

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIES
Laboratoire de biotechnologie des productions végétales

Projet de fin d'Etudes en vue de l'obtention du diplôme de Master académique
Domaine : Sciences de la nature et de la vie
Spécialité : Biotechnologies végétales

**IMPACT DU NaCl, CaCl₂ ET LEUR COMBINAISON SUR LA
GERMINATION ET LA CROISSANCE D'UNE VARIETE
DE BLE DUR (MOHAMED BEN BACHIR) CULTIVEE
EN MILIEU HYDROPONIQUE.**

Présenté par

BENDAAS AMINA
BOUCHACHI NOUR EL HOUDA

Devant le jury composé de :

M ^{me} . BRADEA M.S.	Maitre de conférences A	USD. Blida1	Présidente.
Mr. ABBAD M.	Maitre-assistant A	USD. Blida1	Promoteur.
M ^{me} . BENZAHRA S.	Maitre-assistant	USD. Blida1	Examinatrice.

Année Universitaire 2017/2018

Remerciements

Le premier remerciement est à ALLAH le tout puissant qui ma donné le courage, la force et la santé pour accomplir ce travail.

On tient tout d'abord à exprimer nos sincères remerciements à notre promoteur Monsieur ABBAD MOHAMED pour l'aide qu'il nous a apportée et les conseils infiniment utiles qu'il nous a prodigués pour la réalisation de ce travail.

Que Madame BRADJA Maria Stella retrouve ici nos remerciements les plus vifs pour avoir accepté de présider le jury.

Nos remerciements vont également à Madame Ben Zahra Souraiad' avoir accepté de juger ce travail

Comme je tiens à remercier Monsieur SNOUSSI Sid-Ahmed Professeur responsable de l'équipe de Biotechnologie Végétale qui a accepté de nous accueillir au sein de son laboratoire.

Nos sincères remerciements et respects s'adressent aussi à tous nos professeurs de la Faculté de science de la nature et de la vie, pour leurs efforts et leurs aides durant tout notre parcours d'étudiant, et spécialement aux Monsieur ABDELRAHMEN, Monsieur HAMIDI YUCEF, pour leurs aides, leurs contributions, et le temps qu'ils nous ont consacré et le plaisir d'accepté de répondre à nos questions.

On remercie enfin tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

*Mes chers parents qui sont la raison de mon existence,
puissent ils être fiers de leur fille.*

*A ma grande mère chérie Qui m'a accompagné
par ses prières, sa douceur, puisse Dieu lui prêter
longue vie et beaucoup de santé et de bonheur dans les
deux vies.*

*A mon chère marie Merouene, pour sa confiance, ces
encouragements et son soutien pendant toute la durée
de mes études.*

Nour El Houda

Dédicaces

A ma mère, A mon père

*Pour leurs sacrifices et leurs efforts consentis,
Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde affection.*

A mes frères et ma sœur

*Pour leurs compréhensions et leurs encouragements,
Qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère amitié.*

A mon cher époux Rabah

*Pour son compréhension et son encouragement,
etsurtout sa patience durant tout le temps de mon travail.*

Amina

Table des matières

Liste des figures.....	
Résumé.....	
Introduction.....	11
Partie I :Partie bibliographique.....	13
1.Chapitre I : salinité et physiologie de stress.....	13
1.1.Définitions du stress	13
1.2.Généralités sur la salinité.....	13
1.3.Définition de sols salés (sols halomorphes)	13
1.4.Notion de la salinisation.....	13
1.5.Les différents types de salinisation	14
1.5.1. La salinisation primaire	14.
1.5.2. La salinisation secondaire	14.
1.6.Les causes de la salinité	14
1.7.Conséquences de la salinité sur la plante	15.
1.7.1. Effet de la salinité sur la germination	15
1.7.2. Effet de la salinité sur la croissance.....	16
1.7.3. Effet de la salinité sur l'état hydrique de la plante.....	17
1.7.4. Effet de la salinité sur la biochimie de la plante.....	17
1.7.5. Effet de la salinité sur la photosynthèse.....	18
1.7.6. Effet de la salinité sur les enzymes anti-oxydantes.....	18
1.7.7. Effet de la salinité sur les processus physiologiques de la plante	19
2. Chapitre II : Généralité sur la culture de blé.....	20
2.1. Généralité	20
2.2.Présentation de l'espèce étudiée.....	20
2.3. Historique	20
2.4. Classification botanique	21
2.5. Origine génétique.....	21
2.6. Importance économique	22
2.6.1. Dans le monde	22
2.6.2. Situation en Algérie.....	23
2.6.3. Biologie et cycle de développement du blé.....	23
2.6.3.1. Caractères morphologiques.....	23

2.7. Exigences du blé	29.
2.7.1. La température	30
2.7.2. L'eau	30
2.7.3. Fertilisation	30
Partie II : Expérimentation.....	33
2.1 Objectif d'expérimentation	33
2.2. Matériel végétal	33
2.3 Conditions expérimentales	33
2.3.1 Lieu de l'expérience	33
2.3.2 .Substrat	34
2.3.3 Conteneurs	34
2.4 Dispositif expérimental.....	34
2.4.1. Description des différents traitements utilisés	35
2.5. Méthodes de stérilisation des graines et germination.....	35
2.5.1. Expérience I : Impact de la salinité par NaCl et CaCl ₂ et leurs combinaisons sur la phase de germination.....	35
2.5.2. Expérience II : Impact de la salinité par NaCl et CaCl ₂ et leurs combinaisons sur la phase végétative	36
2.5.3 Irrigation	37
2.6 Paramètres mesurés	37
2.6.1 Paramètres morphologique.....	37
2.6.1.1 Les paramètres morphologiques réalisés pendant la phase de germination.....	37
✓ Taux de germination final.....	37
✓ Cinétique de germination	37
✓ Moyenne journalière de germination (nombre de graines / jour).....	37
✓ Longueurs des racines et des épicotyles	38
2.6.1.2 Les paramètres morphologiques réalisés sur la phase végétative.....	38
✓ Hauteur finale des plantes et la longueur des racines (cm).....	38
✓ Mesure de la teneur relative en eau (%).....	38
✓ Biomasse fraîche produite	38
✓ Biomasse sèche produite	39
✓ La matière sèche de la partie aérienne et souterraine.....	39
2.6.2 Paramètres physiologiques	39
2.6.2.1 Dosage de la teneur des feuilles en chlorophylle	39

Partie III : Résultat et discussion.....	40.
3.1. Effet de la salinité par NaCl, CaCl₂ et leurs interactions sur la phase de germination.....	40
3.1.1. Effet sur la longueur desépicotyles (cm).....	40
3.1.2 Effet sur la longueur des racines (cm).....	41
3.1.3 Taux de germination final	42
3.1.4 Cinétique de germination.....	43
3.1.5 Moyenne journalière de germination (MDG).....	44
3.2. Effet de la salinité par NaCl, CaCl₂ et leurs interactions sur la phase végétative.....	45
3.2.1. Les paramètres morphologiques.....	45
3.2.1.1. Effet sur la hauteur finale des plantes (cm).....	45
3.2.1.2. Effet sur la longueur des racines (cm).....	46
3.2.1.3. Effet sur la biomasse fraîche de la partie aérienne (tiges +feuilles).....	47
3.2.1.4. Effet sur la biomasse fraîche des racines	48
3.2.1.5. Effet sur la biomasse sèche de la partie aérienne produite.....	49
3.2.1.6. Effet sur la biomasse sèche produite de la partie racinaire.....	50
3.2.1.7. Effet sur le taux de la matière sèche de la partie aérienne.....	51.
3.2.1.8. Effet sur le taux de la matière sèche de la partie racinaire.....	52
3.2.1.9. Effet sur la teneur relative en eau.....	53
3.2.2. Paramètres physiologiques	54
3.2.2.1. Effet sur la dose en Chlorophylle (A).....	54
3.2.2.2. Effet sur la dose en Chlorophylle (B).....	55
Conclusion.....	56
Références	
Annexes	

Résumé

Le blé est une céréale importante en termes de consommation humaine dans de nombreux pays du monde. Il est cultivé principalement dans l'Algérie. Dans laquelle la salinité des sols et des eaux d'irrigation est l'un des facteurs limitant de la productivité végétale et du rendement agricole.

Le présent travail a consisté d'évaluer le comportement physiologique et morphologique de la variété de blé dur (*Triticum durum* Desf) qui est Mohammed Ben Bachir, soumise à des concentrations de 100, 50 et 25 mM en NaCl, CaCl₂ et leur combinaison pendant la phase de germination et la phase croissance.

Les résultats obtenus ont montré que la présence de 100 mM de NaCl, CaCl₂ et leur combinaison révèle un effet dépressif très hautement significatif sur la longueur des épicotyles. Les dépressions enregistrées sont de 90,57 ; 98,74 et 97,71% respectivement par rapport au témoin.

Ainsi, la présence de 100 mM de CaCl₂ seul ou associé au NaCl exerce l'effet dépressif le plus marqué qui se traduit par une inhibition en totalité de la croissance de ce milieu. De plus, la présence de 50 mM de CaCl₂ affecté le poids frais et la biomasse sèche de la partie aérienne. Les régressions enregistrées sont de 71,54% et de 89,70% respectivement par rapport au témoin.

En revanche, l'exposition des plantules de blé dans le milieu d'irrigation contenant 50 mM de CaCl₂ associé au NaCl exerce un effet dépressif le plus marqué dans les paramètres morphologiques qui se traduit par une réduction de la teneur des feuilles en chlorophylle (A) et (B). Les dépressions sont de 44,38% et 45,27 % respectivement par rapport au témoin.

Mots clés : salinité, blé dur, germination, croissance, paramètres physiologique, paramètres morphologique

Abstract

The national production of durum and soft wheat cover only 30 % of the local market needs estimated at more than 60 million quintals, and is very erratic (Mard, 2007). In contrast, consumption of cereal products is at a level of about 205 Kg/ habitat/ year (Chehat, 2007). The main problem for the development of this crop in the arid region is salinity, as the majority of irrigation water in this region is frequently loaded with salts.

Our work aims to study the impact of salinity by two types of salts (NaCl and CaCl₂) with three tested concentrations (25, 50 and 100 mM) on the germination and growth of a variety durum wheat crop (Mohamed Ben Bachir) and this with the aim of upgrading salt-laden waters to include arid and semi-arid ecosystems in irrigation.

Our results show that the presence of 100 mM NaCl and CaCl₂ and their combination reveals a very significantly remarkable effect on most of the studied parameters of the germination phase (reduction of kinetics, rate and average daily germination). Thus, the presence of 50 mM CaCl₂ affected the fresh and dry biomass of the aerial part. The regressions revealed are 71.54% and 89.70% respectively relative to the control.

In addition, enrichment of the irrigation medium with 50 mM CaCl₂ associated with NaCl reveals a significantly remarkable reduction in leaf of Chlorophyll A and B content. The regressions are 44.38% and 45.27 % respectively relative to the control.

These responses indicate the sensitivity of the plants to salt stress.

Keywords: salinity, durum wheat, germination, growth, physiological parameters, morphological parameters

ملخص

تعتبر زراعة القمح من الاستراتيجيات الهامة في المجال الاقتصادي في عدة بلدان من العالم. وهو يزرع خاصة في الجزائر والتي تعتبر ملوحة الأراضي الزراعية ومياه السقي من أكبر المشاكل التي يعاني منها الإنتاج الزراعي. في هذا السياق قمنا بهذه التجربة لدراسة تأثير مياه السقي المالحة المحتوية على كل من كلور الصوديوم وكلور الكالسيوم والمزيج بينهما مع التراكيز 25 و 50 و 100 ملي مول على انتاش و نمو القمح الصلب (محمد بن بشير). تظهر النتائج المتحصل عليها ان وجود 100 ملي مول من كلور الصوديوم وكلور الكالسيوم والمزيج بينهما لها تأثير كبير على طول الجزء الهوائي في مرحلة الانتاش، الانخفاض الملاحظ كان بنسبة 90,57 و 98,74 و 97,71% على التوالي مقارنة بالشاهد. أيضا وجود 100 ملي مول من كلور الكالسيوم او هذا الأخير ممزوج مع كلور الصوديوم ثبط نمو بذور القمح بشكل كامل.

إضافة الى ان وجود 50 ملي مول من كلور الكالسيوم اثر على الكتلة الحيوية و الكتلة الجافة للجزء الهوائي و قد اظهرت النتائج انخفاضا بنسبة 71,54 و 89,70 % مقارنة بالشاهد. من جهة أخرى, تعرض نبات القمح الى 50 ملي مول من كلور الكالسيوم ممزوجة مع كلور الصوديوم يكشف انخفاضا ملحوظا من محتوى الأوراق على الكلوروفيل (ا) و (ب). الانخفاض كان بنسبة 44,38 و 45,27 % على التوالي مقارنة بالشاهد.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب، الملوحة، كلور الصوديوم، كلور الكالسيوم

La liste des figures

Figure 1 : Histologie du grain de blé (Surget et Barron, 2005).....	24.
Figure 2 : Couches cellulaires du grain de blé d'après Surget et Barron, (2005).....	25.
Figure 3 : Phase de semis-levée (Boyeldieu, 1997).....	33.
Figure 4 : Lieu de l'expérience.....	34
Figure 5 : Aspect général des conteneurs utilisés durant notre expérimentation.....	36
Figure 6 : Aspect des plantes après 10 jours de germination.....	36.
Figure 7 : Dispositif expérimental.....	36
Figure 8 : Schéma de dispositif expérimental.....	37
Figure 9 : Longueur des épicotyles.....	40
Figure 10 : Longueur des racines (cm).....	41
Figure 11 : Taux de germination final(%).....	42
Figure 12 : Moyenne journalière de germination.....	44
Figure 13 : Hauteurs des plantes (cm).....	45
Figure 14 : Longueurs des racines en (cm).....	46
Figure 15 : Poids frais de la partie aérienne(g).....	47.
Figure 16 : Poids frais des racines (g).....	48.
Figure 17 : Biomasse sèche de la partie aérienne (g).....	49.
Figure 18 : Biomasse sèche de la partie racinaire (g).....	50.
Figure 19 : Taux de la matière sèche produite de la partie aérienne (%).....	51.
Figure 20 :Taux de la matière sèche de la partie racinaire(%).....	52.
Figure 21 : Teneur relative en eau (%).....	53
Figure 22 : teneurs en chlorophylle (A) (mg/g).....	54.
Figure 23 : Teneur en chlorophylle (B) (mg/g).....	55.

INTRODUCTION

Les céréales constituent la ressource alimentaire la plus importante à la fois pour la consommation humaine et l'alimentation du bétail. Ce secteur est d'une importance cruciale pour les disponibilités alimentaires mondiales. En ce début du XXI^e siècle, ils fournissent encore près de la moitié des calories alimentaires de l'humanité. Et seront sans doute amenés à jouer un rôle fondamental face aux défis démographiques et environnementaux du siècle.

En Algérie, le blé, constitue une culture alimentaire irremplaçable. Selon différentes études, la superficie réservée à cette culture est de 3,3 millions d'hectares. Cette production ne couvre pas les besoins alimentaires de la population ce qui permet d'importer annuellement plus de 5% de la production céréalière mondiale, cette situation risque de durer plusieurs années, faute de rendements insuffisants et des besoins de consommation sans cesse croissants devant une forte évolution démographique (Chellali, 2007). En effet, une production de 2.7 millions de tonnes est très insuffisante pour couvrir les besoins du marché national et alimenter les stocks stratégiques pousse l'Algérie à recourir systématiquement aux importations (FAO, 2007).

Une grande partie de blé se concentre à l'intérieur du pays dans les zones arides et semi arides, se caractérisant par des hivers froids, un régime pluviométrique irrégulier, des gels printaniers très fréquents et des vents chauds et secs en fin de cycle de culture. Toutes ces contraintes influencent sur la production céréalière qui se caractérise par une moyenne nationale très variable d'une année à l'autre (Selmi, 2000).

Les terres arides et semi arides représentent un tiers de la surface du globe. Dans ces zones, la salinité des sols et des eaux d'irrigation est l'un des facteurs limitant de la productivité végétale et du rendement agricole. Selon FAO (2009), la salinité affecte au moins 800 millions d'hectares sont menacées gravement par ce phénomène. Il y a lieu de noter également que 45 millions d'hectares (20%) de terres irriguées sont affectés par la salinité.

Ces écosystèmes sont caractérisés par une faible et une forte irrégularité des précipitations, associées à une importante évaporation favorisant l'accumulation des sels dans le sol (Hayek et Abdelly, 2004). L'Algérie se situe parmi les pays touchés, presque 3,2 millions d'hectares de la surface sont salins (Hamdy, 1999). L'effet négatif de la forte salinité peut être observé au niveau de la plante entière comme la mort de la plante et /ou la diminution de la productivité. Beaucoup de plantes développent des mécanismes adaptatifs soit pour l'exclusion du sel de leurs cellules ou pour la tolérance de sa présence dans les cellules (Parida et Das, 2005). L'accumulation du sodium dans les organes de la plante à la suite d'une entrée

massive de certains ions toxiques tel que le chlore commence à exercer une action toxique, qui se manifeste par des lésions sur les feuilles, dès que la teneur en cet élément atteint 0,05% dans les tissus, la sensibilité à cet élément est variable suivant les espèces. (Gouny et Brachet, 1967 ; El Mekkaoui, 1990).

Notre travail consiste à étudier l'effet d'un stress salin par la présence de chlorure de sodium, chlorure de calcium et leur combinaison en trois doses (25, 50 et 100 mM) sur la variété Algérienne Mohammed Ben Bachirde blé dur et ce dans le but de mettre en évidence l'impact de ces sels sur la phase de germination et la phase végétative afin de vérifier quel est le sel ou la combinaison la plus nocive et la plus agressive.

2.1 Objectif d'expérimentation

L'objectif de notre travail est de déterminer l'impact de la salinité par le NaCl, CaCl₂ et leur combinaisons par trois doses différentes (100 ;50 et 25 mM) sur la germination et sur la croissance d'une culture de blé dur (*Triticum durum Desf*) variété Mohamed Ben Bachir cultivées en hors-sol afin de vérifier quel est le sel ou la combinaison la plus nocive et la plus agressive durant ces deux phases de culture.

2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé durant notre expérimentation est le blé dur (*Triticum durum Desf*), variété Mohamed ben Bachir dont les semences testées sont obtenues de l'institut technique des grandes cultures (ITGC) d'El Harrach, wilaya d'Alger. Cette variété a été choisie comme un matériel végétal a raison de :

- ✓ Son de son cycle de culture courte et précoce avec une bonne productivité,
- ✓ Sa résistante aux maladies,
- ✓ Son adaptation meilleure aux conditions pédoclimatiques de la région aride et semi-aride,
- ✓ Et plus précisément sa réaction rapide au changement de milieu

2.3 Conditions expérimentales

2.3.1 Lieu de l'expérience

Notre expérience a été réalisée dans une serre en polycarbonate, au niveau de la station expérimentale du département de biotechnologiesituée au niveau de l'université de Blida1. Ce site expérimentale est caractérisé par une l'orientation nord-sud. L'aération au niveau de cette serre est assurée par les fenêtres placée latéralement de part et d'autres. Un chauffage a eau chaude est installé à l'intérieure de la serre pour assurer des températures favorable à la culture installée pendant la saison hivernale.



Figure4 : Lieu de l'expérience

2.3.2 Substrat

Pendant notre essai, le substrat utilisé est le gravier roulé de rivière d'un diamètre de 3 à 8 mm, provenant de la carrière de CHEBLI qui se situe à 25 km d'Alger.

Ce substrat assure, grâce à sa porosité, une meilleure aération pour les racines des plantes cultivées et forme un milieu défavorable pour le développement des micro-organismes. Cependant, afin d'éloigner tous les risques de contamination par les maladies, nous avons procédé à la désinfection du substrat de la manière suivante :

- ✓ Elimination des particules terreuses et des résidus organiques du précédent culturel présenté dans le gravier par un lavage abondant à l'eau ;
- ✓ Remplissage des pots déjà nettoyés par le gravier lavé ;
- ✓ Désinfection du gravier avec l'hypochlorite de sodium dilué à 10% ;
- ✓ Rinçage abondant à l'eau afin d'éliminer toute trace d'hypochlorite de sodium qui est très nuisible pour les jeunes plantules.

2.3.3 Conteneurs

Les conteneurs utilisés sont des pots en plastique de couleur marron, leur capacité est de 1,5 litres et présente des ouvertures de drainage à leur base permettant l'évacuation de la solution nutritive en excédentaire.

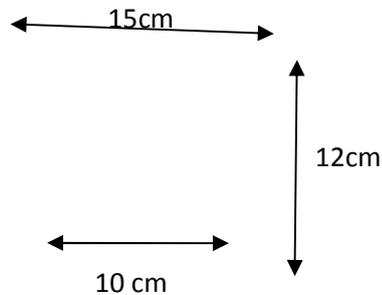


Figure 5 : Aspect général des conteneurs utilisés durant notre expérimentation.

2.4 Dispositif expérimental

Notre étude est traitée en deux parties : la première partie consiste à déterminer l'impact de la salinité par les deux sels testés à savoir le NaCl et le CaCl₂ et leurs combinaisons sur la phase germination de la culture de blé dur variété Mohamed Ben Bachir. La deuxième phase est consacrée à l'étude de ces traitements sur la phase végétative de cette culture jusqu'à 45 jours.

Concernant le dispositif expérimental adopté durant ces deux expériences, nous avons déroulés nos essais selon le plan a randomisation totale avec un seul facteur étudié qui est la solution d'irrigation. Cette dernière est composée de neuf traitements salin comparé à un témoin qui est la solution d'irrigation contenant l'eau douce de robinet de la région de Blida.

2.4.1. Description des différents traitements utilisés

- T0 : Eau de Blida utilisée comme un témoin ;
- T1 : Eau de Blida enrichie avec 100mM de NaCl dont la concentration devient 5,84g/l
- T2 : Eau de Blida enrichie avec 50mM de NaCl dont la concentration devient 2,92g/l
- T3 : Eau de Blida enrichie avec 25mM de NaCl dont la concentration devient 1,46 g/l
- T4 : Eau de Blida enrichie avec 100mM de CaCl₂ dont la concentration devient 14,7 g/l
- T5 : Eau de Blida enrichie avec 50mM de CaCl₂ dont la concentration devient 7,35 g/l
- T6 : Eau de Blida enrichie avec 25mM de CaCl₂ dont la concentration devient 3,67g/l
- T7 : Eau de Blida enrichie avec 100mM de NaCl+CaCl₂ dont la concentration devient 10,27 g/l (2,92 g/l de NaCl et 7,35 g/l de CaCl₂) de combinaison.
- T8 : Eau de Blida enrichie avec 50mM de NaCl+CaCl₂ dont la concentration devient 5,13 g/l (1,46g/l de NaCl et 3,67g/l de CaCl₂) de combinaison.
- T9 : Eau de Blida enrichie avec 25mM de NaCl+CaCl₂ dont la concentration devient 2,56 g/l (0,73g/l de NaCl et 1,83 de CaCl₂) de combinaison.

2.5. Méthodes de stérilisation des graines et germination

Avant la mise en germination des graines de blé dur en boîte de Pétri, un test de stérilisation du matériel végétal a été réalisé selon les étapes suivantes :

- Sélection des meilleures graines de blé.
- Lavage abondant des graines de blé à l'eau pendant 1 minute ;
- Trempage des graines dans une solution d'hypochlorite de sodium dilué à 20% pendant 5 min pour la désinfection ;
- Rinçage abondant des graines à l'eau afin d'éliminer toute trace d'hypochlorite de sodium qui est très nuisible pour les graines de blé.

2.5.1. Expérience I : Impact de la salinité par NaCl et CaCl₂ et leurs combinaisons sur la phase de germination

Les graines obtenues après stérilisation ont été mises dans des boîtes de Pétri à la germination dans une étuve à une température de 25⁰C sur papier absorbant imbibé à chaque fois qu'il est nécessaire par les différents traitements. Chaque boîte contient 25 graines. Quatre répétitions ont été testées de chaque traitement.

La germination des semences est examinée après 3, 5 et 10 jours de germination. On considère que la germination a lieu lorsque la radicule atteint 1 cm de longueur.

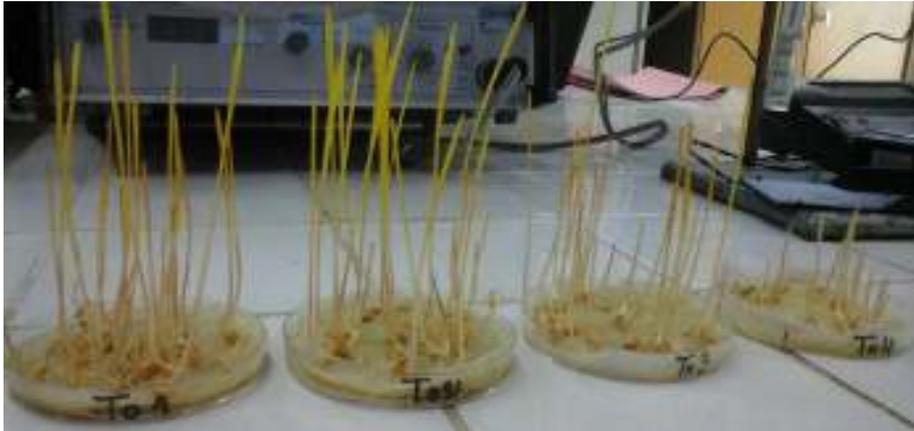


Figure6 : Aspect des plantes après 10 jours de germination

2.5.2. Expérience II : Impact de la salinité par NaCl et CaCl₂ et leurs combinaisons sur la phase végétative

Pour l'étude de la croissance, 10 graines de blé ont été mises par pot. Le dispositif expérimental adopté durant notre essai expérimental est un plan à randomisation totale sans contrôle d'hétérogénéité, avec un seul facteur qui est la solution d'irrigation. Dix (10) traitements ont été testés avec 4 observations de chacun, soit au total 40 unités expérimentales. La répartition des différents traitements s'est faite d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres de (01) à (10).

Notre essai a été réalisé pendant de 45 jours de croissance.



Figure7: Dispositif expérimental

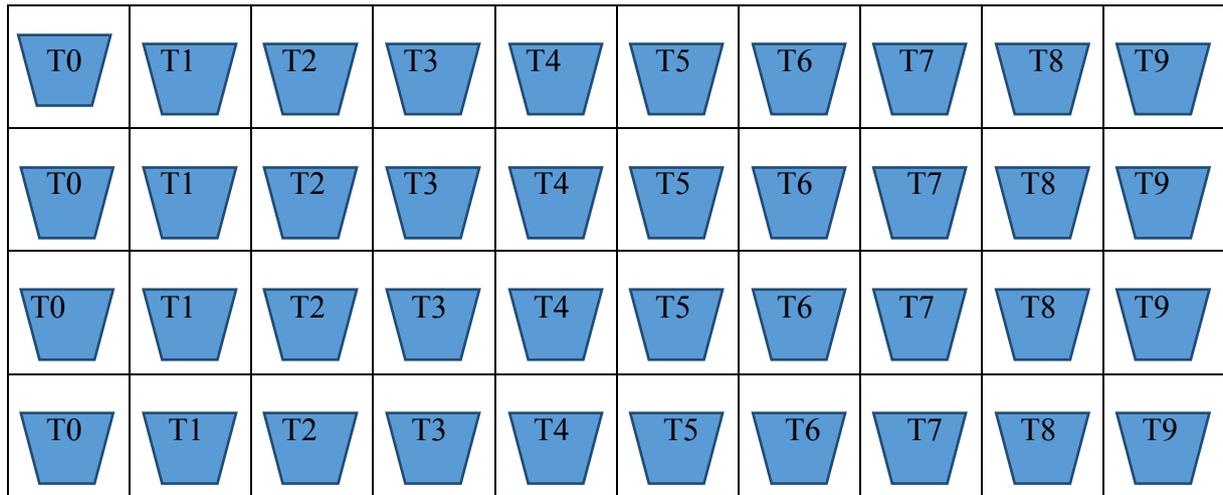


Figure 8 : Schéma de dispositif expérimental

 : Unité expérimental

T0,T1,T2.... T9 : Traitements étudiés

2.5.3 Irrigation

Le système d'irrigation adopté est celui de la percolation à circuit ouvert permettant l'évacuation de la solution d'irrigation en excès. La dose et les fréquences des arrosages varient selon le cycle de développement de la plante et les différentes conditions telles que la température (de 2 jusqu'à 3 fois par jour).

2.6 Paramètres mesurés

2.6.1 Paramètres morphologique

2.6.1.1 Les paramètres morphologiques réalisés pendant la phase de germination

✓ Taux de germination final

Ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration saline qui présente la limite physiologique de germination des graines. Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines.

✓ Cinétique de germination

Pour mieux appréhender la signification physiologique du comportement germinatif des variétés étudiées, le nombre de graines germées ont été compté quotidiennement jusqu'au 10^{ème} jour de l'expérience.

✓ Moyenne journalière de germination (nombre de graines / jour)

Selon Osborne et Nercer, MDG est le Pourcentage de germination final /nombre de jours à la germination finale (2014).

✓ **Longueurs des racines et des épicotyles**

La longueur de la racine primaire et celle de l'épicotyle ont été mesurées à l'aide d'une règle graduée, et ce pour évaluer la croissance de la plante vis-à-vis du stress.

2.6.1.2 Les paramètres morphologiques réalisés sur la phase végétative

Tous les paramètres morphologiques ont été effectués au moment de la coupe réalisée le 15/05/2018 soit 45 jours après le semis.

✓ **Hauteur finale des plantes et la longueur des racines (cm)**

Cette mesure a été effectuée au moment de la coupe à l'aide d'une règle graduée.

✓ **Mesure de la teneur relative en eau (%)**

Cette mesure a été effectuée selon la méthode suivante :

Nous avons pris une surface de 1 Cm² pour chaque traitement avec 3 répétitions pour chaque un et peser le poids frais ; après nous mis chaque feuille dans un tube à essai qui contient de l'eau distillée pendant 24 heures pour l'obtention du poids à la saturation ; et enfin nous les avons mis dans une étuve à 70 °C jusqu'à stabilisation du poids sec.

La teneur relative en eau a été mesurée sur une feuille bien développée, elle est déterminée par la relation proposée par Clarke et McCaig,

$$RWC(\%) = (Pf - Ps / Pr - Ps) \times 100$$

Pf : poids frais

Ps : poids sec

Pr : poids à saturation

✓ **Biomasse fraîche produite**

Au moment de la coupe, nous avons pesé les deux parties de la plante (partie aérienne : feuilles + tiges ; partie souterraine : racines) en gramme à l'aide d'une balance. L'opération a été réalisée comme suite :

- Poids frais des feuilles + tige de chaque plante.
- Poids frais de la racine de chaque plante.

✓ **Biomasse sèche produite**

La biomasse sèche a été pesée après le séchage des échantillons moyens frais des deux parties misés dans une étuve à 70°C jusqu'à stabilisation du poids sec, nous avons pesé :

- Poids sec de l'échantillon moyen des parties aériennes
- Poids sec de l'échantillon moyen des racines

Puis déterminer les biomasses sèches (BS) en (g) par la méthode suivante :

$$BS \text{ (g)} = (\text{poids sec moyen} \times \text{poids frais}) / \text{poids frais moyen}$$

✓ **La matière sèche de la partie aérienne et souterraine**

Ces deux paramètres ont été calculés selon la formule suivante :

$$\% \text{ MS} = \text{PS} / \text{PF} \times 100$$

2.6.2 Paramètres physiologiques

2.6.2.1 Dosage de la teneur des feuilles en chlorophylle

Les teneurs en chlorophylle (a), chlorophylle (b) et caroténoïdes sont déterminées selon la méthode utilisée par Lichtenthaler (1986) citée par Hassani et *al.*, (2004). Environ 0.1 gramme d'échantillon des feuilles fraîchement coupées et bien mélangées, qui a été prélevé sur des feuilles complètement développées à la même position dans chaque traitement, a été extrait avec 10 ml d'acétone à 95%. Le pigment a été extrait dans l'obscurité puis mis à 4°C pendant 48 h. L'absorbance a été mesurée avec un spectrophotomètre Shimadzu UV-2550 à 664 et 649 nm. Les teneurs en chlorophylle a (Chl a) et en chlorophylle b (Chl b) ont été calculées en utilisant les formules suivantes. Les résultats sont exprimés en $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ du poids frais (MF).

$$C a \text{ (mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{)} = 13.36 A_{664} - 5.19 A_{649}$$

$$C b \text{ (mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{)} = 27.43 A_{649} - 5.10 A_{664}$$

Où, C a et C b, étaient les concentrations des Chlorophylle a et Chlorophylle b, respectivement. A_{664} et A_{649} étaient les absorbances de la solution d'extrait de pigment au 664 et 649 nm de longueur d'onde, respectivement

2.7. Analyses statistiques

Tous les essais ont été répétés trois fois, concernant les mesures des paramètres morpho-physiologiques en relation avec la résistance au stress salin par le NaCl et CaCl₂.

Les résultats, présentés sous forme de tableaux et histogrammes, rejoignent le plus souvent des valeurs moyennes encadrées par leurs écarts types, ces derniers ont été réalisés par le logiciel XLSTAT 2018.4.51422-ANOVA. Les résultats sont soumis à l'analyse de la variance à un facteur et les moyennes sont comparées selon la méthode de Newman et Keuls.

3.1. Effet de la salinité par NaCl, CaCl₂ et leurs interactions sur la phase de germination

3.1.1. Effet sur la longueur des épicotyles (cm)

Les résultats relatifs de la longueur des épicotyles après 10 jours de traitement sont illustrés dans la figure 9. L'analyse de la variance montre l'existence d'une différence très hautement significative ($P \leq 0,0001$) (Annexe 1).

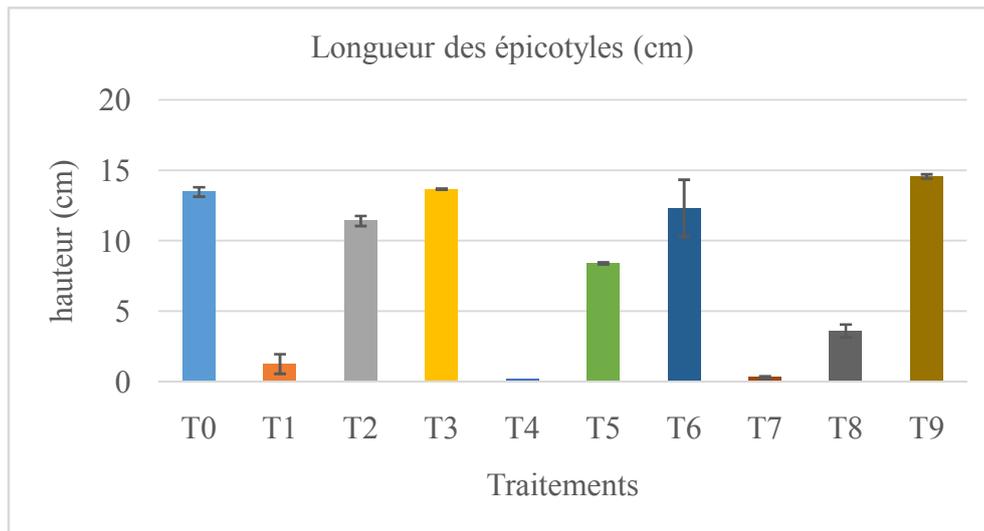


Figure 9 : Longueur des épicotyles (cm)

L'examen de cette figure montre que l'irrigation avec la solution saline contenant 25mM de NaCl (T1) ou NaCl associé au CaCl₂ (T7) révèle la longueur des épicotyles les plus importants par rapport au témoin et même par rapport aux autres traitements testés. Les gains enregistrés sont de 01,40 et 08,16% respectivement par rapport au témoin. En revanche, l'irrigation avec 100mM des différents sels testés (T1, T4 et T7) exerce l'effet dépressif le plus marqué par rapport aux autres concentrations et même par rapport au témoin. Les dépressions enregistrées sont de 90,57 ; 98,74 et 97,71% respectivement.

Les faibles hauteurs peuvent être expliquées par la présence des sels nocifs tels que NaCl et CaCl₂ dans les solutions d'irrigation provoquant une réduction de la division et de l'allongement cellulaire, et par conséquent une diminution de la croissance de la plante.

Nos résultats sont en accord avec ceux de LEMZERI, (2006) ou il signale que l'augmentation de la salinité induit une diminution de la croissance de la partie aérienne notamment chez (*Acacia cyanophylla*).

3.1.2 Effet sur la longueur des racines (cm)

Les résultats de la longueur des racines sont illustrés dans la figure 10. L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P \leq 0,0001$) (Annexe 2).

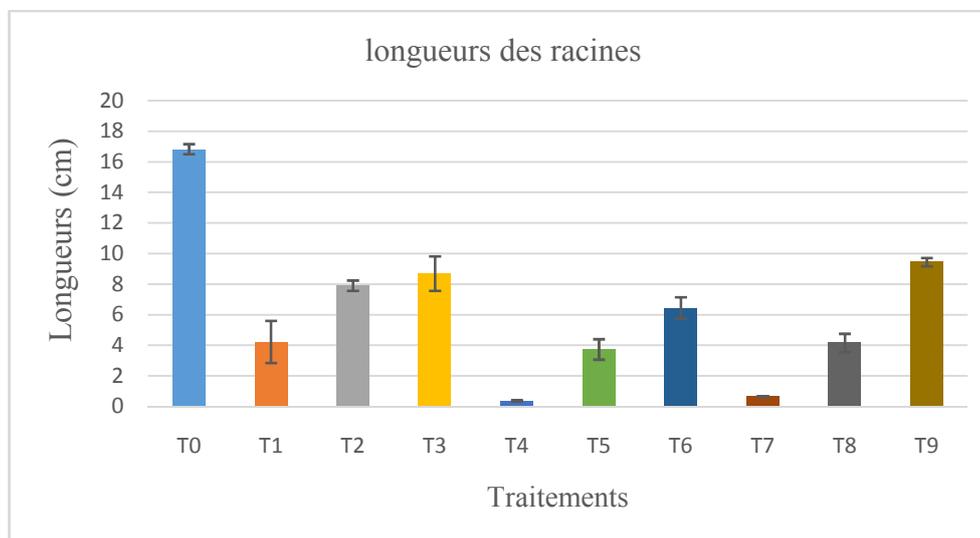


Figure 10 : Longueur des racines (cm)

L'examen de cette figure montre que l'irrigation avec 100mM du CaCl_2 (T4) seul ou associé au NaCl (T7) exercent l'effet dépressif le plus marqué par rapport aux autres traitements testés et par rapport au témoin. Les dépressions enregistrées sont de 97.80 et 96.08% respectivement.

Aussi, l'irrigation avec 50mM du CaCl_2 (T5) seul ou associé au NaCl (T8) testés exercent un effet dépressif marqué par rapport au témoin (77,78 et 75,28%) respectivement.

Il est à noter que la présence du 25mM du CaCl_2 (T6) dans le milieu d'irrigation manifeste une chute de la longueur des racines le plus marqué par rapport aux autres traitements de la même concentration. La régression marquée est de 61,67%.

L'effet de l'augmentation de la salinité est significatif sur la longueur des racines de l'orge (TAVILI et BINIAZ, 2009)

3.1.3 Taux de germination final

Les résultats du taux de germination sont consignés sur la figure 11. L'analyse de la variance de celle-ci montre l'existence d'une différence très hautement significative ($P \leq 0,0001$) (Annexe 3).

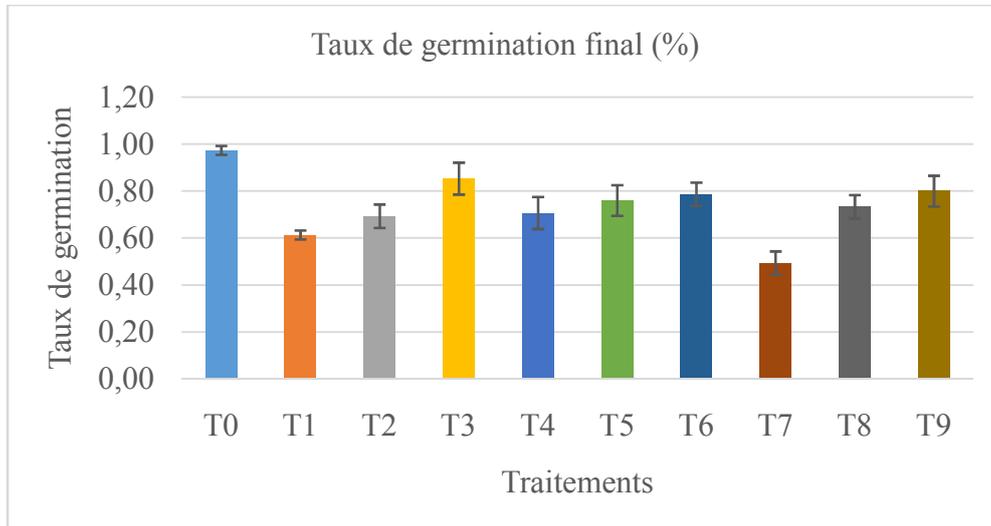


Figure 11 : Taux de germination final(%).

Les résultats montrent que la salinité a affectée le taux de germination de cette variété de blé. Le taux de germination est diminué en fonction des concentrations testées.

L'irrigation avec 100mM du NaCl associé au CaCl_2 (T7) révèle un effet dépressif le plus marqué par rapport aux autres concentrations et même par rapport au témoin. La dépression enregistrée est de 49,48% par rapport au témoin. De même, l'irrigation par 50mM des différents sels testés (T2, T5 et T8) exercent le même effet dépressif marqué par rapport au témoin de 28,86 ; 21,64 et 24,74 % respectivement.

De plus, l'exposition des plantules au 25mM de CaCl_2 (T6) seul ou associé au NaCl (T9) exercent le même effet dépressif par rapport au témoin. Les réductions enregistrées sont de 18,55 et 17,52 % respectivement.

Des résultats comparables ont été observés chez différentes variétés de haricot (HAJLAOUI et al., 2007), de lentille (EL-MONEM et al., 2008) et d'autres légumineuses fourragères (NICHOLS, 2009).

3.1.4 Cinétique de germination

Les résultats de la cinétique de germination sont illustrés dans le tableau (1)

Tableau (1) : cinétique de germination

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Jour 3	19.33	7.67	10.5	13.25	00	9.25	11.75	8.33	11.5	10.75
Jour 5	21.54	10.50	12.61	19.67	12.25	11.47	14.86	12	13.5	12.42
Jour 10	24.33	15.33	17.33	21.33	17.67	19	19.67	12.33	18.33	20

L'examen de ce tableau montre qu'après 3 jours de germination, nous remarquons que le taux le plus faible est observé au niveau du traitement contenant 100mM de CaCl_2 (T4). En revanche, le taux de germination le plus important est révélé au niveau des boîtes de Pétri alimentées par le témoin. En outre, la présence de 50mM de CaCl_2 (T5) dans le milieu d'irrigation exerce l'effet dépressif le plus important comparativement à la même concentration mais en présence de NaCl seul ou en combinaison avec CaCl_2 . La régression marquée est de 52,14% par rapport au témoin. De plus, il semble que la présence de NaCl associée au CaCl_2 (T8) exerce un effet défavorable sur la cinétique de germination durant les 3 premiers jours comparativement aux autres traitements de la même concentration. La régression marquée est de 44,38% par rapport au témoin.

Après 5 jours de germination, la présence de 100 mM de NaCl (T1) dans le milieu d'irrigation exerce l'effet dépressif le plus marqué comparativement aux autres traitements testés. La régression est de 51,25% par rapport au témoin. En revanche, la dilution de la solution saline contenant le NaCl jusqu'à 25mM (T3) exerce un effet le moins défavorable par rapport aux autres traitements de la même concentration. La régression est de 8,68% par rapport au témoin alors que les régressions enregistrées chez les traitements contenant 25mM de CaCl_2 seul (T6) ou combinée avec NaCl (T9) sont de 31,01 et 42,33% respectivement par rapport au témoin.

Après 10 jours de germination, nous remarquons que les grains traités par le témoin présentent la cinétique de germination la plus marquée avec un moyen de 24,33. En outre, la présence de 25mM de NaCl (T3) seul ou associée au CaCl_2 (T9) présente une cinétique de germination proche à celle révélée chez le témoin. Les réductions enregistrées sont de 12,33 et 17,79% respectivement par rapport au témoin. En revanche, la présence de 100 mM de NaCl associée au CaCl_2 (T7) exerce la plus faible cinétique de germination comparativement aux autres traitements testés. La réduction est de 49,32% par rapport au témoin.

Ces résultats confirment le travail de BEN MILED et al., (1986) qui a expliqué le retard de cette cinétique par le temps nécessaire à la graine pour mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne.

3.1.5 Moyenne journalière de germination (MDG)

Les résultats de la moyenne journalière de germination sont présentés dans la figure (12). L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P \leq 0,0001$) (Annexe 4).

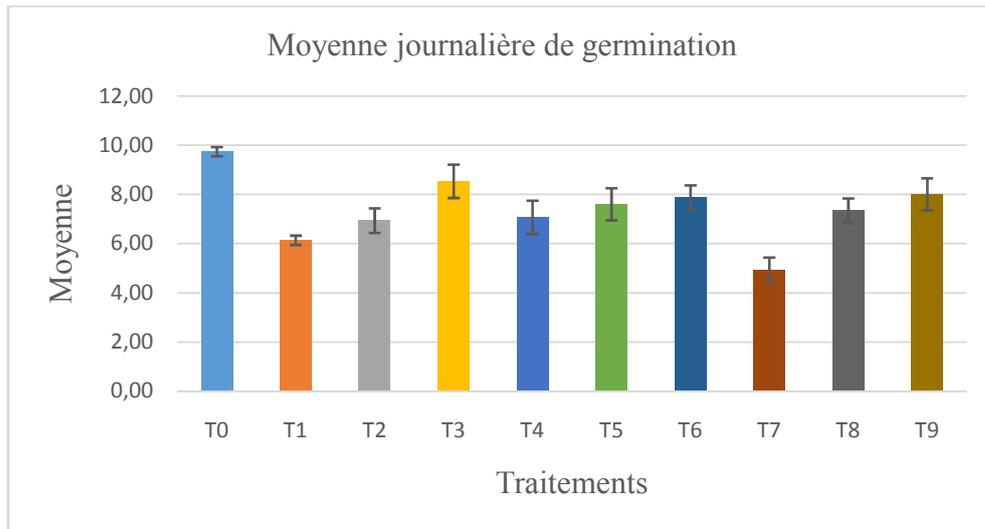


Figure 12 : Moyenne journalière de germination

L'examen de cette figure montre que l'irrigation avec 100 mM du NaCl associé au CaCl_2 (T7) exerce l'effet dépressif le plus marqué par rapport aux autres traitements testés. La dépression enregistrée est de 49,33 par rapport au témoin. De plus, l'exposition des plantules de blé au 100 mM de NaCl (T1) révèle une dépression de la moyenne journalière de germination par 36,99% par rapport au témoin.

Aussi, l'irrigation avec 50 mM de différents traitements testés (T2, T5 et T8) révèle le même effet dépressif par rapport au témoin.

De plus, l'exposition des plantules au 25 mM de CaCl_2 (T6) seul ou associé au NaCl (T9) exerce un effet dépressif de ce paramètre. Les régressions enregistrées sont de 19,11 et 17,78 % respectivement.

La variation des capacités germinatives associées au temps moyen et au taux moyen de germination de bien discriminer les espèces quant à leur tolérance et sensibilité au sel au cours de la germination (NICHOLS, 2009)

3.2. Effet de la salinité par NaCl, CaCl₂ et leurs interactions sur la phase végétative

3.2.1. Les paramètres morphologiques

3.2.1.1. Effet sur la hauteur finale des plantes (cm)

Les résultats de la hauteur finale des plantes sont présentés dans la figure(13).

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P \leq 0,0001$) (Annexe 5).

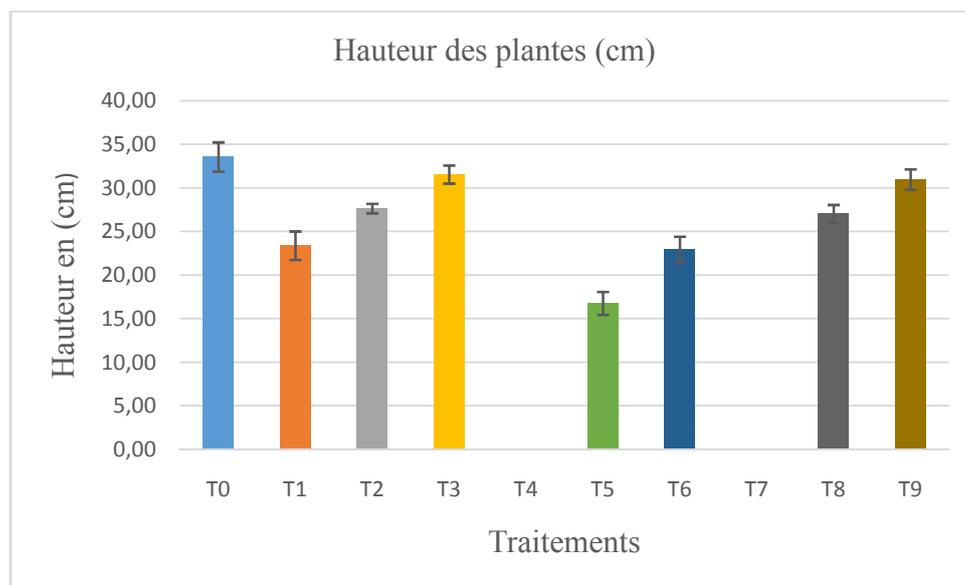


Figure 13 : Hauteurs des plantes (cm)

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une diminution de la hauteur des plants en fonction de la concentration de milieu et ce par rapport au témoin. L'irrigation par 100 mM de CaCl₂(T4) seul ou associée au NaCl(T7) inhibe carrément la croissance des plantes du blé dans ce milieu.

Ces résultats peuvent être expliqués par la toxicité des plantules de blé dans ce milieu. Ce phénomène se termine par une nécrose puis la mort cellulaire des jeunes plantules. En revanche, la présence de 100 mM de NaCl (T1) dans le milieu d'irrigation exerce un effet dépressif de 30,30% de ce paramètre par rapport au témoin.

De plus, l'irrigation par 50 et 25 mM du CaCl₂(T5 et T6) exercent l'effet dépressif le plus marqué par rapport aux autres traitements testés dans la même concentration. Les dépressions enregistrées sont de 50,02 et 31,58% respectivement.

IMALET (1979), montre que la composition chimique des solutions en sels nocifs tel que le NaCl dont les effets nocifs provoquent les symptômes de nanisme et une diminution de la croissance due aux fortes concentrations de sels.

3.2.1.2. Effet sur la longueur des racines (cm)

Les résultats de la longueur des racines sont illustrés dans la figure(14). L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative($P \leq 0,0001$) (Annexe 6).

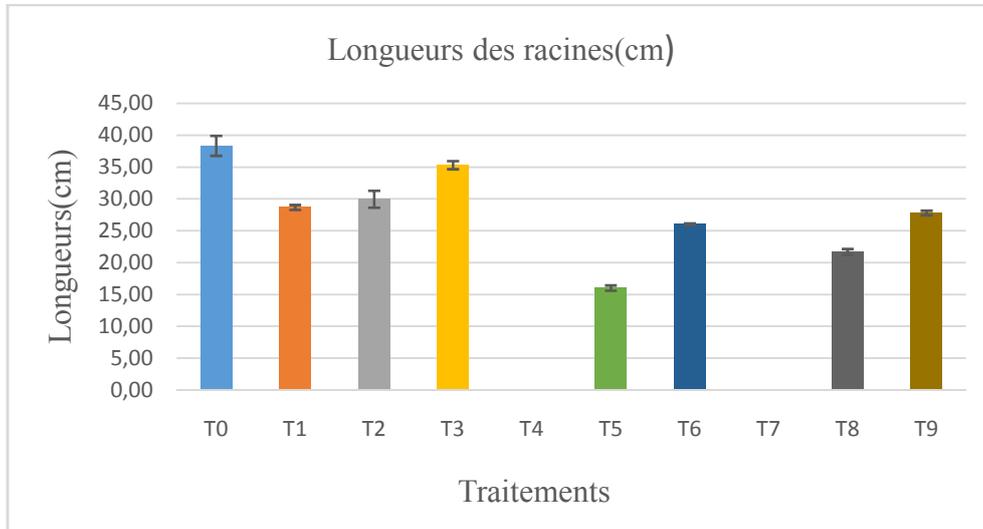


Figure 14 : Longueurs des racines en (cm)

L'irrigation avec 100 mM de CaCl_2 (T4) seul ou associé au NaCl (T7) inhibe carrément la croissance des plantes du blé dans ce milieu. De plus, la présence de 100 mM de NaCl (T1) dans le milieu d'irrigation exerce un effet dépressif de 25.29% de ce paramètre par rapport au témoin.

De même, l'irrigation par 50 mM du CaCl_2 (T5) seul ou associé au NaCl (T8) exerce un effet dépressif marqué par rapport aux autres traitements testés et par rapport au témoin. Les dépressions enregistrées sont de 58.27 et de 43.49% respectivement. Alors que l'exposition des plantules au 25mM de CaCl_2 (T6) seul ou associé au NaCl (T9) exercent un effet dépressif sur la longueur des racines. Les régressions enregistrées sont de 19.11 et 17.78 %

Ces résultats confirment le travail de LEMZERI (2006), qui indique que le chlorure de sodium inhibe la croissance des racines des glycophytes, qu'elles soient réputées très sensibles à la salinité, moyennement sensibles ou plutôt tolérantes.

3.2.1.3. Effet sur la biomasse fraîche de la partie aérienne(tiges +feuilles) (g)

Les résultats de la biomasse fraîche de la partie aérienne (tiges +feuilles) sont présentés dans la figure (15). L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P \leq 0,0001$) (Annexe 7).

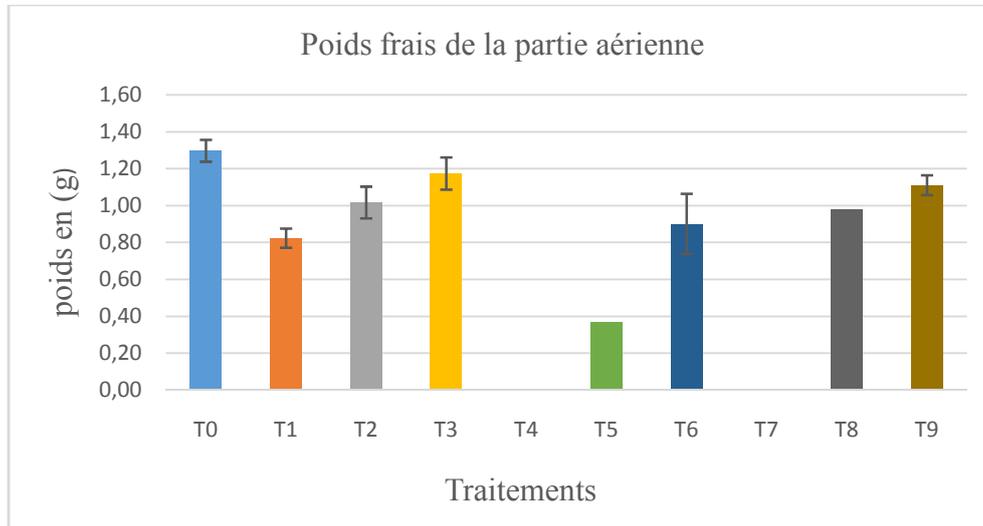


Figure 15 : Poids frais de la partie aérienne(g)

La présence de 100 mM de NaCl (T1) dans le milieu d'irrigation exerce un effet dépressif de 36.92% de ce paramètre par rapport au témoin. De même, l'irrigation par 50 mM du CaCl₂ (T5) exerce un effet dépressif le plus marqué par rapport aux autres traitements testés et par rapport au témoin. La dépression enregistrée est de 71.54% par rapport au témoin. D'un autre côté, la présence de 50 mM de NaCl seul (T2) ou associé au CaCl₂ (T8) dans le milieu d'irrigation exercent un effet dépressif de 21.53 et 24.61% respectivement de ce paramètre par rapport au témoin.

De plus, l'exposition des plantules au 25mM de CaCl₂(T6) seul exerce un effet dépressif marqué sur la biomasse fraîche de la partie aérienne par rapport aux autres traitements portant la même concentration. Les régressions enregistrées sont de 30.76 ; 10 et 14,61% par rapport au témoin en présence de 25 mM du CaCl₂ (T6), du NaCl seul (T3) ou associé au CaCl₂ (T9) respectivement.

Selon KHECHAI (2001), les ions de sodium et de chlorures peuvent être absorbés par les racines et s'accumuler dans les feuilles. Dès lors, ces ions peuvent provoquer les brûlures et le jaunissement prématuré des feuilles. Aussi ZHU (2001) a montré que, la croissance de la partie aérienne du végétal est réduite face à un stress abiotique. BENMAHIOUL *et al.*, (2009), ajoutent que les feuilles sont les tissus les plus sensibles de la plante à la salinité.

3.2.1.4. Effet sur la biomasse fraîche des racines (g)

Les résultats relatifs de ce paramètre sont illustrés dans la figure (16). L'analyse de la variance de celle-ci montre l'existence d'une différence très hautement significative ($P \leq 0,0001$) (Annexe 8).

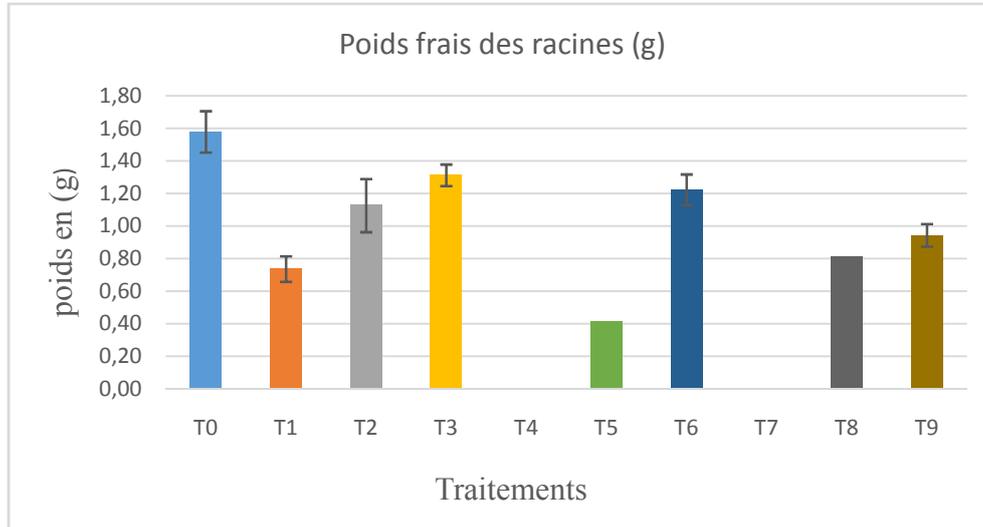


Figure 16 : Poids frais des racines (g)

L'examen de cette figure montre que l'irrigation par 100 mM de NaCl (T1) exerce un effet dépressif de 46.83% de la biomasse fraîche de la partie souterraine par rapport au témoin.

En revanche, la présence de 50 mM de CaCl_2 (T5) exerce un effet dépressif très marqué par rapport aux autres traitements de différente concentration et même par rapport au témoin. Cette dépression est de 74.05% par rapport au témoin. Par contre l'exposition de ces plantules aux 50mM de NaCl (T2) seul ou associé au CaCl_2 (T8) dans le milieu d'irrigation exercent un effet dépressif de 28.48 et 48.73% respectivement de ce paramètre par rapport au témoin.

De plus, l'exposition des plantules au 25mM de NaCl associé au CaCl_2 (T9) enregistre la réduction la plus faible comparativement au traitement par NaCl et CaCl_2 seul. Cette réduction est de 40.50% par rapport au témoin.

Ces résultats confirment le travail de BENMAHIOUL *et al* (2009), qui ont montré que la salinité provoque une faible biomasse fraîche des organes de l'appareil végétatif, dont les racines sont les tissus les moins affectés par ce phénomène.

La conséquence la plus immédiate d'une concentration saline est une lésion des racines suivies du flétrissement de la plante lui étant à une difficulté d'absorption hydrominérale, BLANC (1987).

3.2.1.5. Effet sur la biomasse sèche de la partie aérienne produite (g)

Les résultats relatifs l'effet de la salinité par NaCl, CaCl₂ et leurs interactions sur la biomasse sèche produite sont illustrés dans la figure (17). L'analyse de la variance montre l'existence d'une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) (annexe 9)

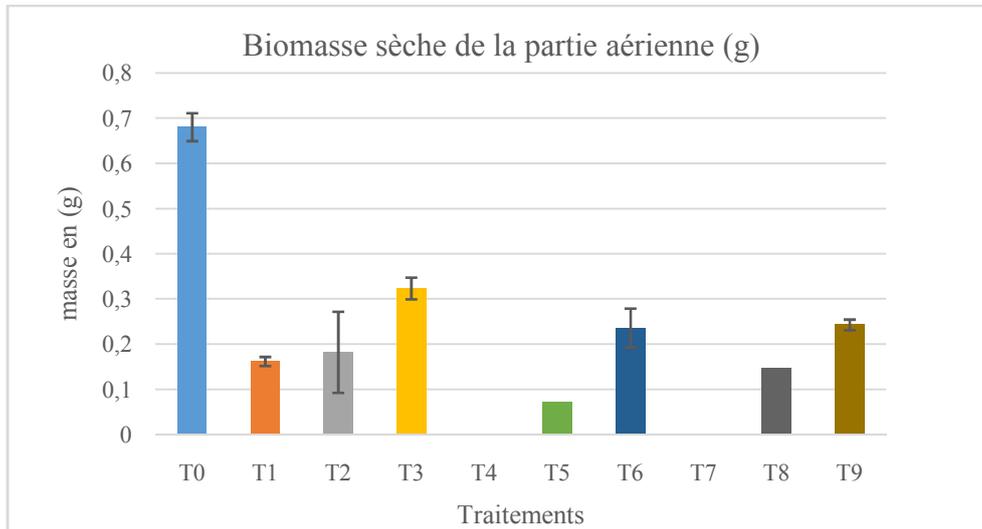


Figure 17 : Biomasse sèche de la partie aérienne (g)

L'examen de cette figure montre que l'irrigation avec la solution saline contenant 50 mM de CaCl₂(T5) révèle la biomasse sèche de la partie aérienne la plus faible et ce par rapport aux autres traitements et même par rapport au témoin. La réduction enregistrée est de 89,70% par rapport au témoin. En revanche, la présence du 25 mM de NaCl (T3) dans le milieu d'irrigation révèle la réduction la moins important et ce par rapport aux autres traitements. La réduction révélée est de 52,94% par rapport au témoin.

HELA et al.,(2008)confirment que la présence de NaCl dans le milieu, même à faible dose(50mM) entraine, après 21 jours de culture, une baisse significative de la matière sèche des plantes, des racines comme des parties aériennes.

3.2.1.6. Effet sur la biomasse sèche produite de la partie racinaire (g)

Les résultats relatifs l'effet de la salinité par NaCl, CaCl₂ et leurs interactions sur la biomasse sèche produite des racines sont illustrés dans la figure(18). L'analyse de la variance montre l'existence d'une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) (annexe 10)

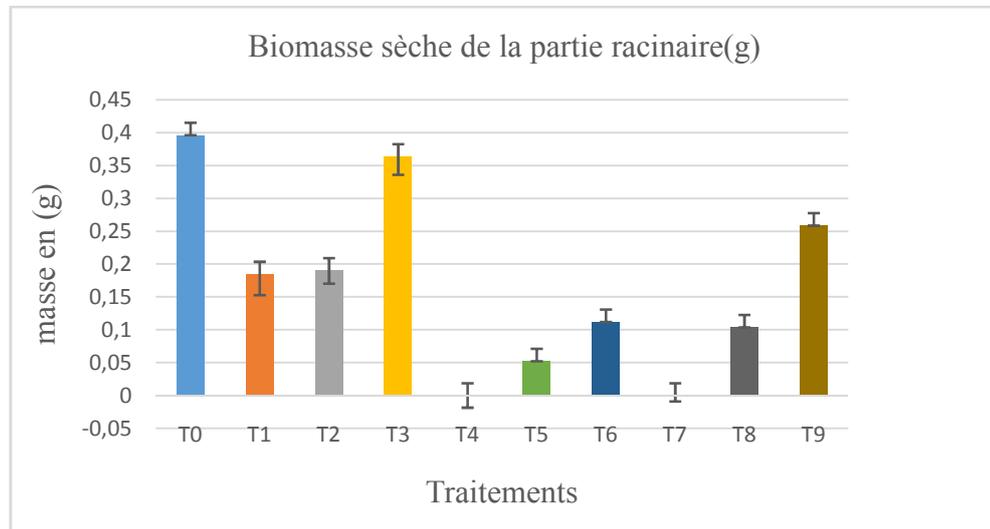


Figure 18 : Biomasse sèche de la partie racinaire (g)

L'examen de cette figure montre que l'irrigation avec la solution saline contenant 25mM de NaCl (T3) révèle la biomasse sèche produite la plus importante par rapport aux autres traitements. La dépression enregistrée est la moins importante par rapport aux autres traitements testés (7,69%) par rapport au témoin. En revanche l'irrigation des plantules de blé par la solution saline contenant 50mM de CaCl₂(T5) révèle la dépression la plus importante et ce par rapport aux autres traitements. La dépression révélée est de 87,17% par rapport au témoin.

Il est à signaler que la présence de 100 ou 50 mM de NaCl (T1 et T2) dans le milieu d'irrigation exercent un effet dépressif moins important par rapport aux autres traitements. Les dépressions révélées sont de 53,84 et 51,28% par rapport au témoin.

Ces résultats sont confirmés par les travaux de BLANC, (1987), qui ont indiqué que la conséquence la plus immédiate d'une concentration saline est une lésion des racines suivies du flétrissement de la plante, confrontée à une difficulté d'absorption hydrominérales.

3.2.1.7. Effet sur le taux de la matière sèche de la partie aérienne (%)

Les résultats relatifs l'effet de la salinité par NaCl, CaCl₂ et leurs interactions sur la matière sèche de partie aérienne sont illustrés dans la figure (19). L'analyse de la variance montre l'existence d'une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) (annexe 11)

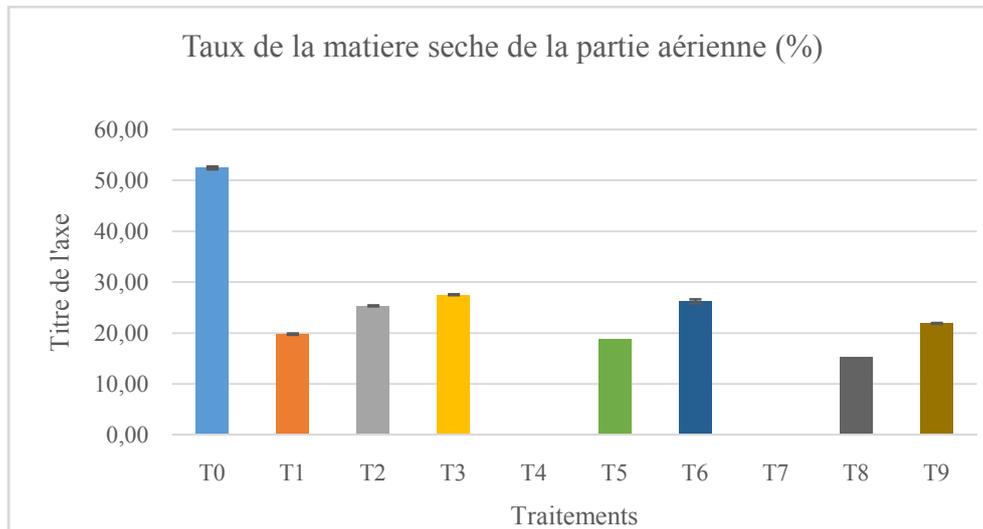


Figure 19 : Taux de la matière sèche produite de la partie aérienne (%)

L'examen de cette figure montre que le taux de la matière sèche de la partie aérienne la plus importante est enregistré chez les plantules irriguées par le témoin avec 52,45%. De plus, la présence de 100mM de CaCl₂(T4) seul ou combinée avec NaCl (T7) exercent la dépression la plus marquée. En outre, la présence de 50 mM de NaCl (T2) exerce un effet dépressif moins important comparativement la présence de 50mM de CaCl₂(T5). Les dépressions marquées sont de 51,61 et 63,92% respectivement par rapport au témoin.

La présence de 25 mM de NaCl (T3) ou CaCl₂(T5) exercent le même effet dépressif par rapport au témoin (47,45 et 49,95%) respectivement.

Les signes de stress les plus évidents au niveau de la végétation arrosée par des eaux chargées en sel sont ceux d'une sécheresse physiologique se manifeste par un aspect général rabougri de la plante, par une diminution de la surface foliaire et de la masse racinaire et par un dessèchement partiel de la végétation (SILLAGE et al.1990)

3.2.1.8. Effet sur le taux de la matière sèche de la partie racinaire (%)

Les résultats relatifs l'effet de la salinité par NaCl, CaCl₂ et leurs interactions sur la matière sèche des racines sont illustrés dans la figure (20). L'analyse de la variance montre l'existence d'une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) (annexe 12)

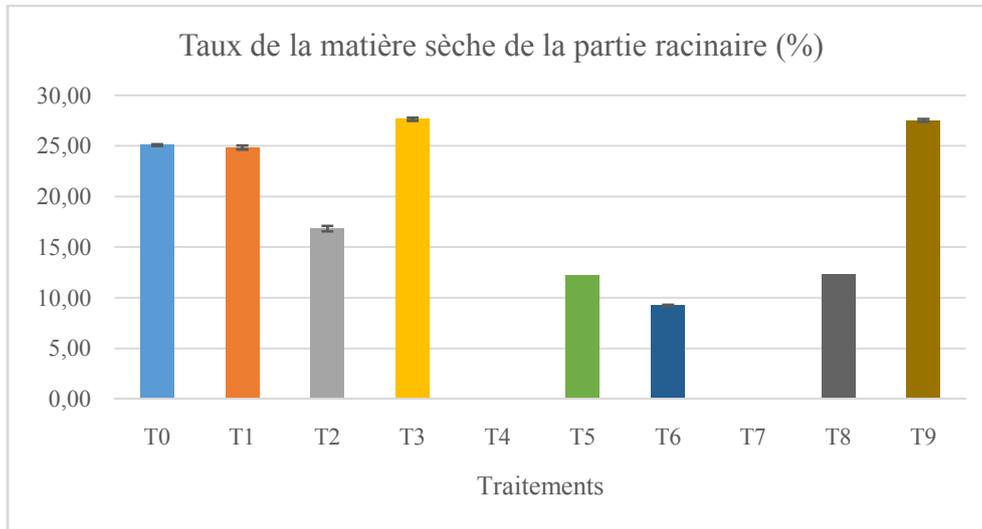


Figure 20 :Taux de la matière sèche de la partie racinaire(%)

L'examen de cette figure montre que l'irrigation avec la solution saline contenant 25 mM de NaCl (T3) seul ou associée au CaCl₂(T9) exercent un effet le plus favorable. Ceci se traduit une accumulation de la matière sèche des racines le plus important et ce par rapport aux autres traitements. Les gains révélés sont de 10,19 et 9,72% respectivement par rapport au témoin.

De plus, nous remarquons que l'exposition des plantules de blé à 100 mM de NaCl (T1) révèle un taux de la matière sèche des racines similaire à celui de témoin (24,87%). En revanche, l'exposition au milieu enrichi de 25 mM de CaCl₂(T6) révèle une réduction la plus importante du taux de la matière sèche de la partie racinaire et ce par rapport aux autres traitements testés. La chute révélée est de 63,10% par rapport au témoin. De plus, la présence 50 mM de CaCl₂(T5) seul ou associée au NaCl (T8) révèlent des dépressions similaires par rapport au témoin (51,39 et 50,75%) respectivement par rapport au témoin.

3.2.1.9. Effet sur la teneur relative en eau(%)

Les résultats de la teneur relative en eau sont présentés dans la figure (21), l'analyse de la variance a révélé des résultats très hautement significatifs ($P \leq 0,0001$) (Annexe 13).

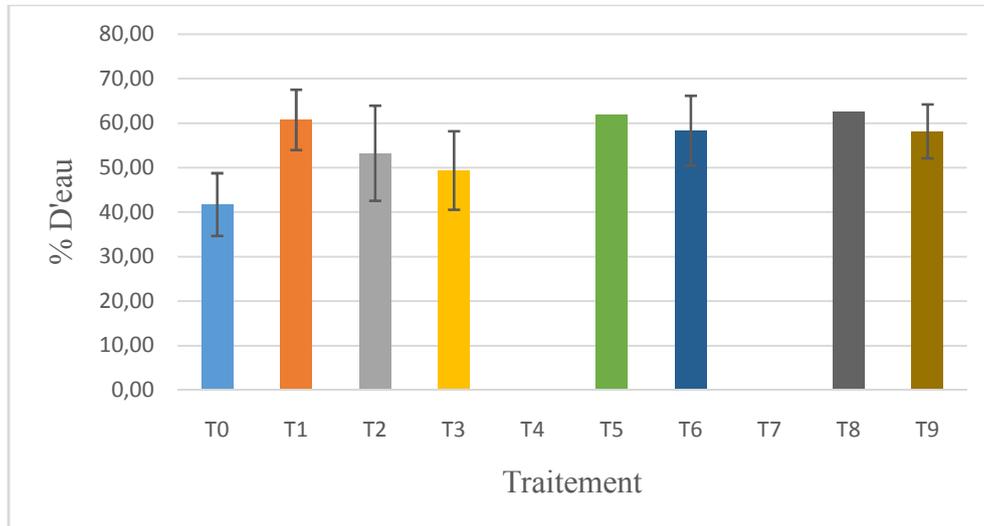


Figure 21 : Teneur relative en eau (%)

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une augmentation de la teneur relative en eau des plants en fonction de la concentration croissante de milieu et ce par rapport au témoin.

L'irrigation par 100 mM de NaCl (T1) exerce un effet favorable marqué par rapport au témoin. Le gain enregistré est 50,38% par rapport au témoin. De plus, les plantes irriguées par 50mM de NaCl associée au CaCl_2 (T8) présente la teneur en eau la plus marquée, suivie par les plantes irriguées par 50mM de CaCl_2 (T5) et NaCl (T2) seul. Les gains enregistrés sont de 50,38 ; 48,56 et 27,67 % par rapport au témoin respectivement.

De même, l'exposition des plantules au 25mM de CaCl_2 (T5) enregistre l'augmentation la plus marquée comparativement au traitement par NaCl seul (T3) ou associée à CaCl_2 (T9) dans la même concentration. Cette augmentation est de 39,88% par rapport au témoin.

Selon EL JAAFARI (2000), l'analyse de la teneur relative en eau permet de décrire d'une manière globale le statut hydrique et d'évaluer l'aptitude des plantes à réaliser une osmorégulation et maintenir une turgescence cellulaire.

3.2.2. Paramètres physiologiques

3.2.2.1. Effet sur la dose en Chlorophylle (A) (mg/g)

Les résultats relatifs l'effet de la salinité par NaCl, CaCl₂ et leurs interactions sur la chlorophylle (A) sont illustrés dans la figure (22). L'analyse de la variance montre l'existence d'une différence très hautement significative ($P \leq 0,0001$) (Annexe 14).

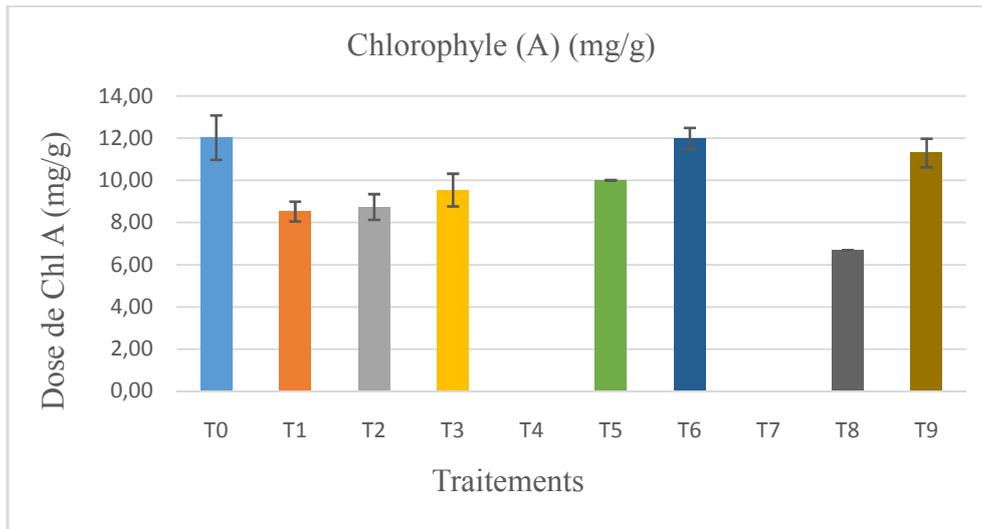


Figure 22 : teneurs en chlorophylle (A) (mg/g).

L'examen de cette figure montre que l'irrigation avec la solution saline contenant 50 mM de CaCl₂ associée au NaCl (T8) révèle une dose de chlorophylle (A) la plus faible et ce par rapport aux autres traitements testés. La dépression est de 44,38%. De plus nous remarquons que la présence du 100 mM de NaCl (T1) dans le milieu d'irrigation révèle une dépression correspondant à 29,17% et ce par rapport au témoin.

Il est lieu de signaler que nous n'avons pas mesuré le taux de chlorophylle (A) dans les milieux contenant 100mM de CaCl₂ seul (T4) ou associée au NaCl (T7) à raison des pertes en totalité des plantules dans ces milieux alimentaires.

Des résultats similaires ont été trouvés par les travaux de (CHEIKH et al 2008) où ils montrent que dans un milieu salin, le taux de chlorophylle est affecté en raison des perturbations causées au niveau des chloroplastes.

3.2.2.2. Effet sur la dose en Chlorophylle (B)(mg/g)

Les résultats relatifs l'effet de la salinité par NaCl, CaCl₂ et leurs interactions sur la chlorophylle B sont illustrés dans la figure (23). L'analyse de la variance montre l'existence d'une différence très hautement significative ($P \leq 0,0001$) (Annexe 15).

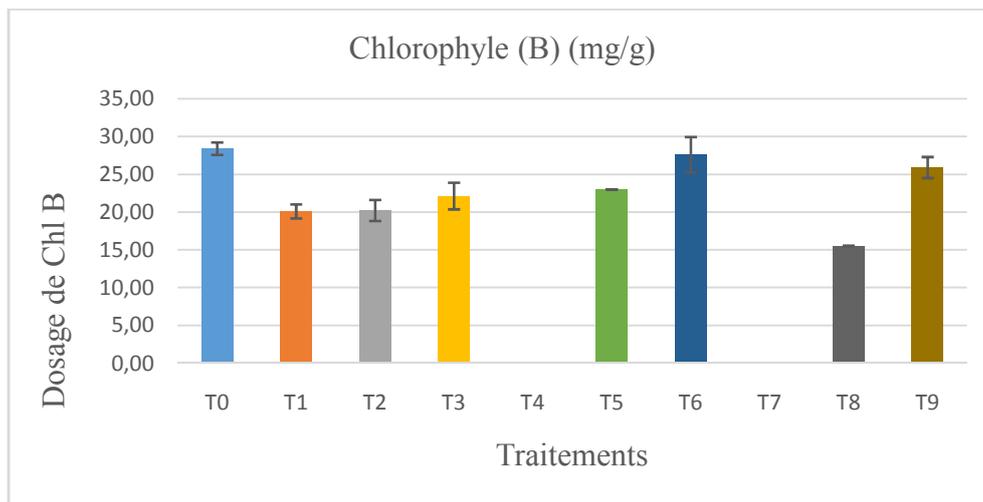


Figure 23 : Teneur en chlorophylle (B) (mg/g)

L'examen de cette figure montre que l'irrigation avec la solution saline contenant 25mM de CaCl₂(T4) ou CaCl₂associé au NaCl (T7) révèlent les réductions de taux en chlorophylle (B) les moins importants et ce par rapport au témoin. Les chutes enregistrées sont de 02,82 et 08,74% respectivement par rapport au témoin. En revanche, les faibles teneurs des feuilles en chlorophylle (B) les plus faibles sont observées au niveau des plantules qui ont irriguées par la solution contenant 50mM deCaCl₂associé au NaCl (T8) et 100 mM de NaCl (T1). Les dépressions enregistrées sont 45,26 et 29,25% respectivement par rapport au témoin.

L'explication plausible de la réduction des pigments photorécepteurs, notamment chlorophylle (a) et (b) est donnée par Tewari et Singh, (1991), comme étant une sensibilité des végétaux au sel (NaCl) pendant une étape de la biosynthèse de la chlorophylle ; signalons par ailleurs, que la chlorophylle (b) a été moins affectée que la chlorophylle (a).

Conclusion

Le travail réalisé dans ce mémoire, nous a permis d'avoir certains renseignements sur les différents effets du stress salin sur les paramètres physiologiques et également les paramètres morphologiques de la variété de blé dur étudiée (Mohammed Ben Bachir), qui est une variété algérienne.

Dans l'essai de germination, on a montré que le chlorure de Calcium, chlorure de sodium et leur combinaison ont affectés la germination des graines de blé, l'effet dose est important, plus la concentration saline est élevée, plus les paramètres germinatifs tel que : (la longueur des épicotyles, la longueur des racines, Taux de germination final, cinétique de germination, Moyenne journalière de germination, Hauteurs des plantes, sont faibles. Signalons en outre, que la plus forte concentration (100mM) de CaCl_2 seul ou associé au NaCl a provoqué une inhibition totale de ce processus chez la variété de blé.

La présence de 50 mM de CaCl_2 affecté le poids frais et la biomasse sèche de la partie aérienne. Les régressions enregistrées sont de 71.54% et de 89,70% respectivement par rapport au témoin.

Les teneurs en chlorophylle (A et B) sont des paramètres très sensibles, qui peuvent nous renseigner sur le degré de tolérance de la culture de blé dur à la salinité. Les traitements salins ont montrés des taux de réduction considérables de la chlorophylle. Par ailleurs il faut signaler que la teneur en chlorophylle (B) est plus sensible à l'effet du stress salin que celle de la chlorophylle (A)

En revanche, l'exposition des plantules de blé dans le milieu d'irrigation contenant 50 mM de CaCl_2 associé au NaCl exerce un effet dépressif le plus marqué dans les paramètres morphologiques qui se traduit par une réduction de la teneur des feuilles en chlorophylle (A) et (B). Les dépressions sont de 44,38% et 45.27 % respectivement par rapport au témoin.

Il est à noter qu'une stimulation de la teneur relative en eau dans les plantes stressées que dans les plantes non stressées a été remarquée.

Il est à signaler que le CaCl_2 est le sel le plus nocif comparativement au NaCl sur la totalité des paramètres étudiés

D'une manière générale on a trouvé que les concentrations excessives de NaCl, CaCl₂ et leur combinaison entraînent des modifications physiologiques et morphologiques chez la variété de blé dur.

La résistance et/ou l'adaptation des plantes à la salinité dépendrait de leur capacité à maintenir en vie dans des conditions contraignantes, en leur évitant ou en tolérant le stress. Cette tolérance est dépendante de la sévérité du stress, de l'espèce et de la durée d'exposition. Ces résultats confirment que la variété du blé dur examinée est sensible face au stress salin, et cette sensibilité s'est traduite par des modifications physiologiques et morphologiques

Durant la phase de la germination et de la croissance. Les doses croissantes en NaCl, CaCl₂ et leur combinaison provoquent une diminution importante de l'activité de la plupart des paramètres étudiées durant ces deux phases importantes dans la vie des végétaux.

Liste des références bibliographiques

- Abassenne F., Bouzerzour H. et Hachemi L., 1998.** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi – aride d’altitude. Annales Agronomiques. INA, 18: 24-36.
- Agastian P., Kingsley S.J., Vivekanandan M., 2000.** Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. Photosynthetica, 38: 287–290
- Alem C., Amri A., 2005.** Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l’orge. Biology and Biotechnology, 4. 1: 20-31.
- Antoine C., Lullien-Pellerin V., Abecassis J., Rouau X., 2002.** Nutritional interest of the wheat seed aleurone layer. Sciences des aliments, 22: 545-556.
- Ashraf M., 1994.** Salt tolerance of pigeon pea (*Cajanus cajan*(L.) Millsp.) at three growth stages. Ann. Appl. Biol., 124: 153-164
- Asloum H., 1990.** Elaboration d’un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicon esculentum*L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d’eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis: 24- 32.
- Bahlouli F., Bouzerzour H. et Benmahammed A., 2005.** Selection of stable and high yielding cultivar of durum wheat under semi – arid conditions. Pakistan Journal of Agronomy, 360 - 365.
- Baldy C., 1984.** Utilisation efficace de l’eau par la végétation en climats méditerranéens. Bull.Soc.Botan .Fr 131 (2, 3, 4) (Actuel Boton): 491- 499.
- Baldy C.H., 1992.** Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en méditerranée occidentale. Dans: tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale, Montpellier. Les colloques de l’INRA, 64: 83-100.
- Belaid D., 1986.** Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed .OPU, Alger, 207 p.
- Belaid D., 1996.** Aspects de la céréaliculture algérienne. INES. D’Agronomie, Batna. 187p
- Ben Ahmed H., Zid E., EL Gazzah C., Grignon C., 1996.** Croissance et accumulation ionique chez *Atriplex halimus*L. Cahiers d’Agricultures, 5: 367- 372.
- Ben-Hayyim G., Vaadia Y., William B., 1989.** Proteins associated with salt adaptation in citrus and tomato cells: Involvement of 26 KD polypeptides. Plant Physiology, 7: 332-340.

- BEN MAHIOL B., DAGUIN F., et KAID-HARCHE M., 2009 .** Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistaciavera* L.). C.R.Biologie , 332 : pp 164-170.
- BEN MILED D., BOUSAID M., ABDELKEFFI A., 1986.**Colloque sur les végétaux en milieu aride .Djerba 8-10 sept. 1986.Fac.Sci.De Tunis ept.ACCTT(1986) : p 586.
- Ben Nacer M., Cheikh-M'hamed H., Maalem S., Rahmoune C., 2005.** Les indicateurs précoces de la tolérance à la salinité 1er Colloque Euro-méditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30.
- Bizid E., Zid E. et Grignon C., 1988.** Tolérance au NaCl et sélectivité K⁺/Na⁺ chez les Triticales. Agronomie, 8, 1: 23-27.
- BLANC.D., 1987.**Les cultures hors sol. Ed. INRA. Paris. 409p.
- Bohnert H.J., Jensen R.G., 1996.** Metabolic engineering for increased salt tolerance the next step. Aust. J. Plant Physiol. 23: 661–666.
- Bohnert H.J. &Shen B., 1999.** Transformation and compatible solutes. ScientiaHorticulturae, 78: 237-260.
- Bonjean A., 2001.** Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (*Triticumaestivum*L.). Dossier de l'environnement de l'INRA, 21 :29-37.
- Bonjean A .et Picard E., 1990.** Les céréales à paille origine, historique, économie et sélection. Ed. Nathan, 235p.
- Bradbury D., MacMasters M.M., Cull I.M., 1956.** Structure of the mature wheat kernel.1.1. Microscopic structure of pericarp, seed coat, and other covering of the endosperm and germ of hard red winter wheat. CerealChemistry, 33: 342-360.
- Bouaziz E., 1980.** Tolérance à la salure de la pomme de terre, Physiol. Vég, 18, 1.
- Boukachabia E., 1993.** Contribution à l'étude de quelques mécanismes morphologiques et biochimiques de tolérance à la salinité chez cinq génotypes de blé dur (*Triticumdurum*Dest). Mémoire de Magister en production et physiologie végétale. Université Badji Mokhtar, Annaba, 108p.
- Boyeldieu J., 1997.** Blé tendre. Techniques agricoles. Editions Techniques Agricoles. Fascicule 2020.
- Bouteyre G. et Loyer J.Y., 1992.** Sols salés, eaux saumâtres des régions arides tropicales et méditerranéennes, principaux faciès pour l'agriculture. ORSTOM, 69-80.
- Calvet R., 2003.** Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole : 511 P.

- Cauderon., 1979.** Etudes des relations physiologiques chez le blé: cytogénétique et biochimique. Journées d'études. Biochimie et génétique du blé. INRA. Paris. pp: 30-33.
- CHEIKH. M., et al 2008 :** Evaluation de la tolérance au stress Salin de quelques Accessions D'orge (*Hordium Vulgare* L.) Cultivées En Tunisie : Approche Physiologique Science et Technologie., 28. Pp 30-37.
- Colmer T.D., Epstein E. and Dvorak J., 1995.** Differential solute regulation in leaf blade of various age in salt sensitive wheat and a salt tolerant wheat x *Lophopyrum elongatum*(Host) A. Löve amphiploid. *Plant Physiol*, 108: 1715-1724.
- Destrait F., Defense T., 2011.** Des céréales pour nourrir le monde. *Défis Sud*, 100 :10-12.
- Djekoun A., Ykhlef N., Bouzerzour H., Hafsi M., Hamada Y., Kahali L., 2002.** Production du blé dur en zones semi-arides: identification des paramètres d'amélioration du rendement. Act des 3ème Journées Scientifiques sur le blé dur. Constantine.
- Dutuit P., Pourrat Y., Dutuit J.M., 1994.** La notion de stress de la cellule à l'écosystème. *Sècheresse*, 5. 1: 23-31.
- Dvorak j., Terlizzi P., Zhan H.B, Resta P., 1992.** The evolution of polyploidy wheat identification of the A genome donor species. *Genome*, 36: 21-31.
- El-Mekkaoui M., 1990.** Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le blé dur (*T. durum* Des f) et l'orge (*H. vulgare*): recherches de tests précoces de sélection. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Montpellier. 191p.
- EL JAAFARI S., 2000.** Durum wheat breeding for abiotic stress resistance : defining physiological traits and criteria. *Options méditerranéennes* 40 : pp 251-256.
- EL-MONEM A., SHARAF M., 2008.** N.Y.Sci.J.1 : p 70.
- Evers A.D., Bechtel D.B., 1988.** Microscopic structure of the wheat grain. *Wheat. Chemistry and Technology*, 1: 47-95.
- Evers T., Maillar S., 2002.** Cereal grain structure and development: some implications for quality. *Journal of science*, 36: 261-284.
- Fathalli N., Bizid, E., 1986.** Effect of sodium chloride on the growth and the content in glucides in *Medicago ciliaris*. In: colloquium about plants in arid environment, faculty of sciences, Tunis, pp: 416-429.
- Feldman M., 1976.** Taxonomic Classification and Names of Wild, Primitive, Cultivated, and Modern Cultivated Wheats. Dans: Simmonds, N.W. (éd), *Evolution of Crop Plants*. Longman, Londres: 120-128 p

- Feldman M., 2001.** Origin of Cultivated Wheat. Dans Bonjean A.P. et W.J. Angus (éd.) The World Wheat Book: a history of wheat breeding. Intercept Limited, Andover, Angleterre: p 3-58.
- Felix T., 1996.** Etude de la diversité allélique des protéines de réserves (Gluténines et Gliadines) en relation avec des tests de technologie appréciant la valeur d'utilisation de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). INRA. Clermont-Ferrand. France
- Feuillet P., 2000.** Le grain de blé, composition et utilisation. Ed INRA. Paris: 88-199.
- Förster H., Coffey M., Elwood H., Sogin M.L., 1990.** Sequence analysis of the small subunit ribosomal RNAs of three zoospore fungi and implications for fungal evolution. Mycologia, 82: 306-312
- Fulcher R.G., Wong S.I., 1980.** Inside cereals a fluorescence microchemical view. In cereals for food and beverages, Inglett G.E., Munk L (eds) New York, Academic Press: 1-26.
- Gate P., 1995.** Ecophysiologie du blé de la plante à la culture. Paris, Lavoisier Tech & Doc - ITCF. 351p
- Gill K.S., 1979.** Effects of soil salinity on grain filling and grain development in burly. Biologia Plantarum, 24, 4: 266-269.
- Girard P., Prost J., Bassereau P., 2005.** Passive or Active Fluctuations in Membranes Containing Proteins Phys. Rev. Lett. 94: 60-64.
- Gouia H., Ghorbal M. H. et Touraine B., 1994.** Effects of NaCl on flows of N and mineral ions on NO₃⁻ reduction rate within whole plants of salt-sensitive bean and salt-sensitive cotton. Plant Physiology, 105: 1409-1418.
- Grignac P., 1965.** Contribution à l'étude de *Triticum durum* (Desf.) Thèse, Fac. Sci. Toulouse : 152 p.
- Grignac P., 1978.** Amélioration variétale de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Annale de l'INA (El – Harrach) : 83 -110.
- Hajlaoui H., Denden M., Bouzlama M., 2007.** Tropiculture a 25 : p 168.
- Hamadache A.M., 2001.** Manuel illustré des grandes cultures à l'usage des valorisateurs et techniciens de l'agriculture. Stades et variétés de blé, ITGC, Alger : p 22.
- Hamed M., 1979.** Plantes et culture des cultures céréalières, les cultures légumineuses. Syria.
- Hamza M., 1967.** Influence de diverses concentrations de chlorure de sodium sur la croissance de jeunes plantes de *Triticum sativum*. C. R. Acad. Sci. Paris, 176: 1997- 2000.
- Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.K., Bohnert H.J., 2000.** Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Biology and Molecular Biology, 51: 463

499.

Hayashi H., Murata N., 1998. Genetically engineered enhancement of salt tolerance in higher plants. In: Sato Murata N, (Ed.), Stress Response of Photosynthetic Organisms: Molecular Mechanisms and Molecular Regulation. Elsevier, Amsterdam: 133-148.

Hazmoune T., 1994. Contribution à la caractérisation de l'appareil racinaire de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en relation avec les composants de rendement. Thèse Magistère. Université, Batna 80p.

HELA. B.A., et al 2008 : *Tolérance à la salinité d'une poaceae à cycle court: la séttaire (Setaria verticillata L.) ; Compte rendus Biologies.* p. 164–170.

Heller F., Pusic E., Strauss G., Wilpert B., 1998. Organizational Participation: Myth and Reality, Oxford: Oxford University Press.

Hernandez S., Deleu C., Larher F., 2000. Accumulation de proline dans les tissus foliaires de tomate en réponse à la salinité. Comptes Rendus Académie des Sciences. Paris, Sciences de la Vie/ Life Sciences, 323:551- 557.

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

Hopkins W. G., 2003. Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruxelles: 61- 476.

Hinton J.J.C., 1955. Resistance of the testa to entry of water into wheat kernel. Cereal Chemistry, 32: 296-306.

IMALET. R., 1979 : Influence de différente concentration de sels (NaCl, Na₂SO₄) des eaux d'irrigation sur le rendement du haricot. Thèse de l'ingénieur : I.N.A El Harrach, Alger. 43p.

IPTRID., 2006. Conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégie de prévention et réhabilitation: 2-11.

IRD., 2008. Les dossiers thématiques de l'Institut de recherche pour le développement. Les sols sont fragiles : 1ère partie Salinisation et sodisation des sols. 2ème partie La dégradation des sols par salinisation ou alcalisation.

Ismail A.M.A., 1990. Germination ecophysiology in population of *Zygophyllum qatarenses* Hadidi from contrasting habitats. J. Arid. Environ, 18: 185-194.

Iyengar E. R. R., Reddy M.P., 1996. Photosynthesis in high salt tolerant plants. In: Pesserkali, M (Ed.). Hand Book of Photosynthesis. Marshal Dekker. Baten Rose, USA: 56-65.

Kao R. K., Jaiswal W., Kolch., Landreth G.E., 2001. Identification of the mechanisms regulating the differential activation of the mapk cascade by epidermal growth factor and nerve growth factor in pc12 cells. J. Biol. Chem, 276: 18169–18177.

- Karou M., Haffid R., Smith D.N., Samir K., 1998** .Roots and shoot growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early – season drought. *Agronomie*, 18: 182-186.
- Kefu Z., Munns R., King R.W., 1991**. abscisic acid levels in NaCl-treated barley, cotton, and saltbush. *Aust. J. Plant Physiol*, 18: 17-24.
- Khan M.A., Hamid A., Salahuddin A. B.M., Quasem A., Karim M.A., 1997**. Effect of sodium chloride on growth, photosynthesis and mineral ions accumulation of different types of rice (*Oryza sativa*). *J. Agronomy and Science*, 149- 161.
- KHECHAI. S., 2001**. Contribution à l'étude du comportement hydrophysique des sols du périmètre irrigué de l'ITDAS dans la plaine de l'outaya (W.Biskra), Thèse de magister science agronomique : Université de Biskra. p. 145.
- Kurban H.H., Saneoka K., Nehira R., Adila G.S., Premachandra and K. Fujita., 1999**. Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant *albagipseudoalbagi* (biéb.). *Soil Sci. Plant Nutr*, 45: 851–862
- Le Corre V., Bernard M., 1995**. Assessment of the type and degree of restriction fragment length polymorphism (RFLP) in diploid species of the genus *Triticum*. *Theoretical and Applied Genetics*, 90: 1063-1067.
- LEMZERI H. ,2006**. Réponses écophysiologicals de trois espèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* (*A. cyanophylla*, *E. gomphocephala* et *S. molle*) soumises à un stress salin. Mémoire de magistère, Université de Mentouri Constantine : 180 p.
- Mazliak P., 1998**. Physiologie végétale : croissance et développement. Ed Hermann, 150p
- Mazouze, L., 2006**. Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologique dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum Desf*) dans l'étage bioclimatique semi-aride. Mémoire de Magister, Université Hadj Lakhdar, Batna
- McKevith B., 2004**. Nutritional aspects of cereals. *Nutrition Bulletin* 29, 111-142.
- Mekhlouf A., Bouzerzour H., Dehbi F., Hannachi A., 2001**. Rythme de développement et Variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum Desf.*) aux basses températures. Tentatives de sélection pour la tolérance au gel. *In Proceeding Séminaire sur la valorisation des milieux semiarides*. Université, Oum El Bouaghi.
- Meloni D.A., Oliva M.A., Ruiz H.A., Martinez C.A., 2001**. Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J. Plant Nutr*, 24: 599-612.
- Mohammad M., Shibli R., Ajouni M., Nimri L., 1998**. Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *J. Plant Nutr*, 21: 1667–1680.
- Monneveux P., 1991**. Quelle stratégie pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit

hydrique des céréales d'hiver ? In : ChalbiDemarly Y. éd. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey. ENSA-INRA: 165- 186.

Morort-Gaudry J.F., 1997. Le double jeu de la Rubisco. *Biofutur*, 28-30.

Munns R. et Termaat A., 1986. Whole plant response to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13: 143-160.

NICHOLS P.G.H., MALIK A.I., STOCKDALE M., 2009. Colmer T.D., *Plant Soil* :pp315-241.

Niu X., Rsessan R.A., Hasegawa P.M., Pardo J.M., 1995. Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*, 109. 3: 735- 742.

Piccard E., 1988. Sélection du blé dur. L'intégration de biotechnologies : 48-58.

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

Rayburne Gill B.S., 1985. Molecular evidence of the origin and evolution of chromosome 4A in polyploide wheat. *Can. J. Genet Cytol* , 246- 250 .

Reid K., 2003. Fertilité des fourrages. Publication du MAAO. Ontario. Canada. Site web: ag.info.comaf.gov.on.ca. Canada

Rejili M., Vadel M A., Neffat P. M., 2006. Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus*(L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, 17.1 : 65- 78.

Reynolds M P., Ortiz-Monasterio J.I., McNab A., 2001. Application of Physiology in Wheat Breeding. D.F.: CIMMYT: 101-111. Mexico

Selmi R., 2000. Fin du mythe de l'autosuffisance alimentaire et place aux avantages comparatifs. *Revue Afrique Agriculture*. N° 280.Pp.30-23. IN: Evaluation de la qualité d'un germoplasm de blé dur (*Triticum durum* Desf): appréciation de l'aptitude technologique et biochimique. Ait Kaki.S. (2001). Mémoire de Magister, Université BadjiMokhtar. Annaba.

Simon H., Codaccioni P., Lequeur X ., 1989. Produire des céréales à paille Coll. Agriculture d'aujourd'hui. Science, Technique, Application, pp 63-296.

Slama F., 1986. Effet du nitrate d'ammonium sur le degré de tolérance à une forte dose de NaCl de dix variétés de blé. Colloque sur les végétaux en milieu aride, Jerba (Tunisie), 8-10 septembre 1986. Tunis: Agence de coopération culturelle et technique, pp. 460–473.

Speer M., Kaiser W.M., 1991. Ion relations of symplastic and apoplastic space in leaves from *Spinaciaoleracea*L. and *Pisumsativum*L. under salinity. *Plant physiology*, 97: 990-997.

Soltner D., 1998. Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte- Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles.

Surget A., Barron C., 2005. Histologie du grain de blé, *Industrie des céréales*, 145: 4-7.

- Sun N.Z., 1994.** Inverse problems in groundwater modeling, Theory and applications of transport in porous media v. 6, Dordrecht, Boston: Kluwer Academic, 337 p.
- TAVILI A., BINIAZ M., 2009.** Different salt effects on the germination of *Hordium vulgare* and management. American Society of Civil Engineers, New York .pp :1-17.
- Tewari T.N., Singh B.B., 1991.** Stress studies in lentil (*Lens esculenta* M.) II. Sodicity induced changes in chlorophyll, nitrate and nitrate reductase, nucleic acid, proline, yield and yield components in lentil. Plant Soil, 136: 225–230.
- Tremblin G., Coudret A., 1986.** Salinité, transpiration et échanges de CO₂ chez *Halopeplis amplexicaulis* (Vahl.) Ung. Oecol. Plant, 7. 21: 417-431.
- Vavilov N.L., 1934.** Studies on the origin of cultivated plants. Bull. Appl. Bot and plant breed, X VI : 1- 25 .
- Wang Y., Nil N., 2000.** Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. J. Hortic. Sci. Biotechnol, 75: 623–627.
- Wardlaw I.F., 2002.** Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment .Annals of Botany, 90:469-476.
- Wu J.L., Seliskar D.M., Gallagher J.L., 1998.** Stress tolerance in the marsh plant *Spartina patens*: impact of NaCl on growth and root plasma membrane lipid composition. Physiol. Plant, 102: 307– 317.
- Xu F.S., 1990.** New genus and species of Polyplacophora (Mollusca) from the East China Sea. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 8.4: 375-377
- ZHU. J.K., 2001.** Plant salt tolerance. Trends in Plant Science, Vol. 6, p. 66-71.
- Zid E., 1983.** Mécanismes de la nutrition minérale de la feuille de citrus et son agression par le sodium. Thèse de Doctorat ès-Sciences Naturelles. Faculté des sciences. Université de Tunis. 419p.
- FAO, (2009).** "Food and Agricultural Organization. Land and plant nutrition management service", (2009), Available on: www.fao.org/wsfs/forum2050

Chapitre I : Salinité et physiologie de stress

1.1. Définitions du stress

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante (Hopkins, 2003). D'après Dutuit *et al.*, (1994), le stress est le dysfonctionnement produit dans un organisme ou dans un système vivant. Le stress est donc, un ensemble de conditions qui provoquent des changements de processus physiologiques résultant éventuellement de dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement.

1.2. Généralités sur la salinité

Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols et des eaux comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en cations (Na^+ , Ca^{+2} et Mg^{+2}) et les anions (Cl^- , SO_4^{-2} et CO_3^{-2}) sont présentes en concentrations anormalement élevées (Asloum, 1990). Ce type de stress est essentiellement dû au NaCl en conditions naturelles (Sun et Zheng, 1994). Il caractérise les zones arides et semi arides, surtout là où l'irrigation est pratiquée (Ashraf, 1994).

1.3. Définition de sols salés (sols halomorphes)

Les sols salins sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents. Ils sont là où l'évaporation excède les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire, ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eaux marines) (Girard *et al.*, 2005).

Selon Calvet (2003), un sol est dit salé quand la conductivité électrique est supérieure à 4ds/m. Généralement, les sols sont constitués par deux unités très différentes, les salisols, dans lesquels les sels sont formés de sodium, de calcium ou de magnésium sont sous la forme de sels solubles simples ou complexes. Les sodisols à complexe sodique dans lesquels les cations, essentiellement le sodium sont sous la forme échangeable, les sels solubles étant très peu abondants (Bouteyre et Loyer, 1992).

1.4. Notion de la salinisation

C'est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol (IPTRID, 2006). Une salinisation trop importante accompagnée parfois d'une alcalinisation du complexe absorbant des sols (IRD, 2008). Plus l'aridité est forte, plus l'irrigation est incontournable à la culture, et plus son usage est risqué.

1.5. Les différents types de salinisation

1.5.1. La salinisation primaire

Selon Hosni (2009), 80% des terres salinisées ont une origine naturelle. On parle alors de salinisation "primaire", due aux sels se formant lors de l'altération des roches ou à des apports naturels externes. La migration et le dépôt des sels solubles dépendent de l'intensité et de la répartition de précipitations, du degré de porosité du sol et autres caractéristiques du milieu naturel (Mermoudet musy, 2006).

1.5.2. La salinisation secondaire

Elle est induite par l'activité humaine et fréquemment liée à des pratiques agricoles (Mermoud et Musy, 2006). Elle est l'origine de la diminution de la productivité de la terre car la forte concentration de sel dans le sol s'oppose à la bonne production, par conséquent, les terres cultivées affectées par NaCl perdent progressivement leurs fertilités.

Selon Hosni (2009), 20% des terres salinisées, soit près de 15 Mha sur le continent Africain, ont une origine « anthropique ». Dans les sols irrigués, elle s'explique par l'irrigation avec une eau de mauvaise qualité, un lessivage insuffisant, un drainage déficient, des infiltrations à partir des canaux et des zones adjacentes, la présence d'un niveau phréatique élevé et un taux d'évapotranspiration importante.

La salinisation secondaire est la voie la plus rapide, quelques années à quelques centaines d'années. Elle correspond aux apports anthropiques directs tels que les apports de sel utilisés comme fertilisants [KCl, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$] ou indirecte par certaines composées azotées ou soufrées retombant sous forme saline et surtout pour le biais d'apport d'eau d'irrigation déjà légèrement salées (Cheverry et Bourrié, 1998).

La salinisation des terres irriguées avec des eaux salées, contaminées par des invasions d'eau de mer, due à une surexploitation des nappes aquifères, à proximité du littoral (Bouzouidja, 1995). Ainsi, l'utilisation irrationnelle et anarchique des engrais par l'agriculteur influe d'une façon indirecte sur l'accumulation des sels dans le sol.

1.6. Les causes de la salinité

Les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline, et les pratiques culturales sont parmi les facteurs principaux qui contribuent à la salinité croissante. La salinisation secondaire, en particulier, aggrave le problème une fois que les superficies agricoles productives deviennent impropres à la culture due à la qualité médiocre de l'eau d'irrigation (Ashraf et Foolard, 2005).

En Algérie, ce problème s'est peu posé dans le passé mais durant les dernières années, on a décelé des intrusions des eaux marines dans les nappes côtières d'Annaba et

d'Oran (phénomène analogue au niveau de la sebkha) L'exploitation intensive et anarchique des nappes par l'agriculture ont créé localement des phénomènes de pollution et de dégradation du sol (Morsli, 2007).

Les travaux d'Urban (1997) ont montré que la salinité des sols peut avoir pour causes :

- ✓ L'existence d'un mauvais drainage est une condition essentielle de la salinisation.
- ✓ Dans la zone côtière, les apports marins et éoliens ont une influence directe dure les eaux souterraines
- ✓ Une irrigation sur sol non drainant utilisant une eau légèrement saline (accumulation des sels dans les sols)

1.7. Conséquences de la salinité sur la plante

La salinité est l'un des facteurs limitant pour la croissance des plantes. Ses effets sur les végétaux sont: un arrêt de la croissance, le dépérissement des tissus sous forme de nécroses marginales, suivi par une perte de turgescence, une chute des feuilles et finalement par la mort de la plante (Zid, 1982). Elle provoque le plus souvent un retard dans le développement (Gill, 1979; El Mekkaoui, 1990 ; Boukachabia, 1993) et d'une manière générale la hauteur, le diamètre des tiges des différentes espèces, ainsi que la grosseur des fruits, diminuent d'une façon considérable avec l'augmentation de la salinité.

C'est le cas de riz (khan et *al.*, 1997) et de la pomme de terre (Bouaziz, 1980). D'une façon globale, la tolérance au sel n'est pas constante pour une même espèce ou variété. Elle peut changer en fonction de l'espèce, du génotype, de l'âge de la plante et de l'état physiologique de l'organe. A titre d'exemple, l'orge et le blé sont particulièrement résistants à la salinité après la germination (El Mekkaoui, 1990).

1.7.1. Effet de la salinité sur la germination

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

1.7.1.1. 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.

1.7.1.2. 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), ont signalait qu'une bonne germination des graines et une émergence sous le stress salin qui est un critère valable pour garantir l'établissement adéquate dans les sols affectés par le sel. Cependant, Ben Ahmed (1996) ont rapportaient que la corrélation entre la tolérance au stade de germination des semences et la tolérance des plantes pendant les autres périodes de croissance n'est pas obligatoire.

1.7.2. Effet de la salinité sur la croissance

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente (Wang et Nil, 2000). Les seuils élevés de la salinité sont accompagnés par une réduction significative de la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire chez la tomate (Mohammad *et al.*, 1998). L'excès de NaCl se manifeste par une croissance dans la biomasse souterraine et la biomasse aérienne (tiges et feuilles) et une augmentation du ratio partie racinaire/partie aérienne chez le coton (Meloni *et al.*, 2001). Plusieurs études, révèlent que, les glycophytes répondent à la salinité du milieu de manière aussi variées que complexes. Les espèces les plus sensibles subissent des réductions de croissance souvent très sévères à des salinités réduites (Fathalli et Bizid, 1986). Ces mêmes auteurs ont signalait que chez les variétés sensibles de soja (*Glycine max L.*), une réduction de croissance de 40% a été observée après 14 jours de culture à 10mM de NaCl. Selon Slama (1986), la présence du NaCl a une concentration de 3g/l agit rapidement au bout de 5 à 10 jours et diminue de 20% la croissance des plantes sensibles telle que: le haricot, la courge et la courgette blanche non creuse. La croissance foliaire est généralement plus affectée par le sel que la croissance racinaire chez plusieurs espèces de plantes cultivées comme l'orge (Gouia et Ghorbal, 1986) et le blé (Xu, 1990).

Munns et Termaat (1986), signalent que le stress salin a pour effet immédiat de limiter la croissance en inhibant la croissance foliaire par des messages hormonaux partant des racines en directions des feuilles. L'hormone impliquée est probablement l'acide abscissique (Kefu *et al.*, 1991). La salinité provoque le plus souvent un retard dans le développement, D'une manière générale ; la croissance en longueur, le diamètre des tiges et la grosseur des fruits diminuent d'une façon importante avec l'augmentation de la salinité (Boukachabia, 1993).

En revanche, il faut signaler que les effets de salinité sur la croissance et la productivité végétale ne sont pas toujours négatifs (Colmer *et al.*, 1995). Cet effet de stimulation de la croissance par le sel (NaCl) est particulièrement visible sur le cotonnier

(*Gossypium hirsutum* L.) où l'on observe, en présence d'une teneur de 6g/l de NaCl, une augmentation de croissance pondérale et un allongement excessif des racines (Boutelier et Hubac, 1986). Ainsi, Bizid et Zid (1986), ont constaté que chez les variétés de Triticale, la croissance des racines n'est pas affectée par le NaCl ; elle est même stimulée chez les variétés tolérantes. Cette stimulation s'observe également chez le blé cultivé en présence de NaCl (Hamza, 1967). Cependant, les processus impliqués dans cette stimulation sont encore mal compris.

1.7.3. Effet de la salinité sur l'état hydrique de 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 ; Bohnert et Shen, 1999 ; Hasegawa et *al.*, 2000).

1.7.4. Effet de la salinité sur la biochimie de la plante

Sous les conditions salines, il y a un changement dans le modèle d'expression des gènes, et des changements qualitatifs et quantitatifs dans la synthèse des protéines (Reynolds et *al.*, 2001). Plusieurs études révèlent que la salinité diminue la synthèse des protéines et augmente leur hydrolyse chez les plantes cultivées telle que le petit pois, la vigne et le haricot (Tremblin et Coudret., 1986). Agastian et *al.*, (2000) ont rapporté que les protéines solubles augmentent à des niveaux bas de salinité et diminuent à des seuils élevés de concentrations salines chez les Mûres. Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique au niveau des membranes cellulaires, affectant ainsi leur stabilité (Alem et Amri., 2005). L'insaturation des acides gras contrecarre le stress salin ou hydrique. Wu et *al.*, (1998) ont analysé le changement de la composition des lipides soumis à cette contrainte dans la membrane plasmique des racines chez *Spartina pratensis* et ont rapporté que les pourcentages molaires des stérols et les phospholipides diminuent avec l'augmentation de la salinité, mais le ratio stérols/phospholipides n'est pas affecté par le NaCl.

1.7.5. Effet de la salinité sur la photosynthèse

La présence du sel en forte concentration inhibe principalement le métabolisme cellulaire et la photosynthèse (Tremblin et Coudret, 1986) par l'imposition d'un stress osmotique (Hayashi et Murata., 1998) sur la cellule et par la toxicité du sodium (Niu *et al.*, 1995) et du chlorure dans le cytoplasme. Le stress salin cause des effets à long et à court terme sur la photosynthèse. Les effets à court terme se manifestent après quelques heures jusqu'à un à deux jours de l'exposition au stress, et la réponse est importante ; il y a complètement arrêt de l'assimilation du carbone et du processus photosynthétique.

L'effet à long terme s'exprime après plusieurs jours de l'exposition au sel et la diminution de l'assimilation du carbone est due à l'accumulation du sel dans les feuilles en développement (Munn et Termatt, 1986) ; aussi on a rapporté qu'il y a arrêt de la photosynthèse sous des conditions sévères de stress salin (Kao *et al.*, 2001). Par contre, le stress faible à modéré semble plutôt stimuler ce phénomène (Kurban *et al.*, 1999). La diminution du processus photosynthétique est due à plusieurs facteurs :

- ✓ La déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO₂.
- ✓ La toxicité des ions formant le sel.
- ✓ La réduction de l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture hydro active des stomates.
- ✓ La sénescence accrue des feuilles induite par la salinité.
- ✓ Le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement de leur conformation dans la structure cytoplasmique. (Iyengar et Reddy, 1996).

1.7.6. Effet de la salinité sur les enzymes anti-oxydantes

En cas de stress biotique ou abiotique, on observe chez les plantes une production rapide et massive d'espèces réactives à l'oxygène. De nombreuses études ont été menées, notamment chez les plantes, afin de préciser quels sont les facteurs qui entraînent ce phénomène. De nombreuses conditions environnementales ont ainsi été définies : la sécheresse, les stress thermiques (hautes et basses températures), l'exposition aux métaux lourds, aux ultra-violets, aux polluants aériens tels que l'ozone et le SO₂, les stress mécaniques, les carences nutritionnelles, les attaques de pathogènes, le parasitisme, la salinité et les fortes expositions à la lumière (Ben Naceur *et al.*, 2005). Le stress salin cause un déficit hydrique comme conséquence à l'effet osmotique sur les activités métaboliques des plantes. Ce déficit hydrique entraîne un stress oxydatif à cause de la libération de radicaux libres toxique pour le métabolisme cellulaire comme les super oxydes, les radicaux hydroxyles et peroxydes. Les espèces réactives de l'oxygène qui sont les produits

du stress hyperosmotique et ionique provoquent des disfonctionnements dans la membrane et la mort cellulaire (Bohnert et Jensen, 1996). Les plantes se défendent contre ces ROS par l'induction de l'activité de certaines enzymes antioxydantes comme la catalase, la peroxydase, le glutathion réductase et le superoxyde dismutase, qui éliminent les espèces réactives de l'oxygène. L'activité des enzymes antioxydantes comme l'ascorbate peroxydase, le glutathion réductase, la monodéshydroascorbate réductase (MDHAR) et la déshydroascorbate réductase (DHAR) augmentent sous les conditions de stress salin chez le blé alors que l'ascorbate total et le contenu du glutathion diminuent (Hernandez et *al.*, 2000).

1.7.7. Effet de la salinité sur les processus physiologiques de la plante

Un excès de sel dans le protoplasme conduit à des modifications dans la balance ionique entraînant une faible production d'énergie par les réactions de phosphorylation et photorespiration. L'assimilation de l'azote et de nombreuses voies métaboliques sont perturbées. Si la concentration en sel excède le niveau de tolérance de la plante, des perturbations fonctionnelles apparaissent au niveau de la photosynthèse, par effet du sel dans le stroma des chloroplastes qui perturbe le transport des électrons. La glycolyse et le cycle de Krebs sont aussi affectés. L'acquisition de substances minérales, comme le potassium, les nitrates ou le calcium sont également réduites. La plante montre alors des signes de stress par la production d'anthocyanes ou la destruction de la chlorophylle. Si la croissance est stimulée par un apport modéré de sel, ce phénomène reste limité par un niveau de tolérance. Des stress extrêmes conduisent au nanisme et à l'inhibition de la croissance. Les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir terminées leur croissance et développement, et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite (Ben-Hayyim et *al.*, 1989 ; Speer et Kaiser, 1991).

Chapitre II : Généralité sur la culture de blé

2.1. Généralité

En ce début du XXI^{ème} siècle, les céréales fournissent encore près de la moitié des rations alimentaires de l'humanité. Elles seront sans doute amenées à jouer un rôle fondamental face aux défis démographiques et environnementaux du siècle. Les céréales constituent environ 30% des sources énergétiques alimentaires dans les pays développés, contre plus de 50% dans les pays en voie de développement, atteignant parfois 90% dans certains pays d'Afrique.

2.2. Présentation de l'espèce étudiée

Le blé est une plante herbacée annuelle qui produit le grain dont on tire la farine pour faire notamment le pain et les pâtes alimentaires. On distingue deux espèces de blé : le blé tendre et le blé dur. Ils se différencient par la friabilité de l'amande, qui est plus importante pour le blé tendre et permet la transformation en farine, alors que le blé dur est plus apte à se transformer en semoules. Le blé tendre est utilisé pour la panification, la pâtisserie, la biscuiterie. Il est panifiable. Le blé dur est utilisé pour les pâtes alimentaires, les semoules, les couscous. Il est pastifiable. Chacune de ces espèces compte plusieurs variétés dont les caractéristiques sont très divers tant par leur composition que par leurs qualités technologiques.

2.3. 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 (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 puis en suivant la vallée du Danube (Allemagne) pour se fixer aussi dans la vallée du Rhône (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 :

- ✓ La sous espèce *Europium Vav.*, se trouve dans les Balkans et la Russie.

✓ 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 phrénologiques, morphologiques et physiologiques 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. 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.

2.4. Classification botanique

Le blé dur est une plante herbacée, monocotylédone appelé aussi céréale à paille appartient à la famille des Graminées, genre *Triticum*. Cette famille comprend 600 genres et plus de 5000 espèces. Une classification détaillée est donnée ci-dessous (Feillet, 2000) :

Sous embranchement	<i>Spermaphytes</i>
Classe	<i>Monocotylédones</i>
Ordre	<i>Glumiflorales</i>
Super ordre	<i>Comméliniflorales</i>
Famille	<i>Graminae et/ ou Poaceae</i>
Tribu	<i>Triticeae</i>
Sous tribu	<i>Triticinae</i>
Genre et espèce	<i>Triticum durum</i> Desf.

2.5. Origine génétique

La détermination de l'origine de chacun des génomes du blé est difficile du fait de l'évolution des espèces. Les connaissances actuelles concernant l'origine des génomes du blé ont été acquises grâce à des études cytologiques. Mais le développement des outils

moléculaires a permis d'affiner et de compléter ces connaissances (Rayburn et Grill, 1985 ; Picard, 1988 et Lecore et Bernard, 1995).

Les travaux de Kihara, (1924) cités par Felix, (1966) ont permis d'attribuer l'origine du génome A à *Triticum monococcum*. Une étude récente basée sur le polymorphisme des séquences répétées a établi que *Triticum urartu* est présent seulement chez *Triticum zhukovski* (Dvorak *et al.*, 1992). Sakamura (1918) cité par Cauderon, (1979), fut le premier à déterminer le nombre exact des chromosomes de diverses espèces de *Triticum* et leurs différents niveaux de ploïdie :

- ✓ *Triticum aestivum*: 42 chromosomes hexaploïdes.
- ✓ *Triticum turgidum*: 28 chromosomes tétraploïdes ($2n=4x=28$) génome AABB.
- ✓ *Triticum monococcum*: 14 chromosomes diploïdes (Cauderon, 1979).

Feldman (1976), affirme que le blé tire son origine d'une forme sauvage de l'espèce diploïde (*Triticum monococcum*) *sensu lato* dans une région délimitée par l'Iran, la Syrie et la Turquie.

La première espèce tétraploïde, le *Triticum turgidum* est le résultat d'une hybridation entre le *Triticum monococcum* et une herbe apparentée au blé nommée *Aegilops speltoides* (Graminée). La première espèce a fourni le génome A et la seconde, le génome B, la domestication de ce blé tétraploïde (AABB) a donné l'amidonnié, qui est à l'origine des cultivars de blé dur. Chaque génome A, B et D provient d'une espèce diploïde ancestrale différente. Ces trois espèces seraient elles-mêmes issues d'un ancêtre diploïde commun.

Cette origine lui a sans doute conféré cette souplesse d'adaptation d'où sa culture dans de très nombreuses régions dans le monde (Piccard, 1988).

2.6. Importance économique

2.6.1. Dans le monde

La culture des blés est pratiquée par tous les peuples du monde. Les rendements moyens de céréales sont ainsi passés de 1,3 à 3,5t/ha au niveau mondial entre 1969 et 2009. Les rendements du blé peuvent atteindre jusqu'à 10 tonnes à l'hectare pour l'agriculture intensive (moyenne mondiale : 3 t/ha) (Destrait et Defense., 2011). Leur production mondiale a atteint 695,7Mt en 2011-2012 (source USDA). Cinq pays ou régions assurent les deux tiers de la production mondiale (figure 4). L'Union européenne, la Chine, l'Inde, les Etats-Unis et la Russie ont ainsi produit en moyenne 397 millions de tonnes de blé au cours de la période 2003-2007. Aux côtés de ces grands producteurs on trouve une série de 8 pays dont la production se situe généralement entre 10 et 30 millions de tonnes et qui ne représentent ensemble pas loin du quart (23%) de la production mondiale de blé chaque

année : le Canada, le Pakistan, l'Australie, la Turquie, l'Argentine, l'Iran, l'Ukraine et le Kazakhstan. Ces deux groupes de pays fournissent ensemble environ 93% de la production mondiale de blé.

2.6.2. Situation en Algérie

Les céréales jouent un rôle important dans l'agriculture nationale puisque' elle occupe plus de 90% des terres cultivées. La productivité nationale est assez faible de 8 à 10 Qx/ha, ceci se répercute sur l'offre et la demande (Selmi, 2000).

Les superficies réservées aux céréales sont de l'ordre de 7 à 8 millions d'hectares. Chaque année 4 à 5 millions d'hectares sont emblavés, Le reste est laissé en jachère. Ces grandes régions céréalières sont situées dans leur majorité sur les hauts plateaux, ceux-ci sont caractérisés par des hivers froids, un régime pluviométrique irrégulier, des gelées printanières et des vents chauds desséchants (Belaid, 1996 ; Djekoun et *al.*, 2002).

Un faible rendement est dû à l'influence des conditions pédoclimatiques et aux techniques culturales (Chabi *et al.*, 1992), et à certaines tendances socio-économiques comme l'exode rural et la priorité donnée à l'industrie durant les années 1970 qui ont marqué durablement la céréaliculture algérienne (Selmi, 2000). Malgré les efforts consentis, les rendements restent très bas.

2.6.3. Biologie et cycle de développement du blé

2.6.3.1. Caractères morphologiques

a. Structure et composition du grain de blé

Le grain de blé est constitué de 3 grandes parties : le germe, l'albumen et les enveloppes. Il est constitué majoritairement d'amidon qui représente environ 70% de la matière sèche du grain et qui est situé dans l'albumen. Les protéines représentent entre 10 et 15% de la matière sèche et se retrouvent dans tous les tissus du grain de blé avec une concentration plus importante dans le germe et la couche d'aleurone (Pomeranz, 1988). Les pentosanes (polysaccharides non amylacés) représentent quant à eux entre 2 et 3% de la matière sèche et sont les principaux constituants des parois cellulaires de l'albumen (70 à 80%).

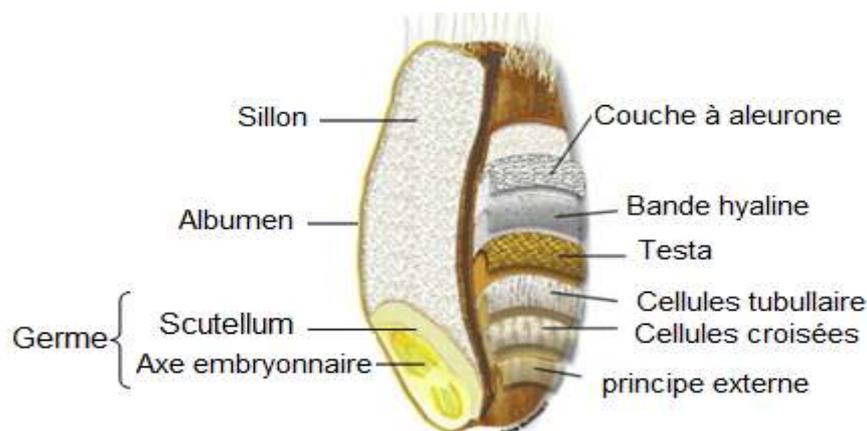


Figure1 : Histologie du grain de blé (Surget et Barron, 2005)

a.1. Les enveloppes et la couche d'aleurone

Les enveloppes sont constituées de quatre tissus : le péricarpe externe, le péricarpe interne, la testa et la couche nucellaire ou bande hyaline (qui correspond à l'épiderme du nucelle). Ces enveloppes et la couche à aleurone sont composées principalement de polysaccharides (arabinoxylanes, xyloglucanes et cellulose) mais aussi d'acides phénoliques, lignine et de protéines (principalement albumines globulines localisées dans la couche à aleurone). Le péricarpe externe d'une épaisseur de 15-30 μ m correspond à l'épiderme et est constitué de deux tissus composés de cellules mortes : l'épiderme et l'hypoderme. L'épiderme est constitué de cellules allongées mesurant 80 à 300 μ m (Bradbury, 1956) et disposées selon l'axe embryonnaire. L'hypoderme possède la même structure que l'épiderme et lui est fortement adhérent. Le péricarpe externe est constitué de 45% d'arabinoxylane, 25% de glucose, 10% de lignine et 6-7% de protéines (Pomeranz, 1988 ; Surget et Barron, 2005).

Le péricarpe interne correspond à l'endocarpe et au mésocarpe, respectivement constitués de cellules tubulaires et de cellules croisées. Les cellules croisées sont perpendiculaires à l'axe longitudinal du grain tandis que les cellules tubulaires lui sont parallèles. Les cellules croisées sont de tailles variables mesurant en moyenne 150 μ m de longueur sur 20 μ m de largeur.

Chez le blé, la continuité entre les cellules croisées et le péricarpe externe est interrompue au niveau de l'arête dorsale du grain du fait de l'autolyse des cellules parenchymateuses lors de la maturation. Le péricarpe permet d'éviter les pertes d'eau durant le développement du grain mais n'empêche pas sa pénétration (Evers *et al.*, 1999).

Les cellules mortes du péricarpe sont capables de retenir l'eau et d'augmenter le poids du grain de 4-5% après seulement quelques minutes d'imbibition (Hinton, 1955).

La testa correspond au spermoderme. Sa face interne repose sur la cuticule de la couche hyaline. Elle est constituée de deux cuticules compressées riches en lipides et composées de cellules allongées mesurant entre 120 et 190 μm de longueur et 20 μm de largeur (Bradbury *et al.*, 1956) qui fusionnent avec un film pigmentaire. Les axes des cellules de ces deux couches sont perpendiculaires ; l'un parallèle au sillon, l'autre perpendiculaire à celui-ci (Evers et Bechtel, 1988). La testa est décrite comme très hydrophobe. La couche nucellaire ou bande hyaline correspond au périsperme. Son épaisseur est d'environ 20 μm . Elle est constituée d'une assise cellulaire tassée due au remplissage de l'albumen amylicé et au développement de l'embryon (Fulcher et Wong, 1980).

Elle est composée de cellules de taille comprise entre 30 et 200 μm de longueur et 15 à 40 μm de largeur. Cette couche est tapissée d'une fine cuticule qui la relie à la couche à aleurone aussi appelée couche du lysat nucellaire. Cette bande hyaline est très hydrophobe et semble avoir un rôle important dans la circulation de l'eau entre l'intérieur et l'extérieur de la graine. Une seule couche à aleurone entoure l'albumen amylicé chez le blé. Elle est, avec le germe, la seule partie du grain constituée de cellules vivantes. Les cellules de la couche à aleurone sont de forme polygonale et mesurent approximativement 65 μm . Elles possèdent de gros noyaux, des parois épaisses (jusqu'à 8 μm) et sont riches en vitamines (B1, B2, B3, B6, B9 et E) et en minéraux (P, K, Mg, Mn et Fe) (Pomeranz, 1988 ; Antoine *et al.*, 2002 ; McKevith, 2004). La couche à aleurone par sa richesse en métabolites a un rôle nourricier et par sa structure un rôle de protection.

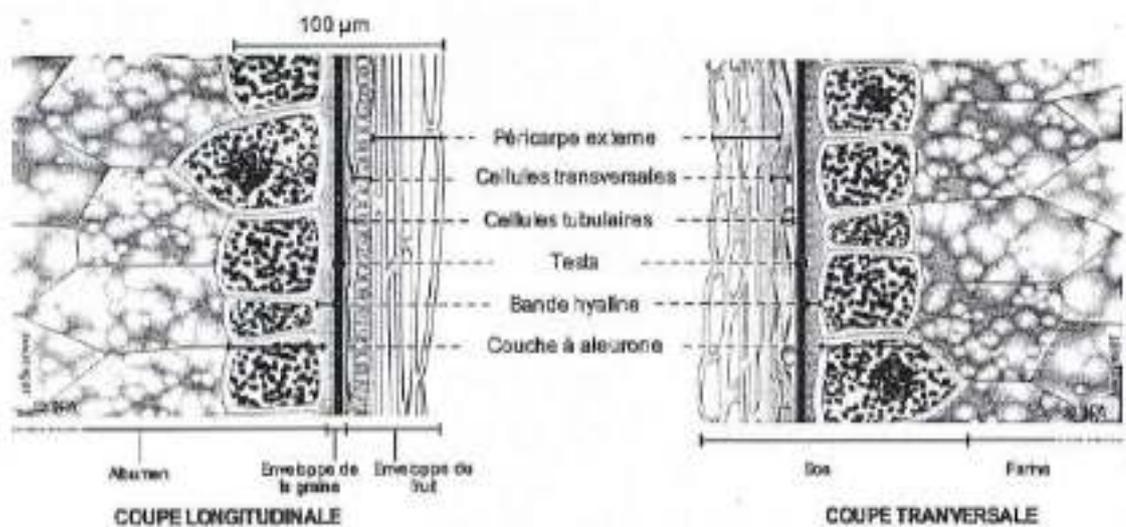


Figure 2: Couches cellulaires du grain de blé d'après Surget et Barron, (2005)

Le germe

Il provient de la fusion des gamètes mâles et femelles. Il est constitué d'une part, de l'axe embryonnaire qui donnera la tigelle, la mésocotyle et la radicule et d'autre part du scutellum qui donnera le cotylédon (Evers et Millar, 2002 ; Surget et Barron, 2005). Le germe est la partie du grain où le taux d'humidité et la concentration en lipides sont les plus importantes (Pomeranz, 1988). Les protéines dans le germe sont des albumines et globulines et représentent environ 35% de la matière sèche.

a.2. Albumen ou l'amande

Il constitue le plus important compartiment du grain et représente environ 80% de son poids (Pomeranz, 1988). Albumen correspond au tissu de réserve. L'albumen amylicé est essentiellement constitué des granules d'amidon enchâssés dans une matrice protéique composée en grande partie de prolamines (gliadines, gluténines de hauts et faibles poids moléculaires) mais aussi d'albumines et de globulines. Ces deux familles protéiques, gluténines et gliadines, sont hydrolysées lors de la germination et du développement de la plantule par les enzymes produites dans l'embryon et la couche à aleurone. Elles constituent la source d'acides aminés nécessaires à la germination de la graine.

Les cellules de l'albumen amylicé possèdent des parois fines et peuvent être classées en trois grands groupes (Evers et Millar, 2002) :

- ✓ Les cellules périphériques situées sous la couche à aleurone et mesurant 60µm
- ✓ Les cellules prismatiques situées sous les cellules périphériques qui mesurent entre 128-200µm de long et 40-60µm de large
- ✓ Les cellules situées dans la partie centrale de l'albumen qui sont de forme arrondie ou polygonale mesurant entre 72-144µm de long et 69-120µm de large.

L'albumen est la partie du grain qui présente le plus d'intérêt du point de vue de l'utilisation. En effet, les protéines de réserve qui le constituent ont la capacité de former en présence d'eau des liaisons covalentes, hydrogènes et des interactions notamment de type hydrophobe aboutissant sous l'action du pétrissage à un réseau glutineux qui possède des propriétés viscoélastiques aux multiples usages.

b. Appareil végétatif

L'appareil végétatif comprend l'appareil aérien et l'appareil racinaire

b.1. Appareil racinaire

Il est de type fasciculé, deux systèmes se forment au cours du développement de la plante :

- **Un système primaire**

Selon Grignac (1965), Il fonctionne de la germination à la ramification de la plante c'est-à-dire au tallage.

Ces racines sont d'origines embryonnaires associées dans le grain à différentes parties de l'embryon qui sont :

- ✓ Une racine principale résultant de l'allongement de la radicule.
- ✓ Deux paires de racines latérales.
- ✓ Une racine épiblastique.

➤ **Système secondaire**

C'est un système de racines coronaires ou système de racines de tallage. Il se forme dès le tallage et se substitue parallèlement au système séminal (Hazmoune, 1994 ; Hamadache, 2001).

b.2. Appareil aérien

Elle est formée d'un certain nombre d'unités correspondantes aux talles, partant d'une zone à la base de la plante appelée plateau de tallage, chaque talle, après développement complet de la plante est formée de tige et de feuilles. Le chaume du blé est une tige cylindrique, formée d'entre nœuds séparés par des nœuds plus ou moins saillants. Chaque nœud est le point d'attache d'une feuille. La feuille du blé est simple, allongée, alternée et a des nervures parallèles ; elle se compose de deux parties :

- ✓ la partie inférieure entourant la jeune pousse qui est la gaine
- ✓ la partie supérieure en forme de lame qui est le limbe.

b.3. Appareil reproducteur

L'inflorescence du blé est un épi. Ce dernier est constitué d'unités de base appelées épillets. L'épillet est une petite grappe de un à cinq fleurs enveloppées chacune par deux glumelles (inférieure et extérieure). La grappe est incluse entre deux bractées ou glumes, les fleurs sont attachées sur le rachis. Chaque fleur comporte en général 3 étamines et un ovaire. Les fleurs sont hermaphrodites, le blé est une plante autogame : le pollen d'une fleur pollinise l'ovaire de la même fleur (Soltner, 1998).

c. Croissance et développement

Le cycle de développement d'une céréale à paille comprend trois grandes périodes :

- ✓ **La période végétative**, de la germination aux premières manifestations de l'allongement de la tige principale (début de la montaison).
- ✓ **La période reproductrice**, du tallage herbacé à la fécondation.

- ✓ **La période de maturation**, de la fécondation à la maturité complète du grain.

c.1. Germination-levée

La germination se caractérise par l'imbibition de la semence. La réactivation des enzymes et la dégradation des réserves assimilables par l'embryon. La radicule se dégage des enveloppes séminales, puis la mise en place du nombre de plants par mètre carré. Le sol est alors percé par la coléoptile qui est un étui protecteur de la première feuille. La levée est notée quand 50% de plantules sont sorties de sol. Pendant cette phase, les jeunes plantes sont sensibles au manque d'eau qui provoque une diminution de nombre (Karou *et al.*, 1998).

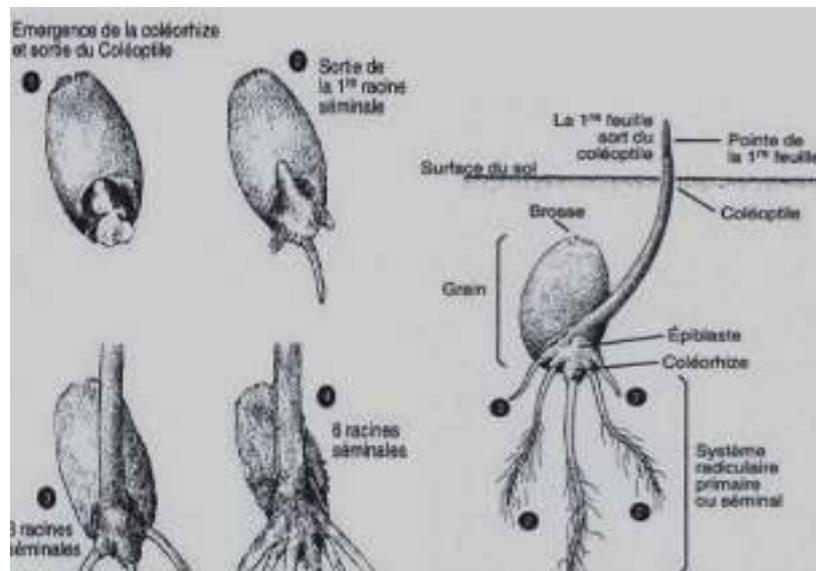


Figure3: Phase de semis-levée (Boyeldieu, 1997)

d. Tallage

Cette phase s'amorce à partir de la quatrième feuille. Le début du tallage est marqué par l'apparition de l'extrémité de la première feuille de la talle latérale primaire puis d'autres talles naissent successivement à l'aisselle de la 2ème et la 3ème feuille de la tige centrale, l'ensemble restant court noué, formant un plateau de tallage situé juste au niveau du sol. Ces talles primaires peuvent ensuite émettre des talles secondaires, lesquelles à leur tour émettent des talles tertiaires (Belaid, 1986 ; Gate, 1995). Le fin tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Gate, 1995).

e. Montaison-gonflement

Elle se manifeste, à partir du stade épi à 1 cm, par l'élongation du premier entrenœud. C'est à ce stade qu'est repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin-maître atteint 1 cm de hauteur à partir de la couronne ou plateau de tallage (Gate, 1995). Ce stade est sensible aux basses températures variant entre 0 et 4°C. Selon Baldy, (1984), la montaison constitue la phase la plus critique du développement du blé. Tout stress hydrique ou thermique au cours de cette phase réduit le nombre d'épis montants par unité de surface. Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle (stade gonflement).

f. Epiaison-floraison

L'épiaison se détermine par l'apparition de l'épi hors de la gaine de la dernière feuille. Les épis dégainés fleurissent généralement entre 4 à 8 jours après l'épiaison (Bahlouli *et al.*, 2005). Les basses températures au cours de ce stade réduisent fortement la fertilité des épis (Abbassenne *et al.*, 1998).

g. Remplissage du grain

Geslin et Jonard (1948) in Mazouz (2006) mentionnent que cette phase se compose de trois étapes successives, il y a augmentation rapide du volume et du poids de grain en eau et en matière sèche. La première est une phase de multiplication des cellules du jeune grain encore vert. Les assimilés proviennent de la photosynthèse de la feuille étendard et du transfert des hydrates de carbones non structuraux stockés dans le col de l'épi. La quantité d'eau contenue dans le grain tend à se stabiliser : c'est le pallier hydrique.

Les fortes températures au cours de cette période provoquent l'arrêt de la migration des réserves des feuilles et de la tige vers le grain : c'est l'échaudage du grain. Puis suit la phase de dessèchement du grain, qui perd de son humidité pour atteindre son poids sec final (Wardlaw, 2002).

2.7. Exigences du blé

Le blé nécessite un sol bien préparé et ameubli sur une profondeur de 12 à 15cm pour les terres battantes (limoneuses en générale) ou 20 à 25cm pour les autres terres.

La date de semis est un facteur limitant vis à vis du rendement, la date propre à chaque région doit être respectée sérieusement pour éviter les accidents climatiques. Il peut commencer dès la fin d'Octobre avec un écartement entre les lignes de 15 à 25cm et une profondeur de semis de 2,5 à 3cm. La dose de semis est variée entre 200 à 225Kg/ha en fonction des paramètres climatiques, la grosseur des grains, la faculté germinative et la fertilité du sol. Selon Clément et Parts (1970), les facteurs climatiques ont une action prépondérante sur les différentes périodes de la vie du blé.

2.7.1. La température

Selon Simon *et al.*, (1989), la température à partir de laquelle un blé germe et pousse est de 0°C; cependant l'optimum se situe entre 20 et 22 °C. Une température élevée est favorable au développement et à la croissance. Baldy (1992), ajoute que les fortes températures provoquent une levée trop rapide et parfois un déséquilibre entre la partie aérienne et la partie souterraine. Les températures entre 25 et 32°C défavorisent l'allongement racinaire et l'optimum se situe entre 5 et 12°C. Mekhlouf *et al.*, (2001), classent les exigences en température pour les différents stades de développement du blé de la manière suivante:

- ✓ Stadelevée : la somme des températures = 120 °C.
- ✓ Stadetallage : 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.

2.7.2. L'eau

Jusqu'à la fin du tallage, les besoins en eau sont relativement faibles. De plus, l'humidité excessive du sol est néfaste à l'installation du système racinaire en profondeur. Par contre, au cours de la phase de montaison et jusqu'à la floraison, les besoins en eau de la culture sont considérables et peuvent s'évaluer à 180mm (entre Mars et Mai). Après la floraison, le blé devient très résistant à la sécheresse (comme aux fortes températures) (Grignac, 1965).

2.7.3. Fertilisation

En particulier, dans les zones arides, l'amélioration de la fertilité et de la structure du sol peut être intégrée à travers des pratiques adéquates de la rotation des cultures.

2.7.3.1. Azote

L'azote est l'élément essentiel de la production, soit sous forme ammoniacal ou nitrique est absorbé par les racines pour entrer dans les voies de biosynthèse. La réduction du nitrate en ammonium est catalysée par deux enzymes : la nitrate et le nitrite réductase, L'ammonium réduit est absorbé directement dans les racines est intégré aux molécules organiques. La proportion de nitrate et de l'ammonium absorbée varie selon les espèces et les conditions d'environnement. Quoiqu'il en soit une grande partie du nitrate absorbé devra être réduite en ammonium dans les racines ou dans les feuilles pour entrer dans les voies de synthèse d'acides aminés et protéines (Morot-Gaudry, 1997). L'application des nitrates sur un peuplement de graminées stimule leur croissance. Une carence en azote entraîne un retard de la croissance et un nanisme des plantes, les feuilles sont petites, vertes

et pâles en raison de la perturbation de la synthèse de la chlorophylle. Elles jaunissent prématurément, les tiges sont grêles et se ramifient peu. Par contre, un excès d'azote se traduit par un fonctionnement excessif des méristèmes, une lignification fortement réduite, les tissus sont peu développés (Mazliak, 1998).

2.7.3.2. Phosphore

Il est absorbé sous forme de P_2O_5 par les plantes, le phosphore fait partie des éléments plastiques puisqu'il entre dans la constitution moléculaire des acides nucléiques et des phospholipides. De plus c'est un cofacteur transporteur d'énergie (ATP, GTP, UTP, etc.). Les composés phosphorylés apparaissant dans le métabolisme général sont innombrables : trioses phosphates, hexoses phosphates, nucléosides.

On le trouve également dans divers coenzymes: nucléotides comme le FMN (= Riboflavine Phosphorylée), le NADP (= NAD Phosphate), la Co carboxylase (= Thiamine Pyrophosphate). Il intervient aussi, d'une manière déterminante dans la constitution de certains éléments structuraux essentiels à la vie cellulaire, dans les échanges d'énergies et dans de nombreuses réactions métaboliques comme la photosynthèse (Heller *et al.*, 1998). Le phosphore est essentiel à la vigueur et la longévité des peuplements. En revanche, une carence en phosphore peut engendrer un nanisme des plantes et des malformations d'organes. La coloration des feuilles passe au vert foncé et même au vert bleuâtre (Mazliak, 1998). Un excès, par contre en (P) n'entraîne pas d'inconvénient majeur sinon économique.

2.7.3.3. Potassium

L'ion Potassium (K^+) se rencontre souvent associé à des anions inorganiques dans les solutions cellulaires. Son rôle principal est catalytique:

- ✓ Il active certaines kinases (enzymes qui assurent les transferts de groupements phosphate à partir de l'ATP, ou vers l'ADP par exemple phosphofructokinase et la pyruvate kinase,
- ✓ Il intervient indirectement dans la synthèse de protéines à partir d'acides aminés,
- ✓ Il intervient également dans la synthèse des polysaccharides à partir des oses.

Au total, le potassium active plus de 60 enzymes (Heller *et al.*, 1998).

Le potassium participe aussi dans les mécanismes de perméabilité cellulaire. Son abondance et sa mobilité en font le cation le plus important pour la création de la pression osmotique et donc la turgescence vacuolaire. De même, c'est lui qui pour l'essentiel assure l'équilibre acido-basique des cellules. Sur les végétaux cultivés, c'est un élément d'une extrême importance, indispensable à toutes les plantes. Il favorise la photosynthèse,

diminue la transpiration et réduit le risque de flétrissement en cas de déficit hydrique. Il assure une alimentation équilibrée des plantes, améliore la qualité du rendement, augmente la production en grain, accroît la résistance aux maladies etc. La fertilisation potassique ne peut pas s'appliquer en fumure de fond, car elle risque de brûler les semences (Reid, 2003). On peut toutefois l'appliquer en surface avant le semis ou au printemps sur la culture. Le principal facteur à prendre en considération avant d'appliquer un engrais potassique est le résultat de l'analyse du sol. Une déficience en (K) entraîne des déficiences dans la synthèse des protéines et de la photosynthèse. L'apparition de chloroses et nécroses aux bords et extrémités des feuilles sont visibles.

Annexe 3 : Taux de germination finale :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Factorielle	9	0,391	0,043	9,694	< 0,0001
Erreur	19	0,085	0,004		
Total	28	0,476			

Test Newman- Keuls

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes			
T0	0,973	0,039	0,892	1,054	A			
T3	0,853	0,039	0,772	0,934		B		
T9	0,800	0,039	0,719	0,881		B		
T6	0,787	0,039	0,706	0,868		B	C	
T5	0,760	0,039	0,679	0,841		B	C	
T8	0,733	0,039	0,652	0,814		B	C	
T4	0,707	0,039	0,626	0,788		B	C	
T2	0,693	0,039	0,612	0,774		B	C	
T1	0,613	0,039	0,532	0,694			C	D
T7	0,500	0,047	0,401	0,599				D

Annexe 4 : moyenne journalière de la germination :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Factorielle	9	39,063	4,340	9,694	< 0,0001
Erreur	19	8,507	0,448		
Total	28	47,570			

Test Newman- Keuls

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes			
T0	9,733	0,386	8,925	10,542	A			
T3	8,533	0,386	7,725	9,342		B		
T9	8,000	0,386	7,191	8,809		B		
T6	7,867	0,386	7,058	8,675		B	C	
T5	7,600	0,386	6,791	8,409		B	C	
T8	7,333	0,386	6,525	8,142		B	C	
T4	7,067	0,386	6,258	7,875		B	C	
T2	6,933	0,386	6,125	7,742		B	C	
T1	6,133	0,386	5,325	6,942			C	D
T7	5,000	0,473	4,010	5,990				D

Annexe 5 : hauteur des tiges

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Factorielle	9	4054,428	450,492	232,476	< 0,0001
Erreur	19	36,818	1,938		
Total	28	4091,247			

Test Newman- Keuls

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes					
T0	33,563	0,804	31,881	35,245	A					
T3	31,550	0,804	29,868	33,232	A					
T9	30,967	0,804	29,285	32,649	A					
T8	27,700	0,984	25,640	29,760		B				
T2	27,647	0,804	25,965	29,329		B				
T1	23,387	0,804	21,705	25,069			C			
T6	22,957	0,804	21,275	24,639			C			
T5	16,767	0,804	15,085	18,449				D		
T7	0,000	0,804	-1,682	1,682						E
T4	0,000	0,804	-1,682	1,682						E

Annexe 6 : longueur des racines

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Factorielle	9	4813,633	534,848	641,915	< 0,0001
Erreur	19	15,831	0,833		
Total	28	4829,464			

Test Newman- Keuls

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes					
T0	38,350	0,527	37,247	39,453	A					
T3	35,300	0,527	34,197	36,403		B				
T2	29,953	0,527	28,850	31,056			C			
T1	28,653	0,527	27,550	29,756			C	D		
T9	27,800	0,527	26,697	28,903				D		
T6	26,060	0,527	24,957	27,163					E	
T8	21,500	0,645	20,149	22,851						F
T5	16,000	0,527	14,897	17,103						G
T4	0,000	0,527	-1,103	1,103						H
T7	0,000	0,527	-1,103	1,103						H

Annexe 9 : biomasse sèche de la partie aérienne

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Factorielle	9	1,007	0,112	60,689	< 0,0001
Erreur	19	0,035	0,002		
Total	28	1,042			

Test Newman- Keuls

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes				
T0	0,681	0,025	0,629	0,732	A				
T3	0,323	0,025	0,271	0,375		B			
T9	0,243	0,025	0,191	0,295		B	C		
T6	0,236	0,025	0,184	0,288		B	C		
T2	0,182	0,025	0,130	0,234			C		
T1	0,162	0,025	0,110	0,214			C	D	
T8	0,146	0,025	0,095	0,198			C	D	
T5	0,071	0,025	0,020	0,123				D	E
T4	0,000	0,025	-0,052	0,052					E
T7	0,000	0,030	-0,064	0,064					E

Annexe 10 : biomasse sèche des racines

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Factorielle	9	0,500	0,056	120,180	< 0,0001
Erreur	19	0,009	0,000		
Total	28	0,509			

Test Newman- Keuls

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes				
T0	0,396	0,012	0,370	0,422	A				
T3	0,364	0,012	0,338	0,390	A				
T9	0,259	0,012	0,233	0,285		B			
T2	0,190	0,012	0,164	0,216			C		
T1	0,185	0,012	0,159	0,211			C		
T6	0,112	0,012	0,086	0,138				D	
T8	0,104	0,012	0,078	0,130				D	
T5	0,052	0,012	0,026	0,078					E
T4	0,000	0,012	-0,026	0,026					F
T7	0,000	0,015	-0,032	0,032					F

Annexe 11 : matière sèche de la partie aérienne (%)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Factorielle	9	5515,440	612,827	43,403	< 0,0001
Erreur	19	268,267	14,119		
Total	28	5783,707			

Test Newman- Keuls

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes			
T0	52,450	2,169	47,909	56,991	A			
T3	27,560	2,169	23,019	32,101		B		
T6	26,247	2,169	21,706	30,787		B		
T9	21,913	2,169	17,373	26,454		B	C	
T1	19,847	2,169	15,306	24,387		B	C	
T5	18,920	2,169	14,379	23,461		B	C	
T2	18,703	2,169	14,163	23,244		B	C	
T8	15,300	2,169	10,759	19,841			C	
T4	0,000	2,169	-4,541	4,541				D
T7	0,000	2,657	-5,561	5,561				D

Annexe 12 : matière sèche des racines (%)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Factorielle	9	2792,674	310,297	8356,297	< 0,0001
Erreur	19	0,706	0,037		
Total	28	2793,380			

Test Newman- Keuls

Modalité	Moyennes estimées(MSR)	Groupes					
T0	0,396	A					
T3	0,364	A					
T9	0,259		B				
T1	0,196			C			
T2	0,190			C			
T6	0,112				D		
T8	0,104				D		
T5	0,052					E	
T7	0,000						F
T4	0,000						F

Annexe 13 : la teneur relative en eau (RWC) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Factorielle	9	15688,435	1743,159	25,411	< 0,0001
Erreur	19	1303,381	68,599		
Total	28	16991,816			

Test Newman- Keuls

Modalité	Moyennes estimées(RWC)	Groupes	
T0	62,449	A	
T3	60,723	A	
T5	60,723	A	
T6	58,325	A	
T9	57,883	A	
T2	53,238	A	
T1	49,347	A	
T8	40,789	A	
T7	0,000		B
T4	0,000		B

Annexe 14 : la dose de lachlorophylle A

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Factorielle	9	533,337	59,260	146,606	< 0,0001
Erreur	19	7,680	0,404		
Total	28	541,017			

Test Newman- Keuls

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes			
T0	12,026	0,367	11,258	12,795	A			
T6	11,979	0,367	11,211	12,747	A			
T9	11,294	0,367	10,526	12,062	A			
T5	10,009	0,367	9,240	10,777		B		
T3	9,065	0,450	8,124	10,006		B		
T2	8,734	0,367	7,965	9,502		B		
T1	8,517	0,367	7,749	9,286		B		
T8	6,689	0,367	5,921	7,458			C	
T7	0,000	0,367	-0,768	0,768				D
T4	0,000	0,367	-0,768	0,768				D

Annexe 15 : la dose de la chlorophylle B

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Factorielle	9	2875,069	319,452	173,153	< 0,0001
Erreur	19	35,053	1,845		
Total	28	2910,123			

Test Newman- Keuls

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes			
T0	28,411	0,784	26,770	30,052	A			
T6	27,607	0,784	25,966	29,248	A			
T9	25,922	0,784	24,281	27,563	A			
T5	23,031	0,784	21,390	24,672		B		
T3	21,068	0,960	19,058	23,078		B		
T2	20,233	0,784	18,592	21,875		B		
T1	20,104	0,784	18,463	21,746		B		
T8	15,551	0,784	13,910	17,192			C	
T7	0,000	0,784	-1,641	1,641				D
T4	0,000	0,784	-1,641	1,641				D