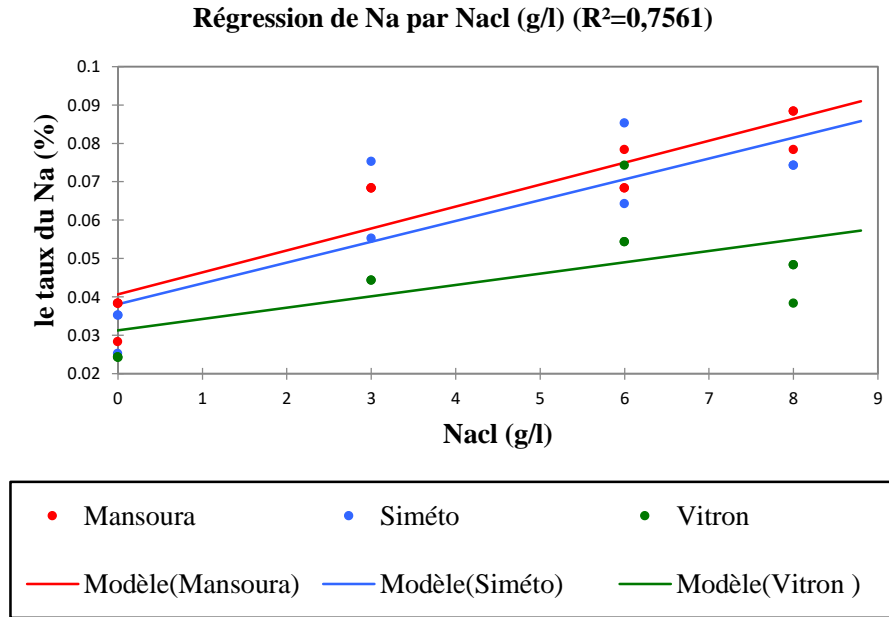


Figure 19 : Effets de doses de NaCl sur le taux de sodium chez les feuilles des trois variétés de blé dur.

Pour le facteur variété la différence a été hautement significative pour le test ANOVA en annexe 06 ($P= 0.002$) qui a présenté deux variétés dans le même groupe statistique (B) Mansoura et Siméto, et des valeurs minimales marquées chez la variété Vitron par (0.044 %)

Tableau 07 : Résultats du Sodium (Na) en % de MS dans les feuilles des différentes variétés

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Groupes	
Vitron	0.0444	0.0035	A	
Siméto	0.0617	0.0038		B
Mansoura	0.0655	0.0031		B

4.1.7. Potassium (K)

Selon l'ANOVA en annexe 07, l'effet de différentes doses NaCl a été non significative ($P=0.61$), les moyennes de la teneur K ont oscillé entre 0.79 % et 0.5 % après 40 jours de semis. Selon le modèle de régression présenté dans la fig. 20, nous avons constaté que la variété Vitron a présenté des plus hautes valeurs de 0g/l à 8g/l de NaCl, la variété Siméto et la variété Mansoura, en présenté une régression remarquable à partir de la dose 3 g/l.

Chez le témoin 0g/l de NaCl, la variété Vitron a présenté la plus haute moyenne (0.75 %), la plus faible moyenne a été présentée chez Mansoura (0.5 %), la variété Siméto a présenté

une valeur intermédiaire (0.65 %). Le model de régression a montré que Manssoura et Siméto ont diminué leur teneur en K en fonction des doses de NaCl.

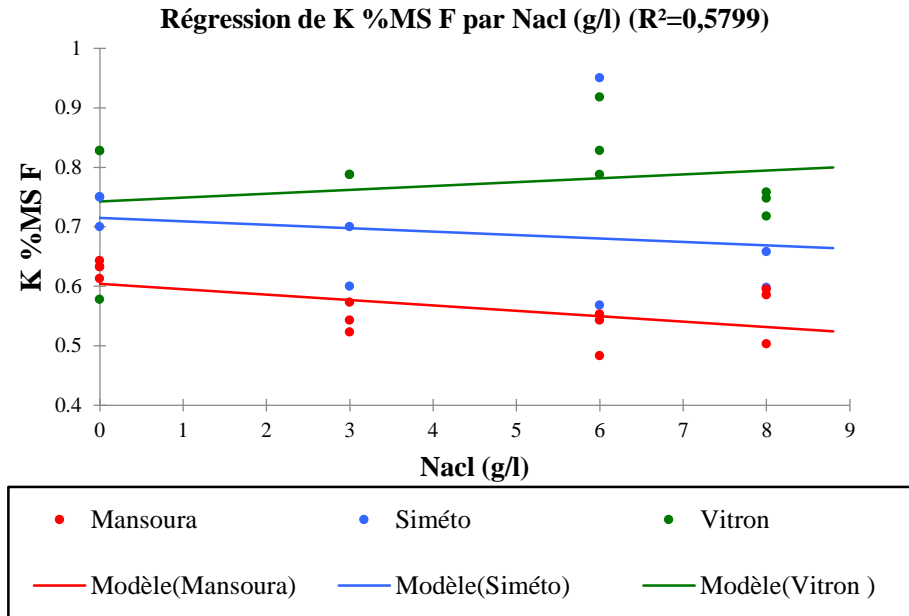


Figure 20 : Effets de doses de NaCl sur le taux de Potassium K chez les feuilles de trois variétés de blé dur.

Pour le facteur variété la différence a été non significative pour le test ANOVA en annexe 07 (P= 0.11), les valeurs dans le tableau 07, ont indiqué que la variété qui a présenté la plus faible teneur en K a été Manssoura 0.56 %, la variété Vitron a présenté 0.77%.

Tableau 08 : Résultats de Potassium (K) en % de MS dans les feuilles des différentes variétés

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes	
Mansoura	0.5669	0.0255	0.5143	0.6195	A	
Siméto	0.6916	0.0312	0.6273	0.7560		B
Vitron	0.7715	0.0281	0.7136	0.8294		B

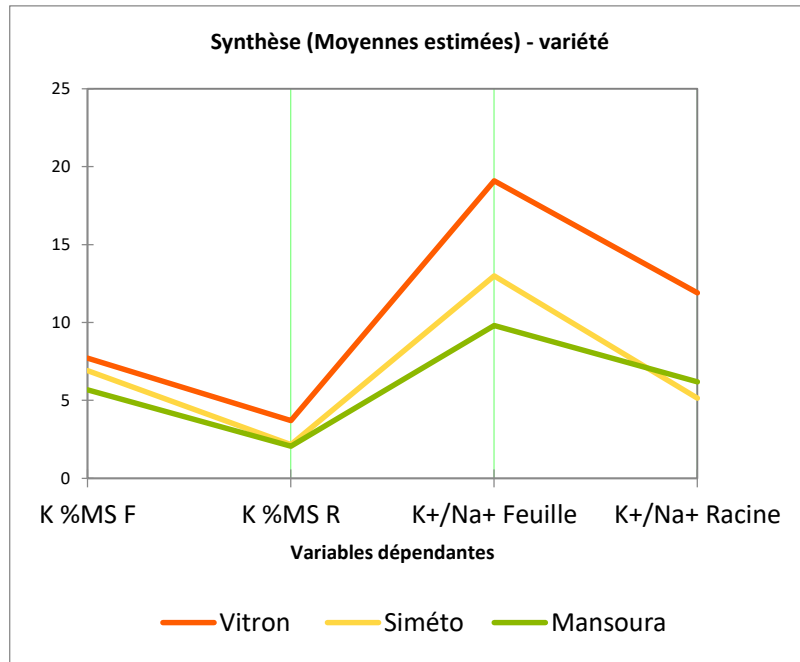


Figure 21 : Synthèse moyenne de rapport K⁺/Na⁺.

4.2. Discussion

La salinité affecte différents mécanismes physiologiques des plantes, y compris les modifications de l'équilibre ionique, les perturbations de l'activité enzymatique et les modifications de la formation de la membrane et d'autres macromolécules. Résister et/ou l'adaptation des plantes à la salinité dépendra de leur capacité à maintenir la salinité, vivre dans des conditions défavorables en évitant ou en tolérant le stress.

En général, les plantes traitées avec des doses croissantes de NaCl sont affectées dans leur croissance conduisant au nanisme, ces phénomènes ont été plus fréquemment rapporté pour expliquer les effets du NaCl (Seregin et Ivanov, 2001 ; Malkowski et al., 2002 ; Patra et al., 2004 ; Kopittke et al., 2007). C'est déjà Hammett (1929) l'a souligné il y a 84 ans.

Nos résultats obtenus dans cette étude, montrent que la salinité étudiée au seuil des doses testées a influencé sur la biomasse ; la teneur en eau, le taux de matière sèche, la chlorophylle, la proline, le Sodium (Na) et le Potassium (K), chaque variété a réagi différemment au sel.

Pour les paramètres de croissance nos résultats concernant la biomasse et la matière séchée, nous avons trouvé que la variété Vitron suivi par la variété Siméto a présenté les plus haute valeurs, par ailleurs la variété Mansoura a présenté les faibles valeurs, il semble que la variété Vitron est la plus tolérante au sel et la variété Mansoura est la plus sensible.

Nos résultats sont en accord avec les travaux de d'El Mekkaoui (1987, 1990) indiquant que la concentration 150 mM en NaCl provoque une réduction de croissance de 50% au stade tallage des variétés sensibles de blé et d'orge cultivées en hydroponie et sous serre. Et aussi cet étude confirme que ; L'impact du sel sur l'expansion foliaire est plus marqué avec une réduction importante de la surface foliaire en présence des fortes concentrations en NaCl. Des résultats similaires ont été rapportés chez le blé par Hu et al. (2005).

Nos résultats montrent que l'augmentation du traitement salin s'accompagne d'une réponse physiologique de blé dur, conduisent à une diminution de la teneur relative en eau pour les variétés Mansourah et Siméto , elles ont présenté les plus basses valeurs, la variété Vitron a été légèrement stable dans les doses les plus sévère par rapport au témoin, nos résultats coïncident avec ceux de Kim et al., (2005) Pour examiner l'effet osmotique du stress abiotique dans les tissus végétaux traités, la teneur relative en eau est souvent mesurée. Ainsi, selon

d'autres auteurs, le stress salin résulte de la perturbation des fonctions de nutrition hydrique, minérale et carboné des plantes (Levitt, 1980 ; Levigneron et al., 1995).

Concernant les paramètres biochimiques, en fonction de l'intensité du stress salin chez les trois variétés *Triticum durum Desf.* (teneur en chlorophylles, la proline et la teneur de Sodium Na et Potassium K) ont aussi été influencé par le sel.

Nos résultats ont montré que le contenu en chlorophylle augment chez les trois variétés par rapport au témoin, au niveau de témoin la plus haute valeur a été marquée chez Vitron , mais dans le sel 8g/l Mansoura et siméto ont présenté les plus hautes valeurs.

Plusieurs travaux ont montré que la structure des chloroplastes est affectée par les conditions environnementales sévères et en particulier par le stress salin qui entraîne une désorganisation des systèmes granaires et lamellaires (Hernandez et al., 1995 ; Keiper et al., 1998 ; Ben Khaled et al., 2003). Cette désorganisation des thylakoïdes est liée à un changement de la composition ionique de l'espace stromatique (Salama et al., 1994).

L'accumulation de la proline est l'une des manifestations les plus remarquables chez les plantes pour limiter les effets du stress salin afin de réaliser l'ajustement du potentiel osmotique dans le cytoplasme (Sannadaet al., 1995 ; Belkhodja et Benkabilia, 2000). L'accumulation de proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (osmotiques, hydriques, thermiques) (Blum, 1996). Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent plus marquées (Savouré et al., 1995).

Nos résultats indiquent que la variété Vitron présente une teneur en proline qui augmente en fonction du stress salin plus que chez Mansoura et Siméto.

Les résultats obtenus conduisent aux Analyses minérales montrent que les trois variétés de blé dur cultivées en présence des différences dose de NaCl sont fortement envahies par les ions Na sodium dont les teneurs augmentent en fonction de la concentration du sel, le plus faible taux en Na est chez la variété Vitron, comparé à Mansourah et Siméto. Nos résultats Sont confirmés par Mass et Hoffman, (1978) Chez le blé dur, le transfert du sodium Na vers la partie aérienne joue un rôle important dans la régulation des équilibres hydriques au niveau des feuilles

Par contre les teneurs en potassium K diminuent en fonction de la concentration de NaCl pour atteindre les valeurs les plus faibles aux plus fortes concentrations.

Nos résultats sont en concordance avec ceux trouvés par Mani et Hachanni (2015) et Sultana et al. (2001), les teneurs en Na dans la partie foliaire a été plus élevée que dans la partie racinaire. Cette caractéristique ionique suppose que les plantes de blé dur se comportent comme des « includres ». le stress salin a augmenté les niveaux de Na et Cl dans toutes les parties de la goyave, en particulier dans les feuille, ce qui entraine une réduction de la coissance (Ferreira et al., 2001).

Par conséquent, la sélectivité K^+/Na^+ pourrait être considérée comme un indice efficace pour la tolérance du blé au sel. D'après nos résultats, le rapport K/Na très élevé chez la variété Vitron suivi par la variété Siméto, alors que la variété Mansoura a présenté les plus faibles valeurs, les travaux De Lacerda et al. (2005) ont signalé que les plantes tolérantes maintiennent un rapport K /Na élevé dans leurs parties aériennes suite à une discrimination de l'absorption de K et Na au niveau des racines ainsi que de leur transport dans les parties aériennes.

Conclusion

Conclusion

Notre travail a porté sur l'analyse de l'effet de différentes concentrations de NaCl sur la croissance et la physiologie de trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) : Mansoura, Siméto et Vitron, et ce afin de préciser leurs limites de tolérance à la salinité. Afin de comprendre les réponses morphologiques et physiologiques de chaque variété au stress salin, nous avons mesuré : la biomasse totale, la teneur relative en eau, le pourcentage de la matière sèche, l'accumulation des pigments chlorophylliens, l'accumulation des prolines, le taux Sodium et le Potassium après 45 jours de semis.

Nous avons constaté que l'effet de la dose de sel NaCl a été significatif chez les trois variétés étudiées, la biomasse, la teneur relative en eau et la matière sèche. La biomasse totale a diminuée remarquablement pour la variété Mansoura, alors que chez Vitron et Siméto elle a été plus stable et ce en fonction de la dose croissante de sel. La teneur relative en eau a chuté considérablement chez Mansoura et Siméto, le Taux de matière sèche a augmenté chez ces dernières, alors que chez le Vitron ce taux demeure stable.

Concernant les paramètres biochimiques, les résultats obtenus montrent clairement une nette évidence de l'influence du stress salin au niveau de la chlorophylle, Mansoura et Siméto ont augmenté leur teneur en chlorophylle totale significativement sous la dose 8g/l de NaCl, généralement l'augmentation de cette synthèse semble jouer un rôle important dans l'homéostasie cellulaire contre le NaCl.

D'après ce qu'on a remarqué dans notre étude c'est la variété Vitron qui a accumulé plus de proline dans le milieu plus salin (2.29 $\mu\text{mol/g}$ jusqu'au 2.95 $\mu\text{mol/gMF}$) par rapport aux deux autres variétés. Le taux élevé en proline a bien expliqué le maintien d'une teneur élevée en eau chez le Vitron et sa tolérance aux sels.

Pour les résultats de l'analyse ionique chez le Blé dur, il s'est apparu que Mansoura a accumulé plus de sodium dans ses feuilles c'est un caractère d'exclusion qui s'est produit chez cette variété pour fuir le sel, par ailleurs le vitron a accumulé moins de Sodium et plus de K, cette variété a présenté le rapport K/Na le plus élevé confirmant que cette variété est la plus tolérante au sel alors que Mansoura a présenté les moyennes les plus faibles en K, et K/Na ce qui confirme aussi sa sensibilité en milieu salin.

Conclusion

D'autre part, La comparaison des résultats obtenus pour les trois variétés (Vitron et Mansoura et Siméto) montre que la variété Sémito est indifférente aux doses de NaCl ; la variété Mansoura est la plus sensible, alors que la variété Vitron aime le sel, ceci peut attribuer à cette dernière le caractère halophyte marginale.

Les résultats aux quelles nous nous somme parvenu demeurent partielle mais contribuent forcement a l'enrichissement des travaux visant à créer un matériel végétal à capacité de tolérance au stress salin plus prononcé.

Enfin comme perspective, nous souhaitons refaire l'essai chez d'autre stades du cycle végétatifs du blé dur, et ce afin de voir l'effet du sel sur la germination, la croissance et le rendement du blé chez les trois variétés étudiées.

Pour mener à bien cette étude, il serait intéressant d'élargir l'investigation à d'autres méthodes d'analyse et aux autres marqueurs de stress salin (dosage des anthocyanes, dosage de polyphénol,.) et aussi de détecter les gènes de tolérance au stress .

Référence bibliographique

Référence bibliographies

Arnon DI. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. polyphenoxidase in beta vulgaris. plant physiology. 24: 1-15.

Alem C. (2002). Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. C. R. Biologies, Vol 325,1097-1109.

Ali Daly A., Mhiri A. (2002). Fertilisation phospho- potassique du blé dur en culture intensive en Tunisie.

Allen R.D., (1995). Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. Plant Physiol, 1049-1054.

Alom, R.; Hasan, M.A.; Islam, M.R.; Wang, Q.F. Germination Characters and Early Seedling Growth of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes under Salt Stress Conditions. *J. Crop Sci. Biotechnol.* **2016**, *19*, 383–392. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Amrouche, I., et Mesbah-El, K.A. (2017). Effet du stress abiotique sur l'accumulation des protéines totales chez deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Master en Biologie et Génomique Végétale. Université des Frères Mentouri Constantine. 25p.

APG III. (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants : APG II. Botanical Journal of the linnean society

Bates L., Waldren R. & Teare I. (1973). Rapid Determination of Free Proline for Water-Stress Studies. Plant and Soil. 39: 205-207

Bayuelo J. (2002). Salinity tolerance of phaseolus species during germination and early seedling growth. Crop Sci., 2184-2192.

Bazihizina, N.; Barrett-Lennard, E.G.; Colmer, T.D. Plant Growth and Physiology under Heterogeneous Salinity. *Plant Soil* **2012**, *354*, 1–19. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Benderradji, L. (2013). Sélection in vitro pour la tolérance aux stress salin et thermique chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Thèse de Doctorat. Université des Frères Mentouri Constantine. 20-29-32-33-41-67p

Bill I. 2007. La biologie d'A à Z : 1100 définitions. Ed. Dunod, Paris, 123p.

Bonjean A .et Picard E., 1990. Les céréales à paille origine, historique, économie et sélection. Ed. Nathan, 235p.

Bonjean A., 2001. Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Dossier de l'environnement de l'INRA, 21 :29-37

Borrelli, G.; Ficco, D.; Giuzio, L.; Pompa, M.; Cattivelli, L.; Flagella, Z. Durum Wheat Salt Tolerance in Relation to Physiological, Yield and Quality Characters. *Cereal Res. Commun.* **2011**, *39*, 525–534. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Boufenar-Zaghouane, F., et Zaghouane, O. (2006). Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC).

Boulal, H., Zaghouane, O., El Mourid, M., et Rezgui, S. (2007). Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). ITGC, INRA, ICARDA. Algérie.

Debez A., Chaibi W. & Bouzid S. (2001). Effet of NaCl and growth regulators on germination of (*Atriplex halimus* L) Cahiers d'Etudes et de Recherches Francophones Agricultures (France).

Debiton, C. (2010). Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy. Thèse de Doctorat. Université Clermont- Ferrand.

EL Midaoui M. (2007). Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to nitrogen and potassium deficiency. *Helia*. Vol 22, 139-148.

El-Mekkaoui M. (1990). Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le blé et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis.

Etikala, B.; Adimalla, N.; Madhav, S.; Somagouni, S.G.; Keshava Kiran Kumar, P.L. Salinity problems in groundwater and management strategies in arid and semi-arid regions. In *Groundwater Geochemistry: Pollution and Remediation*; Madhav, S., Singhmethods, P., Eds.; John Wiley & Sons Ltd.: Hoboken, NJ, USA, 2021; pp. 42–56. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

FEILLET, (2000). Le grain de blé, composition et utilisation. Edition INRA, Paris : pp23-25. G JONES H., FLOWERS T J., JONES M B., 1989, Plants Under stress. Cambridge, Cambridge University Pres

FEILLET, (2000). Le grain de blé, composition et utilisation. Edition INRA, Paris : pp23-25. G JONES H., FLOWERS T J., JONES M B., 1989, Plants Under stress. Cambridge, Cambridge University Press.

Garnier BY. & Laurent G. (1994). Leaf anatomy. specific mass and water content in congeneric annual and perennial grass species. *New Phytol.* 128: 725-736.

Gate, P. (1995). Ecophysiologie du blé, Edit. Lavoisier, Paris, Technique et documentation, 429, p.

Giban ., M Gate, P. (2003). Stade du blé, Ed. Paris, ITCF 68.

Grignac P., 1978. Amélioration variétale de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Annale de l'INA (El – Harrach)* : 83 -110.

Gueorguiv D et Arifi., 1978. Corrélation entre la tallage et l'épiaison du blé dur .*Al Awamia. Revue*, 55: 57- 53.

Hamadache A. (2013). Eléments de phytotechnie générale-Grandes Cultures-Tome 1 : le blé, 11-49.

Hamed M., 1979. Plantes et culture des cultures céréalières, les cultures légumineuses. Syria.

Hasanuzzaman, M.; Nahar, K.; Rahman, A.; Anee, T.I.; Alam, M.U.; Bhuiyan, T.F.; Oku, H.; Fujita, M. Approaches to Enhance Salt Stress Tolerance in Wheat. In *Wheat Improvement, Management and Utilization*; Wanyera, R., Owuoche, J., Eds.; InTech: Cambridge, ON, USA, 2017; pp. 151–187. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Hasegawa, P.M.; Bressan, R.A.; Zhu, J.K.; Bohnert, H.J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Biol.* **2000**, *51*, 463–499. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Hassani. (2008). Effet de la Salinité Sur L'eau et Certains Osmolytes Chez L'orge (*Hordeum Vulgare*L). *European Journal of Scientific Research.* Vol (23), 61-69.

Herve Y., 1979. Introduction à l'amélioration des plantes. Cours. École nationale supérieure agronomique de Rennes.

Hoagland DR, Arnon DI. The water-culture method for growing plants without soil. *Calif Agric Exp Stn Circ.* 1950. 23.

Hu Y. (2005). Salinity and the growth of non-halophytic grass leaves : the role of mineral nutrient distribution. *Plant Biol*, vol 973- 985.

Huang, M.; Zhang, Z.; Zhai, Y.; Lu, P.; Zhu, C. Effect of Straw Biochar on Soil Properties and Wheat Production under Saline Water Irrigation. *Agronomy* **2019**, 9, 457. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Huang, S., Sirik hachornkit, A., Su, X., Faris, J., Gill, B., Haselkorn, R., et Gornicki, P. Résumé (2002). Genes encoding plastid Acetyl-CoA carboxylase and 3-phosphoglycerate kinase of the Triticum/Aegilops complex and the evolutionary history of polyploid wheat. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(12), 8133-8138.

James, R.A.; Blake, C.; Byrt, C.S.; Munns, R. Major Genes for Na⁺ Exclusion, *Nax1* and *Nax2* (Wheat *HKT1;4* and *HKT1;5*), Decrease Na⁺ Accumulation in Bread Wheat Leaves under Saline and Waterlogged Conditions. *J. Exp. Bot.* **2011**, 62, 2939–2947. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

James, R.A.; Blake, C.; Zwart, A.B.; Hare, R.A.; Rathjen, A.J.; Munns, R. Impact of Ancestral Wheat Sodium Exclusion Genes *Nax1* and *Nax2* on Grain Yield of Durum Wheat on Saline Soils. *Funct. Plant Biol.* **2012**, 39, 609. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Lahouel H. (2014). Contribution à l'étude de l'influence de salinité sur le rendement des céréales (cas de l'orge) dans la région de Hemadna à Relizane. Mémoire de Master. Algérie : Université d'Abou- Bekrbelkaid Tlemcen 18-30 p.

Lahouel H. (2014). Contribution à l'étude de l'influence de salinité sur le rendement des céréales (cas de l'orge) dans la région de Hemadna à Relizane. Mémoire de Master. Algérie : Université d'Abou- Bekrbelkaid Tlemcen.

Levigner A., Lopez F., Berthomieu P., Casse-Delbart F. (1995). Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agriculture* 4, 263-273. France.

Majeed, A.; Muhammad, Z. Salinity: A Major Agricultural Problem—Causes, Impacts on Crop Productivity and Management Strategies. In *Plant Abiotic Stress Tolerance*; Hasanuzzaman, M., Hakeem, K.R., Nahar, K., Alharby, H.F., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2019; pp. 83–99. [[Google Scholar](#)]

Mekhlouf A., Bouzerzour H., Bemahammed A., Hadj Sahraoui A. et H arkati N. (2001). Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum*, Desf) au climat semi-aride. *Sécheresse* 17(4).

Monneveux P., 1991. Quelle stratégie pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? In : Chalbi Demarly Y. éd. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey. ENSA-INRA: 165-186.

Mousavi, H.; Bruning, B.; Van Straten, G.; Almås, Å.R.; Lethin, J.; Naik, N.; Hassan, S.; Olsson, O.; Aronsson, H. Effects of Increasing Salinity by Drip Irrigation on Total Grain Weight Show High Yield Potential of Putative Salt-Tolerant Mutagenized Wheat Lines. *Sustainability* **2022**, *14*, 5061. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Mujeeb-Kazi, A.; Munns, R.; Rasheed, A.; Ogbonnaya, F.C.; Ali, N.; Hollington, P.; Dundas, I.; Saeed, N.; Wang, R.; Rengasamy, P.; et al. Breeding Strategies for Structuring Salinity Tolerance in Wheat. In *Advances in Agronomy*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019; Volume 155, pp. 121–187. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Munns R. (1993). Physiological processes limiting plant growth in saline soils : some dogmas and hypotheses. *Plant, Cell & Environment*, *16*(1), 15-24.

Munns R. (2008). Sodium excluding genes from durum wheat and sea barleygrass improves sodium exclusion of bread wheat. 2nd International Salinity Forum Salinity, water and society-global issues, local action.

Munns R., Rawson H.M., (1999). Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol*, 459-464.

Munns, R.; Gilliham, M. Salinity Tolerance of Crops—What Is the Cost? *New Phytol.* **2015**, *208*, 668–673. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Munns, R.; James, R.A.; Läuchli, A. Approaches to Increasing the Salt Tolerance of Wheat and Other Cereals. *J. Exp. Bot.* **2006**, *57*, 1025–1043. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Munns, R.; James, R.A.; Xu, B.; Athman, A.; Conn, S.J.; Jordans, C.; Byrt, C.S.; Hare, R.A.; Tyerman, S.D.; Tester, M.; et al. Wheat Grain Yield on Saline Soils Is Improved by an Ancestral Na⁺ Transporter Gene. *Nat. Biotechnol.* **2012**, *30*, 360–364. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Novak S., Kockmann F., et Villard A. (2006). Adapter la stratégie culturale au type de sol140 *Perspective Agricole* 322.

PARTAS et CLEMENT-GRANCOURT, (1971). Les céréales. Ed.J.B. Baillièrè et fil.

Pomeranz Y., 1988. Chemilcal composition of kernel structures. Wheat chemistry and technology, 1: 97-158.

Pour-Aboughadareh, A.; Mehrvar, M.R.; Sanjani, S.; Amini, A.; Nikkhah-Chamanabad, H.; Asadi, A. Effects of Salinity Stress on Seedling Biomass, Physiochemical Properties, and Grain Yield in Different Breeding Wheat Genotypes. *Acta Physiol. Plant.* **2021**, *43*, 98. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Rozema, J.; Flowers, T. Crops for a Salinized World. *Science* **2008**, *322*, 1478–1480. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Saddiq, M.S.; Afzal, I.; Basra, S.M.A.; Iqbal, S.; Ashraf, M. Sodium Exclusion Affects Seed Yield and Physiological Traits of Wheat Genotypes Grown Under Salt Stress. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* **2020**, *20*, 1442–1456. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Saddiq, M.S.; Iqbal, S.; Hafeez, M.B.; Ibrahim, A.M.H.; Raza, A.; Fatima, E.M.; Baloch, H.; Jahanzaib; Woodrow, P.; Ciarmiello, L.F. Effect of Salinity Stress on Physiological Changes in Winter and Spring Wheat. *Agronomy* **2021**, *11*, 1193. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Said Boudaa B., Haddioub A. (2011). Effet du stress salin sur la germination de quelque espèce du genre atriplex. Revue (Nature& technologie). N° 05/Juin 2011.

Sentenac H., Berthomieu P. (2003). Découverte d'un nouveau mécanisme de tolérance des plantes au sel. UMR Biochimie et physiologie moléculaire des plantes (Unité mixte Ecolenationale supérieure agronomique de Montpellier), Service Presse INRA, 34 p.

Soltner D. (2000). Phytotechnie générale : les bases de la production végétales. Tome 1 : le sol et son amélioration. Ed. Collection sciences et techniques agricoles.

Soltner D. (2005). Les grandes productions végétales. Ed. Collection sciences et techniques agricoles.

Surget A., Barron C., 2005. Histologie du grain de blé, Industrie des céréales, 145: 47.

Terman S.D., Skerreit I.M. (1999). Root ion channels and salinity. *Sci. Hort*, 175-235.

Uzair, M.; Ali, M.; Fiaz, S.; Attia, K.; Khan, N.; Al-Doss, A.A.; Ramzan Khan, M.; Ali, Z. The Characterization of Wheat Genotypes for Salinity Tolerance Using Morpho-Physiological Indices under Hydroponic Conditions. *Saudi J. Biol. Sci.* **2022**, *29*, 103299. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Vavilov N.L., 1934. Studies on the origin of cultivated plants. Bull. Appl. Bot and plant breed, X VI : 1- 25.

Wu, H.; Shabala, L.; Azzarello, E.; Huang, Y.; Pandolfi, C.; Su, N.; Wu, Q.; Cai, S.; Bazihizina, N.; Wang, L.; et al. Na⁺ Extrusion from the Cytosol and Tissue-Specific Na⁺ Sequestration in Roots Confer Differential Salt Stress Tolerance between Durum and Bread Wheat. *J. Exp. Bot.* **2018**, *69*, 3987–4001. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Zhu J.K., (2001). Plant salt tolerance. Trends in Plant Sci, 66-71.

Zörb, C.; Geilfus, C.M.; Dietz, K.J. Salinity and Crop Yield. *Plant Biol. J.* **2019**, *21*, 31–38. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Annexe

Annexe : résultats de l'analyse statistique

Annexe 01 (Biomasse totale)

Analyse Type III Sum of Squares (BT) :					
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
NaCl (g/l)	1	0.5084	0.5084	23.9239	< 0,0001
Variété	2	0.8042	0.4021	18.9227	< 0,0001
NaCl (g/l)*variété	2	0.7949	0.3974	18.7017	< 0,0001

Annexe 02 (La teneur en eau)

Analyse Type III Sum of Squares (TRE F%) :					
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
NaCl (g/l)	1	358.5702	358.5702	9.8291	0.0057
Especce	2	68.4527	34.2264	0.9382	0.4096
NaCl (g/l)*especce	2	63.0624	31.5312	0.8643	0.4381

Annexe 03 (Matière sèche)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
NaCl (g/l)	1	0.1841	0.1841	0.0130	0.9104
Especce	2	77.8375	38.9187	2.7545	0.0904
NaCl (g/l)*especce	2	31.6164	15.8082	1.1188	0.3483

Annexe 04 (Chlorophylle)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
NaCl (g/l)	1	241.3570	241.3570	13.6436	0.0009
Blé (variété)	2	32.2158	16.1079	0.9106	0.4131
NaCl (g/l)*Blé (variété)	2	29.2905	14.6452	0.8279	0.4467

Annexe 05 (Proline)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
NaCl (g/l)	1	2.7082	2.7082	21.8702	< 0,0001
Blé (variété)	2	3.7765	1.8882	15.2485	< 0,0001
NaCl (g/l)*Blé (variété)	2	0.9044	0.4522	3.6518	0.0381

Annexe 06 (Na Sodium)

Analyse Type I Sum of Squares (feuille Na) :					
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Nacl (g/l)	1	0,5460	0,5460	46,4320	< 0,0001
variété	2	0,2870	0,1435	12,2019	0,0002
Nacl (g/l)*variété	2	0,0418	0,0209	1,7781	0,1905

Annexe 07 (K potassium)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Nacl (g/l)	1	0.0020	0.0020	0.2604	0.6145
variété	2	0.0371	0.0185	2.3888	0.1132
Nacl (g/l)*variété	2	0.0126	0.0063	0.8112	0.4561