

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers
Département: Écologie et Génie de l'Environnement



**Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de
Master**

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Filière: Sciences Agronomiques

Spécialité/ Phytopharmacie et protection des végétaux

Thème:

**Effet de la contrainte saline sur la germination et la croissance de
quelques variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*)**

Présenté par :

Badraoui Hanane

Meziani Souad

Nombres du jury:

Président: Mme Laouar H.

(M.C.B) université de Guelma

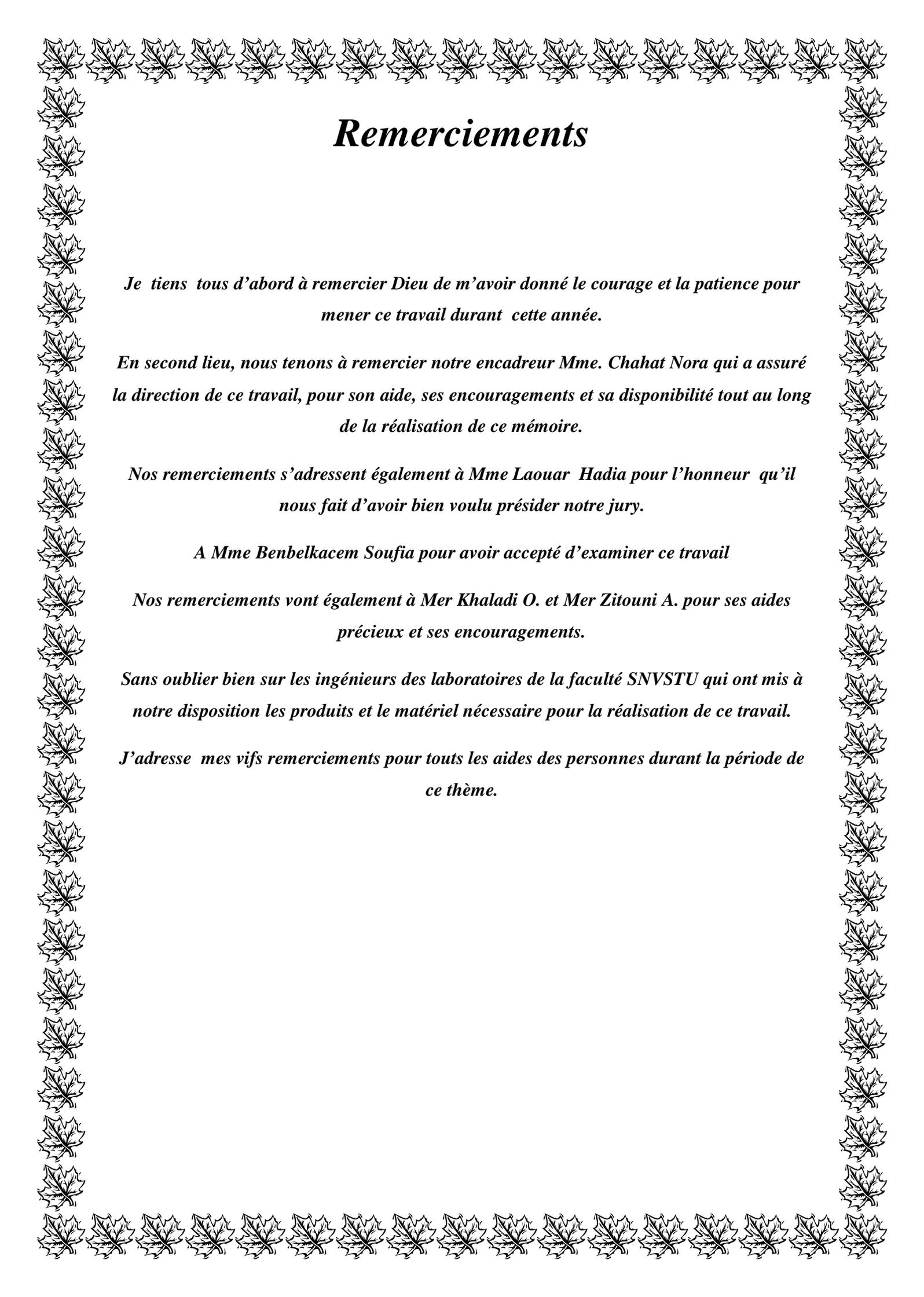
Examineur: Mme Benbelkacem S.

(M.A.A) université de Guelma

Encadreur: Mme Chahat N.

(M.C.B) université de Guelma

Juillet 2019



Remerciements

Je tiens tous d'abord à remercier Dieu de m'avoir donné le courage et la patience pour mener ce travail durant cette année.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mme. Chahat Nora qui a assuré la direction de ce travail, pour son aide, ses encouragements et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent également à Mme Laouar Hadia pour l'honneur qu'il nous fait d'avoir bien voulu présider notre jury.

A Mme Benbelkacem Soufia pour avoir accepté d'examiner ce travail

Nos remerciements vont également à Mer Khaladi O. et Mer Zitouni A. pour ses aides précieux et ses encouragements.

Sans oublier bien sur les ingénieurs des laboratoires de la faculté SNVSTU qui ont mis à notre disposition les produits et le matériel nécessaire pour la réalisation de ce travail.

J'adresse mes vifs remerciements pour tous les aides des personnes durant la période de ce thème.

Dédicaces

A mes parents pour leurs amour, leurs encouragements et leur sacrifices pendant toute ma vie car aucun mot ne pourra exprimer ma haute gratitude et profonde affection. Pour m'avoir soutenu moralement et matériellement durant toutes mes études.

*A mes chers frères Abde Elhadi, Ismail, Mohamed, et Toufik
je les remercie pour leur soutien moral.*

A mes chers sœurs: Ahlam, Rima, Sabrina et Soulaf

*A les petits de la famille: Yahia, Iliasse, Saja, Sejoude, Iade,
Mirale et Amire que j'adore.*

*A toutes mes amies en particulier: Amal, Hadjira, Sarra et
Maroi.*

A toute ma famille et à tous ceux qui m'aiment.

*A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à
la réalisation de ce mémoire.*

SOUAD



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mon père «Ramdan »

Ma mère «Fatima »

Mon frère «Mohamed»

Mon marié «Ismail »

Mes saeurs «Soumaia, Nawel et Maroua»

Toute la famille Badraoui et Kechiamia

A mon binôme Souad

Hanane



Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....01

Chapitre I: Données bibliographiques sur le blé dur

1. Origine du blé dur.....	03
2. Description générale de la plante	04
2.1.Le système racinaire	04
2.2. Tiges et feuilles	04
2.3. Fleurs et fruits.....	04
3. Classification botanique.....	06
4. Structure du grain du blé.....	06
5. Le cycle de développement du blé	07
6. Exigences pédoclimatiques	10
6.1. Température	10
6.2. La lumière	11
6.3. L'eau	11
6.4. Le sol.....	11
7. Importance de la culture de blé dur	11
7.1. Dans le monde	11
7.2. En Algérie	12
8. Contraintes de la culture du blé.....	13
9. Les principales maladies de blé dur	14

Chapitre II : Généralité sur la salinité

1. Le stress chez les plantes	17
1.1. Définition du stress	17
1.2. Types de stress.....	17
1.2.1. Le stress biotique	17
1.2.2.Le stress abiotique	17
1.2.1.1. Le stress hydrique	18
1.2.1.2. Le stress thermique	18
1.2.1.3. Stress salin	18

2. La salinité des sols	18
2.1. Définition de la salinité	18
2.2. La salinisation des sols.....	19
2.3. Origines des sols salés	20
2.3.1. Origine primaire (naturelle).....	20
2.3.2. Origine secondaire	20
2.4. Classification des sols salés	20
2.4.1. Sols salin à complexe sodique ou sols alcalins (les solonetz).....	20
2.4.2. Sols salins à complexe calcique (solontcheks).....	21
3. Répartition des sols salins dans le monde et Algérie	21
3.1. Dans le monde	21
3.2. En Algérie	23
4. Effets de la salinité sur les plantes.....	24
4.1. Sur la germination	24
4.2. Sur la croissance et le développement	24
4.3. Sur l'eau dans la plante.....	25
4.4. Sur la biochimie de la plante	25
4.5. Sur la photosynthèse	26
4.6. Sur la nutrition minérale des végétaux	26
4.7. Sur le métabolisme de l'azote	27
4.8. Sur l'anatomie de la feuille	27
4.9. Sur le rendement agronomique.....	27
5. Mécanismes de résistance au stress salin.....	27
5.1. La compartimentation vacuolaire	27
5.2. Exclusion des ions toxique.....	28
5.3. Ajustement ionique	28
6. Stratégie adaptation des plantes face à la contrainte saline	29
6.1. La proline	29
6.2. Le bétaine.....	29
6.3. Les sucres solubles	29

Chapitre III : Matériel et Méthodes

1. L'objectif de l'essai	31
2. Présentation du site de l'essai.....	31

3. Matériel végétal	31
3.1. Semence de blé dur	31
4. Origine et caractéristiques des variétés	31
5. Solution salées de l' Na Cl.....	33
6. Installation et conduite de l'essai	
6.1. Essai de germination.....	33
6.2.Essai de croissance	34
7.Caractéristique de substrat	35
8. L'irrigation	36
9. Paramètre étudiée	36
9.1. Paramètre relatifs à la germination des graines	36
9.1.1. Essai en boîtes de pétrie	36
9.2. Paramètre relatifs à la croissance et le développement.....	36
9.2.1.Hauteur des plantes.....	36
9.2.2. Nombre des feuilles	36
9.2.3. Longueur de la racine principale	37
9.2.4.Poids frais de parties aériennes et souterraines	37
9.2.5. Poids sec de parties aériennes et souterraines.	37
9.2.6. La surface foliaire	37
9.2.7. Dosage des Pigments Chlorophylliens	37
10. Traitement statistique des résultats.....	39

Chapitre IV: Résultats et Discussion

1. Essai de germination Dans les boîtes de pétri	40
1.1. Pourcentage de germination des graines	40
1.2. Longueur de la radicule	41
1.3. Longueur de la tigelle	42
2.Essai de croissance et de développement des plantes dans les pots.....	43
2.1. Surface foliaire	43
2.2. Nombre des feuilles	44
2.3. La longueur de la racine principale	45
2.4. Hauteur des plantes	46
2.5. Le poids frais de la partie aérienne et souterraine	47
2.6. Le poids sec de la partie aérienne et souterraine	49

2.7. La teneur en Chlorophylle.....50

Conclusion52

المخلص

Résumé

Abstract

Références bibliographiques

Annexe

Liste des abréviations

A. C. I. A: Agence Canadienne d'Inspection des Aliments

°C: Degré Celsius

Chl a: Chlorophylle a

Chl b: Chlorophylle b

Chla+b: Chlorophylle a+ b

Cm: Centimètre

FAO: Food and Agriculture Organization

I.T.G.C.: Institut Technique des Grandes Cultures

R: Répétition

SF: La surface foliaire

T°: Température en degré Celsius

MF: Matière fraîche

%: Pourcentage

G: Gramme

NO₃⁻: Nitrate

pH: Potentiel hydrogène

C.E.C.: Capacité d'Echange Cationique

C.E.: Conductivité électrique

Na⁺: Sodium

Ca²⁺: Calcium

Mg²⁺: Magnesium

N: Azote

P: Phosphore

K⁺: Potassium

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Morphologie d'un plant de blé	05
02	Histologique d'une coupe longitudinale d'un grain de blé	07
03	Cycle de développement du blé	10
04	Quelques maladies cryptogamiques de blé dur	16
05	Carte des zones arides dans le monde	22
06	Répartition des sols salins dans le Nord de l'Algérie	23
07	Essai de germination de blé dur	33
08	Essai de croissance dans les pots et sous serre.	35
09	Etapas de dosage de la chlorophylle	38
10	Pourcentage de germination (%) pour les différentes variétés de blé dur soumises aux différentes concentrations de Na Cl (0mM)	41
11	Longueur de la radicule (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations du NaCl (mM)	42
12	La longueur de la tigelle (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	43
13	La surface foliaire (cm ²) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	44
14	Le nombre des feuilles des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	45
15	Longueur de la racine principale (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	46
16	La hauteur de la plante (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	47
17	Le poids frais de la partie aérienne(g) des variétés du blé dur soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)	48
18	Le poids frais de la partie souterraine (g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	48
19	Le poids sec de la partie aérienne(g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	49
20	Le poids sec de la partie souterraine (g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	50
21	La teneur en chlorophylle des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	51

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Classification botanique du blé	06
02	Les principaux producteurs de blé mondiaux de 2016 à 2019 (en milliers de tonnes)	12
03	Maladies cryptogamique du blé dur en Algérie	14
04	Classification des sols salés	21
05	Répartition des salés dans le monde	22
06	Caractéristiques des variétés étudiées	32
07	Description du dispositif expérimentale de l'essai de germination dans les boîtes de pétri.	34
08	Description du disposition expérimentale de l'essai de croissance dans les pots	35

Introduction

Introduction

Dans la région méditerranéenne à climat aride ou semi-aride, l'eau constitue le principal facteur limitant l'extension et l'intensification des cultures céréalières. Les ressources en eau sont de plus en plus rares, et des eaux relativement salines sont de plus en plus utilisées dans l'agriculture. Parmi les céréales, le blé tendre (*T. aestivum*) et le blé dur (*T. durum*) sont économiquement les espèces les plus importantes qui se sont adaptées à des conditions naturelles très variées (**Alem et al., 2002**).

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est la deuxième espèce plus importante du genre *Triticum* après le blé tendre en tant que une source importante de protéines dans les pays en voie de développement. Les zones de production de cette espèce sont surtout localisées dans le bassin méditerranéen d'une part (Europe du Sud, Moyen orient, Afrique du Nord), et en Amérique du Nord d'autre part (Canada central et Nord des USA), où est produit le quart du blé dur mondial (**Clerget, 2011**).

En Algérie, les céréales constituent l'essentielle de la ration alimentaire quotidienne de la population et occupent une superficie de 3,3 millions d'hectares. 40% de ses surfaces sont destinées à la production de blé dur soit 1,35 millions d'hectares (**Selmi, 2000**). La production nationale en blé dur est encore faible, elle ne couvre que 20 à 25 % des besoins du pays, le reste étant importé (**Hamadache et al., 2002**).

Les cultures céréalières notamment celle du blé dur se trouvent exposées à de nombreux facteurs environnementaux qui limitent la production agricole, dont la salinité du sol est l'une des contraintes majeure qui affectent fortement la croissance végétale, en particulier dans les régions arides et semi arides.

Ces régions sont caractérisées par une forte irrégularité des précipitations associées à une importante évaporation favorisant l'accumulation des sels dans le sol. Ce phénomène affecte près de 7% de la surface globale dans le monde (**Lachhab et al., 2013**).

La salinisation du sol est fréquemment associée à la contrainte hydrique, elle réduit les surfaces cultivables et menace l'équilibre alimentaire mondial (**Derkaoui, 2011**).

Les effets de la salinité se manifestent par la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions(Na^+ et Cl^-) dans les tissus et un déséquilibre de la nutrition minérale dû surtout à des compétitions entre les éléments, le Sodium avec le Potassium et avec

le Calcium, le chlorure avec le Nitrate, avec le Phosphate et avec le Sulfate (**Soltani et al., 1990 ; Levigneronet al., 1995**). 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. Face à cette contrainte, beaucoup de plantes développent des mécanismes adaptatifs soit pour exclusion du sel de leurs cellules ou à la tolérer sa présence dans les cellules (**Parida et Das, 2005**).

La présente étude a pour objectif de comparer le comportement de quatre variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) soumises à des conditions de stress salin (0, 50, 100, 150, 200 mM de NaCl), afin d'évaluer leur tolérance vis-à-vis le stress salin, en estimant plusieurs paramètres liés à la germination des graines et la croissance des plantules suite à l'effet de l'exposition des graines à différentes doses de NaCl.

Chapitre I
Données
Bibliographiques sur
le blé dur

1. Origine du blé dur

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 (**Harlan, 1975**). Selon **Feldman (2001)**, le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran. La culture du blé s'est diffusée vers le Nord-Ouest par les plaines côtières du bassin méditerranéen et arrivé jusqu'au Balkans (URSS) puis en suivant la vallée du Danube (Allemagne) pour se fixer aussi dans la vallée du Rhin (France) entre 5000 ans et 6000 ans avant J.C. Les restes archéologiques montrent que le blé a atteint l'Ouest de l'Europe 5000 ans 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**).

Le blé dur est allotétraploïde (deux génomes: AABB), comptant au total 28 chromosomes ($2n=4x=28$), contenant le complément diploïde complet des chromosomes de chacune des espèces souches. Comme telle, chaque paire de chromosomes du génome A à une paire de chromosomes homéologues dans le génome B, à laquelle elle est étroitement apparentée, toutefois, durant la méiose, l'appariement des chromosomes est limité aux chromosomes homologues par l'activité génétique de gènes inhibiteurs. Les chercheurs ont identifié un certain nombre de gènes inhibiteurs, mais le gène Ph1 situé sur le long bras du chromosome 5B est considéré comme le gène inhibiteur critique (**Wall et al., 1971**).

Les espèces du genre *Triticum* se différencient par leur degré de ploïdie: blés diploïdes, à génome AA, blés tétraploïdes AA et BB, blés hexaploïdes AA, BB et DD, ainsi que par leur nombre de chromosomes qui sont respectivement, 14, 28 et 42 chromosomes (**Feillet, 2000**).

À partir du XIXe siècle, où une amélioration génétique raisonnée du blé fut entreprise sous l'impulsion de l'Europe, la création de programmes de sélection modernes et l'avènement d'une civilisation marchande à base industrielle aboutirent à une accélération des échanges de génotypes entre pays producteurs. Il s'en suivit un brassage important du patrimoine génétique du blé, qu'accéléra encore, entre autres, la création du Centre International pour l'Amélioration du maïs et du blé (CIMMYT) au XXe siècle (**Bonjean, 2000**).

2. Description générale de la plante

La plante du blé dur est une graminée annuelle de hauteur moyenne dont le limbe des feuilles est aplatie, L'inflorescence en épi terminal se compose de fleurs parfaites (**Soltner, 1998**) (Figure 01).

2.1. Le système racinaire

Le blé possède deux types de racines: les racines séminales ou primaires, issues de l'embryon et qui sont propres au maître-brin, et les racines secondaires ou adventives propres aux talles secondaires, ces racines prennent naissance des nœuds de la base et deviennent, plus tard, le système racinaire permanent de la plante. Selon **Boula et al. (2007)**, on compte normalement 5 à 8 racines séminales chez le blé tendre alors que chez le blé dur, en général il ne se forme que 6 racines. Les racines secondaires ou adventives du blé dur sont plus puissantes et descendent à des grandes profondeurs que celles du blé tendre (**Hamadache, 2013**).

2.2. Tiges et feuilles

Le blé dur possède une tige cylindrique, dressé, habituellement creuse et subdivisée en entre-nœuds, certaines variétés possèdent toutefois des tiges pleines (**Clarke et al., 2002**). Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale, le nombre de brins dépend de la variété, des conditions de croissance et de la densité de plantation. Dans des conditions normales, une plante peut produire en tout trois brins en plus de la tige principale (**Bozzini, 1988**). Les entre-nœuds sont séparés par des structures denses appelées nœuds d'où naissent les feuilles (**Soltner, 1988**). Ces dernières composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles (le limbe) et d'une extrémité pointue. Au point d'attache de la gaine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes) (**A.C.I. A., 2006**). La feuille terminale a un rôle primordial dans la reproduction (**Soltner, 1988**).

2.3. Fleurs et fruits

Les fleurs sont regroupées en une inflorescence composée d'unités morphologiques de base, les épillets, chaque épillet compte deux glumes (bractées) renfermant deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole (**Soltner, 1988**). Chez le blé l'autofécondation est le mode de

reproduction le plus répandu, chaque fleur peut produire un fruit sec indéhiscent à une seule graine, soit le caryopse, constitué d'une graine et de téguments. Sur l'épi, il est entouré d'enveloppes: les glumes et les glumelles qui n'adhèrent pas au grain et sont éliminées lors du battage. Sur le plan morphologique, le grain possède une forme ovoïde et est caractérisé par la présence d'un sillon qui s'étend sur toute la longueur de la face ventrale. Sur la face dorsale, le germe s'étend du pôle basal jusqu'au tiers de la longueur du grain, et à l'opposé, sur le pôle apical le grain est coiffé d'une brosse à peine visible à l'œil nu, la taille du grain est de 5 à 7 mm de long, de 2,5 à 4 mm de large et de 2,5 à 3,5 mm d'épaisseur et son poids varie entre 20 et 50 mg (Surget et Barron, 2005).

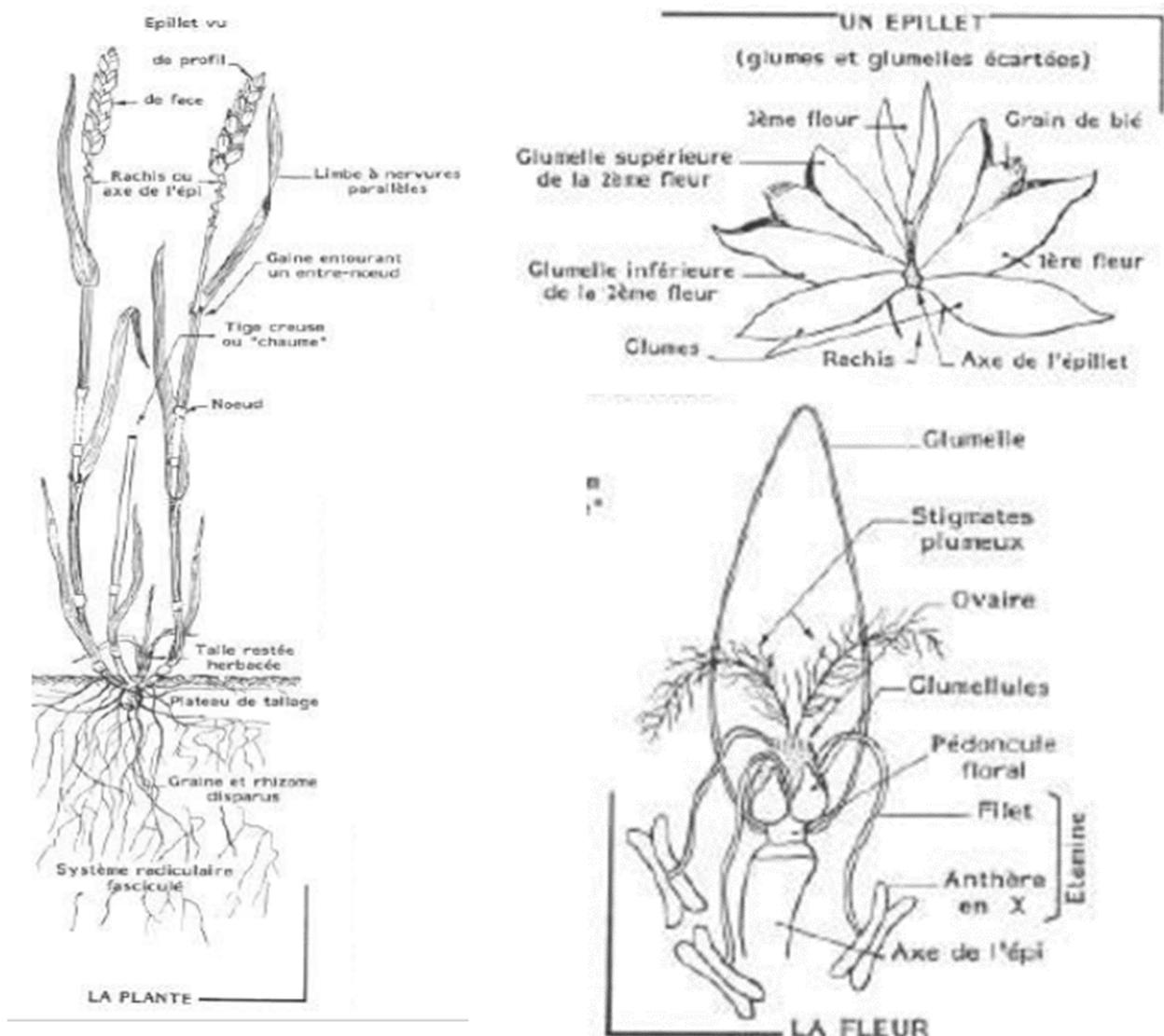


Figure 01: Morphologie d'un plant de blé d'après(Soltner, 1998).

3. Classification botanique

Le blé dur (*Triticum durum Desf.*) est une monocotylédone de la famille des graminées, de la tribu des Triticeae et du genre *Triticum* (A. C. I. A., 2006). D'après Chadefaud et Emberger (1960), une classification détaillée est illustrée dans le tableau ci-dessous (tableau 01):

Tableau 01: Classification botanique du blé dur.

Règne	Végétale
Embranchement	Angiospermes
Sous embranchement	Spermaphytes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Glumiflorales
Super ordre	Commeliniflorales
Famille	Gramineae ou Poaceae
Tribu	Triticeae
Sous-tribu	Triticinae
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>Triticum durum Desf.</i>

4. Structure du grain de blé

Le grain de blé est constitué de trois grandes parties: le germe, l'albumen et les enveloppes (figure 02).

A- Le germe

Il est composé d'un embryon (lui-même formé de coléoptile, de la granule de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum qui donnera le cotylédon (Feillet, 2000). Le germe est la partie du grain où le taux d'humidité et la concentration en lipides sont les plus importantes (Pomeranz, 1988). Il est riche en protéines (se sont des albumines et globulines) et en lipides et contient également des minéraux (Surget et Barron, 2005).

B- L'albumen

Constitue le plus important compartiment du grain et représente environ 80% de son poids (Pomeranz, 1988).

C- Les enveloppes

qui sont au nombre de six et forment 13-17 % de la graine: épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa, cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (Feillet, 2000).

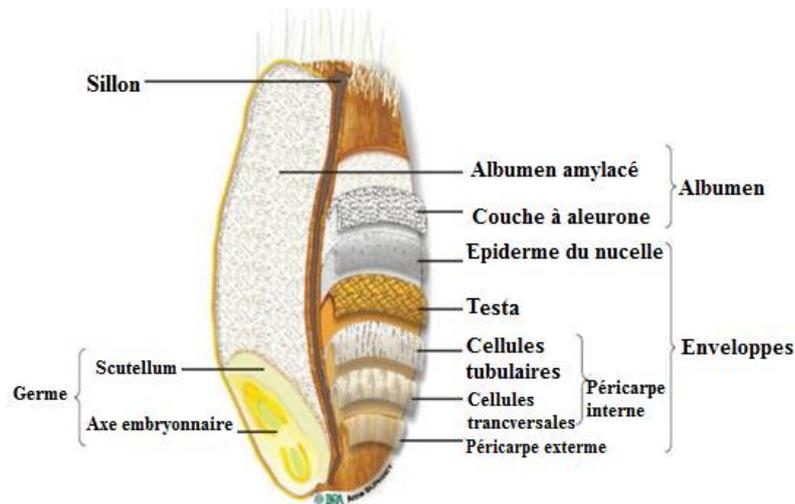


Figure 02: Histologie d'une coupe longitudinale d'un grain de blé (Surget et Barron, 2005).

5. Le cycle de développement du blé

❖ Germination- levée

La germination est caractérisée par l'imbibition de la semence, la réactivation des enzymes et la dégradation des réserves assimilables par l'embryon. Lors de cette phase, l'embryon augmente dans le volume par le phénomène d'hydratation et la racicule se dégage progressivement hors des enveloppes séminales (Binet et Brunel, 1999)(figure 03).

La levée est le passage à une vie autotrophe grâce à la chlorophylle contenue dans la première feuille, elle est notée lorsque 50% des plantes sont sorties de la terre, le taux de levée et sa vitesse dépendent de la faculté germinative de la semence, de l'état du lit de semence et du mode de semis (Hamadache, 2001). Durant cette première phase, le blé est très sensible aux conditions climatiques, l'excès d'eau en zones littorales et sublittorales et

le gel en zones des hautes plaines limitent l'enracinement et freinent la croissance (Hamadache, 2013).

❖ Début de tallage

C'est la ramification du mètre-brin, la première talle apparait à l'aisselle de la première feuille, d'autres talles primaires naissent à l'aisselle des 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} feuilles du mètre-brin, cette zone de ramification s'appelle le plateau de tallage, c'est à ce moment qu'apparaissent les racines adventives, ce sont des racines de tallage, ou coronales (Hamadache, 2001).

❖ Fin tallage

Le fin tallage correspond à la fin de la période végétative et le début de la phase reproductrice du cycle du blé, les méristèmes apicaux des tiges commencent à former des pièces florales au lieu des feuilles, le nombre final de talles est arrêté car la photopériode (longueur du jour) permet l'élongation des premiers entre-nœuds (Hamadache, 2001).

❖ Montaison

Durant cette phase, les entres-nœuds de la tige principale se détachent du plateau du tallage, ce qui correspond à la formation du jeune épi à l'intérieur de la tige (Belaid, 1987).

❖ Gonflement

La gaine de la dernière feuille se trouve gonflée par l'épi encore dans la tige, à ce stade, le blé a initié une vingtaine d'épillets par épi. Durant cette phase, la méiose pollinique commence et les grains de pollen s'élaborent, la méiose dure 1 à 2 jours, une baisse de température peut induire une stérilité des gamètes mâles et une élévation des températures (> 30°C) peut par contre engendrer une stérilité femelle (Hamadache, 2001).

❖ Epiaison

L'épiaison débute lorsque les premières barbes ou le sommet de l'épi deviennent visibles au-dessus du col de la feuille étendard, elle correspond à la sortie de 50% des épis de la gaine des dernières feuilles (Soltner, 1999).

❖ Floraison

La floraison s'observe à partir du moment où quelques étamines sont visibles dans le tiers moyen de l'épi, en dehors des glumelles. Quand les anthères apparaissent, elles sont jaunes, après exposition au soleil, elles deviennent blanches à ce moment-là, la fécondation est accomplie, le grain de pollen des blés est monoporéet sa dispersion est relativement faible. Le nombre de fleurs fécondées dépend de la nutrition azotée et d'une évapotranspiration modérée (**Soltner, 1988**).

Remplissage des grains**➤ grain laiteux**

C'est une phase de multiplication des cellules au niveau du jeune grain encore vert, en l'écrasant, il sort un liquide laiteux, la teneur en eau du grain est de 66%. C'est le début du pallier hydrique, un coup de chaleur accompagné d'un vent à ce moment, provoque l'interruption de la migration des réserves des feuilles et de la tige vers le grain: c'est l'échaudage du grain, et le rendement peut chuter de 50% (**Hamadache, 2013**).

➤ grain pâteux

Durant cette phase, les réserves migrent depuis les parties vertes jusqu'aux grains, la teneur en amidon augmente et le taux d'humidité diminue. Quand le blé est mûr, le végétal est sec et les graines des épis sont chargées de réserves (**Soltner, 1988**).

❖ Maturité complète

Après le stade pâteux, le grain mûrit, se déshydrate, il prend une couleur jaune, durcit et devient brillant. Ce stade est sensible aux conditions climatiques (**Soltner, 1988**).

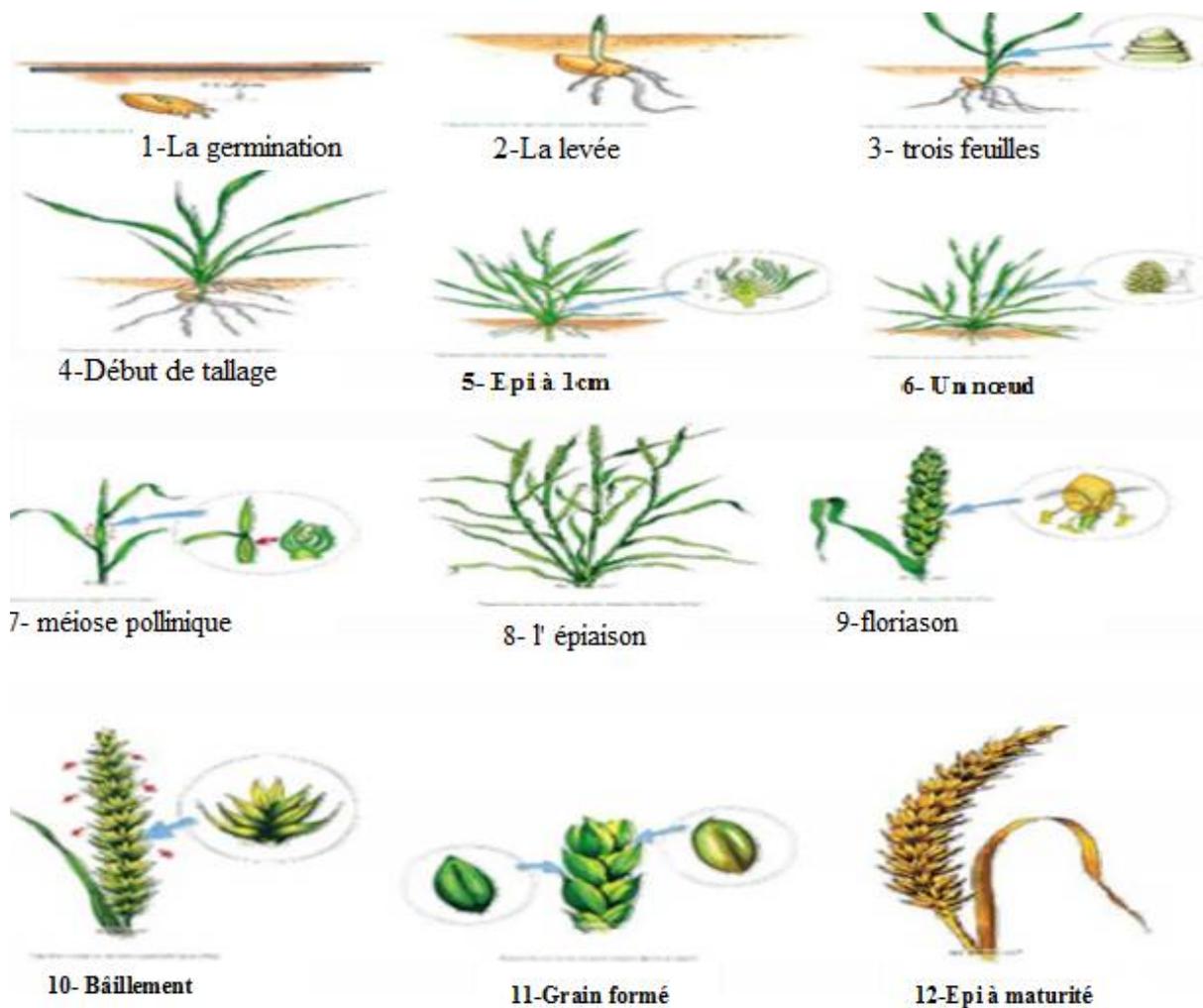


Figure03: Cycle de développement du blé (Blaid, 1996).

6. Exigences pédoclimatiques

6.1. Température

La majorité des variétés peuvent supporter un gel modéré pendant l'hiver si la plante est suffisamment développée. Par contre le blé ne supporte pas les fortes températures et les déficits hydriques en fin de cycle pendant le remplissage du grain. En effet, la température conditionne à tout moment la physiologie du blé, une température supérieure à 0 °C est exigée pour la germination, cependant, l'optimum de croissance se situe entre 20 et 26 °C. Un abaissement de la température pendant l'hiver est nécessaire à certaines variétés dite d'hiver, cette exigence conditionne la montaison et la mise à fleur (Clement et Prats, 1970).

6.2. La lumière

La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé. En effet, un bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement (**Soltner, 1990**).

6.3. L'eau

Le blé exige une humidité permanente durant tout le cycle de développement, la quantité d'eau demandée varie selon la sensibilité de chaque phase. Les besoins en eau sont estimés à environ 800 mm (**Soltner, 1988**).

6.4. Le sol

Le blé dur apprécie les sols limoneux, argileux calcaires ou les sols argileux siliceux profonds, il a besoin d'un sol sain, se ressuyant bien en hiver. Pour les terres peu profonds, il y a risque de sécheresse en période critique (phase de pallier hydrique). Du point de vue caractéristiques chimiques, les blés dur sont sensibles à la salinité, un pH de 6,5 à 7,5 semble indiqué puisqu'il favorise l'assimilation ce qui entrave la croissance et en particulier celle des racines (**Maachi, 2005**).

7. Importance de la culture de blé

7.1. Dans le monde

Les céréales constituent la composante de base de l'agriculture. Selon le centre international du commerce en 2017, la production mondiale du blé a atteint 735 Mt contre 752 Mt en 2016. Les perspectives pour la production mondiale de blé en 2017-2018 restent la plupart du temps bons avec une légère baisse de 2,7 % par rapport à l'an passé (**FAO, 2017**).

Le tableau ci-dessous présente les 12 principaux pays producteurs de blé au cours des années de commercialisation 2016/2017 à 2018/2019.

Tableau02: Les principaux producteurs de blé mondiaux de 2016 à 2019 (en milliers de tonnes).

Pays	2016/2017	2017/2018	2018/2019
États-Unis	62.833	47.371	51.287
Canada	31.729	30.000	31.800
Pakistan	25.633	26.674	25.500
Ukraine	26.791	26.981	25.000
Argentine	18.400	18.500	19.200
Turquie	17.250	21.000	19.000
Australie	30.363	21.300	17.000
Kazakhstan	14.985	14.802	15.000
Iran	14.500	14.000	14.500
Égypte	8.100	8.450	8.450
Maroc	2.731	7.092	7.340
Ouzbékistan	6.940	6.900	6.000

7.2. En Algérie

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette caractéristique est perçue d'une manière claire à travers toutes les phases de la filière (**Djermoun, 2009**).

La production nationale en blé dur est encore faible, elle ne couvre que 20 à 25 % des besoins du pays, le reste étant importé (**Hamadache et al., 2002**). Parmi les alternatives offertes pour améliorer la production de cette espèce figurent l'augmentation des superficies au détriment de celles du blé tendre et/ou de l'orge, l'irrigation d'appoint, l'adoption d'un itinéraire technique plus ambitieux, notamment en termes de désherbage et de fertilisation azotée et l'adoption de variétés adaptées à la variabilité climatique des divers milieux de production. La sélection pour la productivité est plus aisée, elle est basée sur le rendement ou sur la base des composantes, notamment le nombre d'épis/m² et le poids de 1000 grains. Le potentiel des génotypes issus de ce type de sélection ne s'exprime pleinement que sous conditions

favorables (Nouar et al., 2010). Sous conditions variables, ces variétés se montrent peu adaptées et présentent des interactions significatives avec les lieux de production. Ces interactions engendrent une irrégularité des performances de rendement d'une année à l'autre et d'un lieu à l'autre (Adjabi et al., 2007 ; Bendjamaa et al., 2014).

8. Contraintes de la culture du blé

➤ Contraintes climatiques

Les variations interannuelles de la production du blé sont dues principalement aux conditions climatiques qui varient chaque année et qui jouent un rôle dominant sur les fonctions de croissance et de développement (Gate, 1995).

➤ Température

Le froid constitue l'un des facteurs limitant la production du blé dur. Il a été démontré qu'une seule journée avec une température minimale inférieure à -4 °C entre le stade épi à 1cm et un nœud pénalise le nombre de grains par épi (Gate, 1995). Les gelées printanières, dans les hautes plaines et même dans les plaines d'intérieurs à basse altitude causent des pertes importantes par gels des épis au stade floraison (Hachemi et al., 1979).

Les hautes températures sont aussi parmi les facteurs intervenant dans la limitation du rendement. En effet, si une hausse de température survient au stade remplissage du grain, elle peut faire chuter le rendement de 50 % par l'échaudage (Chaker et Brinis, 2004).

➤ Contraintes techniques

Un faible taux d'utilisation des engrais, mauvais suivi des techniques culturales, utilisation des outils inadaptés et un étalement des semis au-delà des délais techniques requis, rendant ainsi les céréales vulnérables à tout éventuel stress hydrique, notamment en fin de cycle (Anonyme, 2008).

➤ Les contraintes économiques

Elles sont liées aux coûts de production élevés résultant de la cherté des facteurs de production et de matériel agricole, mais aussi à la disponibilité insuffisante des intrants en qualité et quantité dans les délais recommandés.

9. Les principales maladies du blé dur

Les céréales peuvent être attaquées par de multiples maladies durant leur cycle de développement, et subir des pertes de rendement importantes, surtout lorsque la variété utilisée est sensible et que les conditions de l'environnement sont favorables au développement des agents pathogènes et particulièrement les agents cryptogamiques qui causent des dégâts importants (Aouali et Douici-Khalfi, 2009).

Le tableau ci-dessous représente les symptômes et les moyennes de lutte de quelques maladies cryptogamiques affectant les céréales en Algérie en particulier le blé dur (figure 04).

Tableau 03: Maladies cryptogamiques du blé dur en Algérie (Aouali et Douici-Khalfi, 2009).

Maladies	Agent causal	Symptômes	Moyens de lutte
Septoriose	<i>Septoria tritici</i>	Apparition des tâches brun rougeâtres sur les feuilles inférieur, puis prendre une couleur gris clair. Après l'apparition des nécroses sur le feuillage, on observe des ponctuations noires qu'on appelle pycnides.	l'utilisation de variétés tolérantes, les rotations culturales, la fertilisation équilibrée, la destruction des résidus de culture et les traitements fongiques permettent de réduire le développement de cette maladie.
La rouille noire	<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Apparition des pustules longues, et de couleur rouge-brique à marron foncé, sur les feuilles, les tiges et les épis.	La rotation culturale, l'utilisation de variétés tolérantes et la lutte contre l'hôte alternatif se révèlent efficaces. La lutte chimique en préventif (avant l'apparition des symptômes).
La rouille jaune	<i>Puccinia striiformis</i> ,	Les pustules sont de forme globuleuse et de couleur jaune ou orange disposées en stries le long des nervures des feuilles. Elles peuvent aussi se développer sur la face inférieure des feuilles et sur les épis et les grains.	

La rouille brune	<i>Puccinia recondita</i> f. sp. <i>tritici</i>	Les pustules sont de forme circulaires ou ovales de couleur orange ou brune, apparaissent sur la face supérieure et parfois sur la face inférieure des feuilles, en fin de saison ces pustules prennent une couleur noire (téleutospores).	
L'oïdium	<i>Erysiphe graminis</i> f.sp. <i>tritici</i>	Apparition d'un duvet blanchâtre ou gris pale sur les limbes des feuilles basales, puis sur les feuilles des étages supérieurs. en cas d'attaque sévère les taches apparaissent aussi sur les gaines des feuilles et les glumes des épis.	L'utilisation de variétés tolérantes, la rotation culturale et la fertilisation, équilibrée réduisent le risque de développement de l'agent causal.



La rouille jaune

La rouille brune



La rouille noire

Plants de blé attaqués par l'oidium

Figure 04: Quelques maladies cryptogamiques de blé dur (Aouali et Douici -khalfi, 2009).

Chapitre II

Généralités sur la salinité

1. Le stress chez les plantes

1.1. Définition du stress

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par ailleurs, la réponse du végétal dépend, entre autre, de ces paramètres environnementaux (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype) (**Hopkins, 2003**).

Selon Levitt (1980), le terme de stress désigne un facteur de l'environnement induisant une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant.

D'autres auteurs ont défini le stress comme toute condition de l'environnement ou combinaison de conditions qui empêche la plante de réaliser l'expression de son potentiel génétique pour la croissance, le développement et la reproduction (**Jones et Qualset, 1984**).

1.2. Types de stress

On peut distinguer deux types du stress dans la nature:

1.2.1. Le stress biotique

Ce terme représente la totalité des paramètres physico-chimiques ou biologiques qui découlent de l'existence de l'action des êtres vivants. Les facteurs biotiques caractérisent donc l'ensemble des influences qu'exercent les êtres vivants entre eux et sur leur milieu (**Ramade, 2003**).

1.2.2. Le stress abiotique

Il est dû principalement à des facteurs environnementaux comme la sécheresse, les températures extrêmes, excès d'eau et la salinité (**Hopkins, 2003**).

Levitt (1972), a défini le stress abiotique comme un facteur environnemental susceptible de déclencher chez les plantes des modifications chimiques ou physiques dommageables, ces modifications représentent la contrainte qui peut être plastique ou élastique. Différents types de stress environnementaux ont été distingués.

1.2.1.1. Le stress hydrique

Provoqué par un déficit en eau constituant une menace permanente pour la survie des plantes, néanmoins beaucoup d'entre elles produisent des modifications morphologiques et physiologiques qui leur permettent de survivre dans les régions de faible pluviosité et dont la teneur en eau des sols est peu élevée (**Hopkins, 2003**). Tandis que **Lamaze (1994)**, limite la définition du stress hydrique aux seules conditions correspondant à une hydratation suboptimale des tissus.

1.2.1.2. Le stress thermique

Selon **Hopkins(2003)**, la sensibilité des plantes aux températures extrêmes et très variables, certaines sont tuées ou lésées par des baisses modérées de température, alors que d'autres parfaitement acclimatées, sont capables de survivre au gel à des dizaines de degrés °C en dessous de zéro. Le stress par des températures élevées induit la synthèse d'un groupe de protéines de stress particulières.

1.2.1.3. Stress salin

Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sel dans le sol, le terme de stress salin s'applique surtout à un excès d'ions en particulier, mais pas exclusivement aux ions Na^+ et Cl^- (**Hopkins, 2003**).

Les teneurs élevées de NaCl diminuent l'absorption du potassium et du calcium et interfèrent avec leurs fonctions physiologiques (**Yoshiba, 2002**).

Le stress salin s'applique sur la plante sous deux types de contraintes. D'abord le sel provoque un effet osmotique, lorsque les racines sont en contact avec lui, puis il entraîne un stress ionique au niveau des feuilles lorsque la concentration en sel est élevée et devient toxique (**Munns et Tester, 2008**).

2. La salinité des sols

2.1. Définition de la salinité

La salinité est définie selon plusieurs auteurs comme la présence de concentrations excessives de sels solubles dans le sol ou dans l'eau d'irrigation (**Baiz, 2000 et Maatougui,**

2001). Ou lorsque les concentrations en Na, Ca, Mg sous formes de chlorures carbonates, ou sulfates sont présentes en concentration anormalement élevées (**Asloum, 1990**).

La salinité est actuellement l'un des facteurs qui affectent en grande mesure la fertilité et la productivité des sols, en diminuant le rendement des cultures, en particulier dans les zones méditerranéennes ou bien dans celles où les cultures dépendent de l'irrigation (**Middleton et Thomoa, 1992**). Elle constitue un facteur limitatif majeur de la productivité agricole, ces charges en sels soumettent les plantes à un stress permanent (**Gupta et Abrol, 1990**), et au delà d'une certaine concentration, elle a pour conséquence la dégradation des sols réduisant ainsi leur rendement (**richards, 1954**). La réponse à la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par un effet dépressif sur la croissance et le développement (**Munns et al., 1995**).

La salinité est reliée à la conductivité électrique du sol, mesuré en deciesmens par mètre (ds/m) ou en millimhos par centimètre (mmhos/cm). Les sols considèrent salins dès que la conductivité électrique dépasse 4ds/m à 15°C (**Richards, 1954**).

2.2. La salinisation des sols

La salinisation d'un sol est un processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol, il s'en suit d'une diminution des rendements et à terme, une stérilisation du sol. Près de 10 à 15% des surfaces irriguées (20 à 30 millions d'ha) souffrent, à des degrés divers, par des problèmes de salinisation, de plus 0,5 à 1% des surfaces irriguées sont perdues pour la culture chaque année (1,5 à 2 millions d'ha) (**Mermoud, 2006**).

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**).

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles, ou par la richesse de leur complexe absorbant en ions, provenant de ces sels et susceptibles de dégrader leurs caractéristiques et propriétés physiques, en

particulier leur structure. On parle en général d'un sol salin lorsque la concentration en sel de la solution du sol dépasse 0,5g/l (**Robert, 1996**).

2.3. Origines des sols salés

2.3.1. Origine primaire (naturelle)

La Salinisation primaire est liée à la présence naturelle relativement concentrée de sels à travers un long processus naturel de dégradation des roches salines (**Stengel et al., 2009**), par des facteurs physico-chimiques (vent, gel, dégel, et pluies les plus souvent acides, chargées en H_2CO_3) (**Duchaufour et al., 1979**) et des apports éoliens de sels des mers et océans (**Stengel et al., 2009**).

Dans les régions arides ou semi arides, le lessivage et le transport en profondeur de sels dissous n'existent plus et l'évapotranspiration importante favorise la concentration de sels dans le sol. Dans les régions côtières, l'intrusion d'eaux salées et la submersion des terres basses par l'eau de mer provoquent la salinisation de l'eau souterraine et celle des sols (**Lallemand-Barrés, 1980**).

2.3.2. Origine secondaire

Le phénomène de la salinisation secondaire lié à l'irrigation constitue une menace particulièrement grave mais très difficile à évaluer de manière correcte (**Stengel et al., 2009**). Cette salinisation se traduit par une accumulation de sels avec des effets sur les propriétés physico-chimiques du sol (dispersion des argiles, instabilité de la structure) et biologiques (effet sur le développement des plantes) par la pression osmotique (**Cheverry et Robert, 1998**).

2.4. Classification des sols salés

Selon **Duchaufour (1983)**, deux sous classes des sols salés halomorphes sont distinguées:

2.4.1. Sols salin à complexe sodique ou sols alcalins (les Solonetz)

Caractérisés par une saturation marquée en (Na^+) et une accumulation de sels en profondeur. Ces sols se caractérisent par la présence d'une quantité importante de sodium qui dépasse les 15% de la C. E. C (capacité d'échange cationique). La conductivité

électrique (C.E) ne dépasse pas 4ds/m à 25°C et le pH est supérieur à 8,5. La relative abondance de l'ion sodium, dans la garniture ionique absorbant, peut avoir deux origines distinctes: Elle peut provenir du sodium libéré par l'altération de certains minéraux alcalins, ou peut résulter d'une saturation progressive du complexe en sodium, aux dépens d'une solution saline (Duchaufour, 1983).

2.4.2. Sols salins à complexe calcique (Solontcheks)

Caractérisés par une accumulation marquée des sels solubles en surface. Ces sols se rencontrent dans les zones à climat sec. Ils se caractérisent par un pH généralement inférieur à 8,5 et supérieur à 7 et le sodium n'y forme pas plus de 50% des cations en solutions (Dajoz, 1982) (Tableau 4).

Tableau 04: Classification des sols salés (Maillard, 2001).

Classe	Conductivité de l'extrait de sol saturé (ds/m)
Non salins	0 - 2
Légèrement salins	2- 4
Modérément salins	4 - 8
Fortement salins	8 – 16
Très fortement salins	>16

3. Répartition des sols salins dans le monde et en Algérie

3.1. Dans le monde

Selon FAO (2008), plus de 800 millions d'hectares de terres à travers le monde sont affectés par la salinité et parmi les 200 millions d'hectares irrigués, 45 millions sont affectés par la salinisation secondaire, ce qui représente plus de 6% de la surface du globe.

Les estimations de la superficie totale représentée par les sols salsodiques dans le monde sont très variables. Selon Szablocs (1994), la superficie affectée est estimée à environ 954832 millions d'hectares (Tableau 05). En Afrique, près de 40 Mha sont considérés comme des sols salins, soit près de 2% de la surface totale, en Tunisie 25%, en Afrique du sud environ 9%. Au

Proch-Orient, près de 92 Mha sont touchés, soit environ 5% de la surface totale. Au Pakistan, plus de 25% des surfaces irriguées sont salinisées (Machali et al., 2005)(Figure 05).

Tableau 05: Répartition des salés dans le monde (Szablocs, 1994).

Sols affectés par les sels des différents continents (10 ³ hectares)	
Amérique du Nord	15755
Mexique et Amérique centrale	1965
Amérique du sud	129163
Afrique	80608
Asie du sud	87608
Asie du Nord et du centre	211686
Asie du Sud- Est	19983
Australie	357330
Europe	50804
Totale	954832

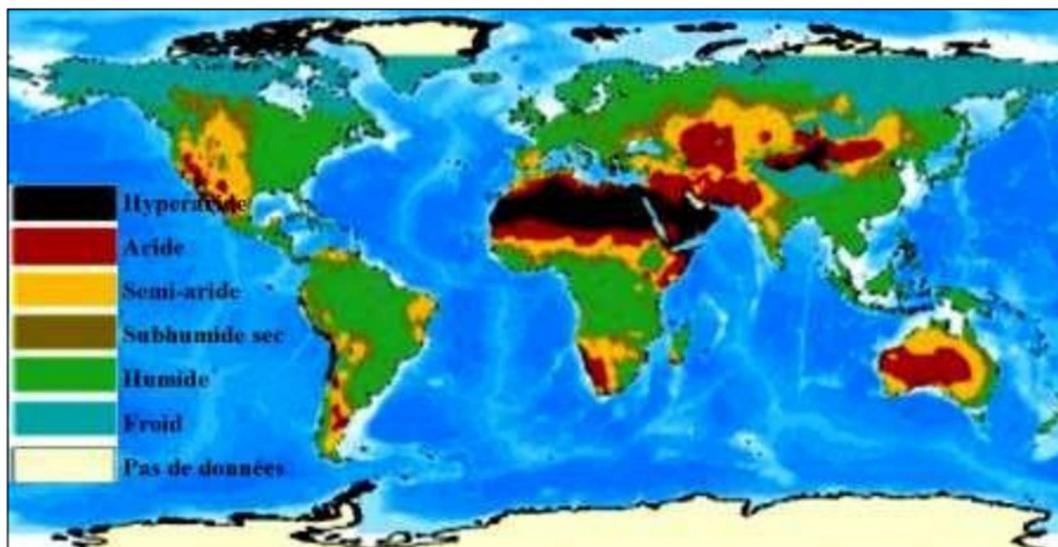


Figure 05: Carte des zones arides dans le monde (WRi, 2002).

3.2. En Algérie

En Algérie d'après **Szablocs (1989)**, 3,2 million d'hectares subissent à des degrés de sévérité variable, le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient.

Selon **Douaoui et Hartani (2008)**, plus de 20% des sols irrigués sont affectés par la salinité. Les sols salés sont très répandus en Algérie essentiellement dans les zones arides et semi-arides, des travaux effectués par différents auteurs montrent que la majorité des sols agricoles en Algérie sont affectés par les sels (**Haltim, 1985**).

Les sols salins se rencontrent dans les basses plaines et vallées d'Oranie, vallée de la Mina, près de Relizane par exemple, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains chotts comme le Chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions Sahariennes au Sud de Biskra jusqu'à Touggourt et Ouargla (**Aubert, 1982**) (Figure 06).

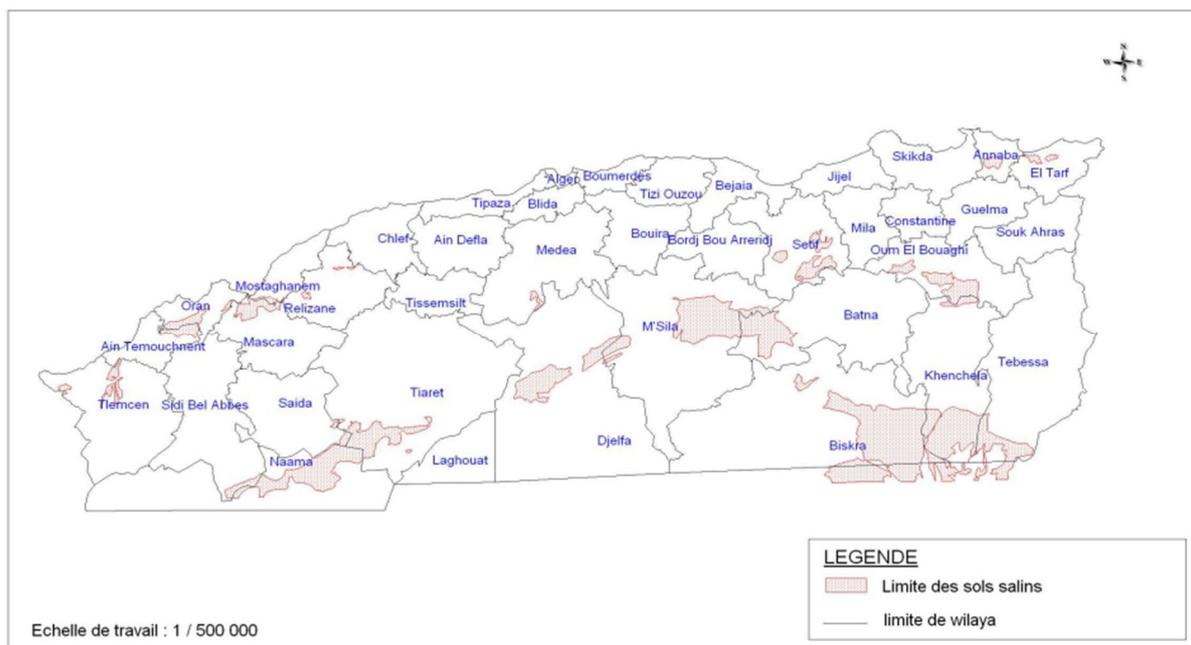


Figure 06: Répartition des sols salins dans le Nord de l'Algérie (**Insid, 2008**).

4. Effets de la salinité sur les plantes

4.1. Sur la germination

La plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée (**Maillard, 2001**). Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (**Ungar, 1978 et Kabbar, 1986**). Bien que les halophytes possèdent une teneur très élevée en sel dans leurs tissus au stade adulte, leurs graines ne sont pas aussi tolérantes au sel au stade germination (**Belkhodja et Bidai, 2004**).

Selon **Karmous (2007)**, La salinité agit également sur la germination en ralentissant sa vitesse, ce qui expose plus les semences aux risques. D'autres auteurs ont démontré que la présence du sel dans milieu inhibe la germination par son effet osmotique où il affecte tous les processus de germination suite à la baisse du potentiel hydrique autour des graines, ce qui rend l'eau inaccessible pour la réhydratation et la reprise de la vie active de l'embryon (**Maas et Poss, 1989**).

Le stade plantule est le plus altérable dans le cycle de vie de la plante, et c'est la germination qui détermine le temps et le lieu pour que la croissance de la plantule ébauche, ce stade de germination est souvent limité par la salinité du sol et se montre le plus sensible que les autres stades (**Said et al., 2011**). Selon **Rejili et al. (2006)**, les semences répondent au stress salin, en réduisant le nombre total des graines germées et en accusant un retard dans l'initiation du processus de la germination.

4.2. Sur la croissance et le développement

L'effet de la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par une réduction de la croissance et le développement (**Munns et al., 1983**).

Selon **Munns et Termaat (1986)**, la salinité 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**). Par ailleurs, il a été avéré que la salinité provoque 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**). De plus **Xu (1990)**, a démontré que la croissance foliaire est

généralement plus affectée par le sel que la croissance racinaire chez plusieurs espèces de plantes cultivées comme le blé. Les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol (**Jabnoue, 2008**).

D'autres études ont prouvé que les concentrations élevées de NaCl affectent également l'absorption de Ca^{2+} qui est relativement tolérante au sel, de même l'augmentation de la concentration en Na^+ s'accompagne d'une réduction de la concentration en Mg^{2+} , K^+ , N, P et Ca^{2+} dans la plante (**Levitt, 1980**). Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance en présence de sel lorsque des ions essentiels comme K^+ , Ca^{2+} ou NO_3^- deviennent limitant (**Soltani, 1988**).

4.3. Sur l'eau dans la plante

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

4.4. 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 le chlorure de sodium 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**). Par ailleurs, **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. De même, le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique au niveau des membranes cellulaires, affectant ainsi leur stabilité (**Alem et Amri, 2005**).

4.5. Sur la photosynthèse

La croissance des plantes dépend de la photosynthèse. Les stress environnementaux affectent la croissance ainsi que la photosynthèse (**Taiz et Zeiger, 1998**). Des études entreprises par de nombreux auteurs sur différentes espèces végétales ont démontré que la capacité photosynthétique est déprimée par la salinité (**Ashraf, 2001**). Cet effet dépressif est dû aux effets complexes d'interactions osmotiques, ioniques, et nutritionnelles (**Rasanen, 2002**), ce qui a pour origine d'une diminution de la croissance. Par ailleurs, il a été remarqué que l'accumulation du carbone par les plantes est très affectée par la salinité à cause d'une réduction de l'indice foliaire (**Munns, 1993**).

De même, 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 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 (**Munns et Termatt, 1986**), et un arrêt de l'activité photosynthétique à été enregistré 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**).

Chez diverses espèces plus ou moins résistantes, un taux élevé de sucres totaux résultant du blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une grande hydrolyse de l'amidon (**Asloun, 1990**).

4.6. Sur la nutrition minérale des végétaux

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes: la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes (**Levigneron et al., 1995**). De même, il a été révélé que l'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^+ pour les mêmes sites de fixation apoplasmique (**Jendoubi, 1997**).

4.7. Sur le métabolisme de l'azote

La nitrification est aussi touchée par la salinité. En effet, la vitesse d'oxydation biologique de l'ammonium est ralentie en fonction du degré de salinité dans le sol, il en est de même de la vitesse d'apparition des nitrates NO_3^- . L'oxydation de l'ammonium est totalement inhibée en présence de salinité excessive, et il n'y a pas apparition de l'ion nitrate (NO_3^-) (Salam, 2004).

4.8. Sur l'anatomie de la feuille

D'après l'étude de Parida et Das (2005), le stress salin affecte considérablement l'anatomie de la feuille en augmentant l'épaisseur du mésophyle et de l'épiderme ainsi que l'espace intercellulaire diminue significativement dans les feuilles traitées avec le NaCl chez la mangrove. Par ailleurs, le stress salin cause le développement de la vacuolisation et un gonflement partiel du réticulum endoplasmique, le gonflement de la mitochondrie, la vésiculation et la fragmentation du tonoplaste, ainsi que la dégradation du cytoplasme par le mélange de la matrice cytoplasmique et vacuolaire des feuilles de la patate douce (*Ipomoea batatas*).

4.9. Sur le rendement agronomique

La salinité diminue le rendement le plus souvent en réduisant le nombre de pointes portant les épis, le poids de l'épi et le poids de 1000 graines. Le rendement des plantes diminue nettement avec l'augmentation de la concentration en sels, et ce degré de sensibilité diffère d'une espèce à autre (Aslam *et al.*, 2004).

Munns et Rawson (1999), ont signalé que tous les paramètres de rendement subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit.

5. Mécanismes de résistance au stress salin

5.1. La compartimentation vacuolaire

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

cellule parvient à maintenir une faible concentration de sodium dans le cytoplasme minimisant ainsi son effet toxique, et d'autre part, l'augmentation concomitante de la concentration de sodium dans la vacuole va engendrer une forte pression osmotique qui va favoriser l'absorption d'eau et donc améliorer la turgescence des cellules (**Glenn et al., 1999 ; Apse et Blumwald, 2007**). La compartimentation du NaCl dans les vacuoles représente le mécanisme principal de détoxification du sel chez les halophytes (**Borsani et al., 2003**). Tandis que les glycophytes ont recours aux mécanismes d'exclusion du sodium des cellules (au niveau de la membrane plasmique) des parties aériennes vers les racines (**Munns, 2002**).

5.2. Exclusion des ions toxiques

L'autre stratégie permettant aux plantes de survivre en conditions de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique (**Blumwald et al., 2004 ; Munns, 2005**). Selon **Shubert et Lauchli (1986)**, l'exclusion du sodium s'opère à deux niveaux, d'une part à travers un mécanisme qui restreint l'assimilation du Na⁺ par les racines de la plante en diminuant la perméabilité des cellules racinaires aux ions Na⁺ et d'autre part par l'exclusion du Na⁺. Le mécanisme d'exclusion du sodium est réalisé par l'action combinée d'une série de protéines de type SOS (salt overly sensitive) (**Zhu, 2003**). Ces protéines jouent un rôle primordial dans ce mécanisme d'exclusion de sodium vers le milieu extérieur (**Zhu, 2003**). De même, ce complexe protéique SOS interagit avec les transporteurs HKT1 (high affinity K⁺ transporter) (**Rus et al., 2001**), situé sur la membrane plasmique et qui sont responsables de la recirculation du sodium des feuilles vers les racines via le phloème (**Berthomieu et al., 2003 ; Hauser et Horie, 2010**).

5.3. Ajustement ionique

L'ajustement osmotique consiste à l'une des stratégies les plus importantes d'adaptation au stress salin et hydrique (**Yeo, 1983**).

Les végétaux sont capables de supporter le déficit hydrique engendré par le stress salin, en ajustant plus ou moins rapidement leur potentiel osmotique avec celui du milieu extérieur, de manière à maintenir un gradient de potentiel hydrique entre la plante et le milieu salin (**Greenway et Munns, 1980**). Cet ajustement peut être assuré par une augmentation des concentrations de potassium, outre celles des composés osmotiques compatibles (**Munns et Tester, 2008**). Une fois que la plante s'est ajustée osmotiquement au milieu salin et que sa

turgescence est restaurée, le déficit hydrique n'apparaît plus comme un facteur limitant la croissance sur milieu salin. (Munns et Termaat, 1986 ; Zhao et al., 1991).

6. Stratégies adaptatives des plantes face à la contrainte saline

6.1. La proline

Les teneurs en proline s'accroissent rapidement chez de nombreuses mono- ou dicotylédones soumises à un stress salin (Yoshida et al., 1999). La proline agit en tant que composé soluble compatible dans l'ajustement osmotique pouvant atteindre de fortes concentrations sans exercer d'effet toxique comme le cas des ions (Yancey et al., 1982 ; Silva-Ortega et al., 2008). Certaines études ont rapporté l'augmentation de la concentration de la proline chez les plantes stressées par apports celles sensibles, sa concentration est généralement plus élevée chez les plantes tolérantes que les plantes sensibles (Ashraf et Foolad, 2007). L'importance de la proline dans la tolérance à la salinité a été démontrée chez plusieurs lignées d'*Arabidopsis* hébergeant une construction antisens pour la proline déshydrogénase (Nanjo et al., 2003).

6.2. Le bêtaïne

La glycine bêtaïne est principalement présente au niveau des chloroplastes où elle joue une fonction vitale dans la protection des membranes thylakoïdes et par conséquent dans le maintien de l'efficacité photosynthétique (Ashraf et Foolad, 2007). Certaines plantes cultivées accumulent aussi ce composé lorsqu'elles sont soumises à un stress salin, c'est le cas de l'épinard, du tournesol, du blé, de l'avoine et du maïs (Levigneron et al., 1995 ; Ashraf et Foolad, 2007). La relation entre l'accumulation de bêtaïne et la tolérance au stress salin semblerait être liée à l'espèce, voire même au génotype (Ashraf et Foolad, 2007).

6.3. Les sucres solubles

L'accumulation des sucres et leurs dérivés principalement les alcools lors d'un stress salin a été prouvée chez plusieurs espèces végétales (Gilmour et al., 2000; Sheteer et al., 2001). Les sucres pourraient agir en tant qu'osmoticum, protéger des macromolécules spécifiques (enzymes) et contribuer à la stabilité des structures membranaires (Su et al., 1999 ; Chen et Murata, 2002 ; Bartels et Sunkar, 2005).

De même il a été démontré que la biosynthèse et l'accumulation de certains alcools tels que le mannitol chez des lignées de riz transgéniques étaient positivement corrélées avec la tolérance à la salinité (**Su et al., 1999**). Ainsi les travaux menés sur les molécules osmoprotectrices ont ouvert la voie à l'amélioration de la tolérance des plantes au stress salin, via le génie génétique (**Munns, 2005**).

Chapitre III

Matériel et méthodes

1.L'objectif de l'essai

Le présent travail a pour objectif de suivre le comportement de quatre variétés de blé dur (**Simeto, Gta dur, Vitron, Cirta**) soumises à de différentes concentrations du NaCl, afin d'évaluer leur tolérance vis-à-vis le stress salin, en se basant sur l'estimation de plusieurs paramètres morphosologiques. Dans cette vision, nous avons appliqué des doses croissantes de NaCl sur ces quatre variétés (50, 100,150et200mM), et un traitement n'ayant pas reçu le NaCl constitue le témoin.

2. Présentation du site de l'essai

L'essai a été mené au niveau de la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers de l'université8mai1945 de Guelma dans des conditions semi contrôlées (au laboratoire de botanique et sous serre en plastique).

3. Matériel végétal

3.1. Semences de blé dur

L'essai a été porté sur quatre variétés de blé dur largement cultivées en Algérie (**Simeto, Gta-dur, Vitron, Cirta**). Les semences utilisées pour évaluer l'impact des différents traitements de Na Cl sur la germination et les paramètres biométriques (Hauteur des plantes, longueur de la racine principale, biomasse fraîche et sèche de la tige et de la racine, nombre de feuilles, surface foliaire) et physiologiques (teneur en chlorophylle total) des variétés étudiées ont été fournies par l'Institut Technique de Grandes Cultures (I.T.G.C) de Guelma.

4. Origine et caractéristiques des variétés

L'origine, le type variétal et les caractéristiques de chaque variété sont regroupés dans le tableau (06).

Tableau 06: Caractéristiques des variétés étudiées (**Boufenar-Zaghouane et Zaghouane, 2006**).

Non	Origine	Type variétal	caractéristique
Simeto (V1)	Italie	Lignée pure	<ul style="list-style-type: none"> -Couleur de l'épi (demi-lache): blanche -Hauteur de la plante à maturité: entre 90 à 100 cm. -Cycle végétale: semi-précoce -Tolérante au froid, à la verse et à la Rouille jaune moyennement tolérante à la Rouille brune, à l'Oïdium et aux Septorioses. -Résistante aux Fusarioses et sensible à la sécheresse.
Gta dur (V2)	Cimmyt (Mexique)	Lignée pure	<ul style="list-style-type: none"> -Couleur de l'épi (compact): blanche -Hauteur de la plante à maturité: moyenne -Cycle végétale: précoce. -Résistante au froid, à la verse, à la sécheresse, à la Piétin verse, échaudage et aux maladies cryptogamiques (Rouille jaune et noire, l'Oïdium, Septoriose et aux Fusarioses) et moyennement résistante à la Rouille brune.
Vitron (V3)	Espagne	Lignée pure	<ul style="list-style-type: none"> -Couleur de l'épi (compact): blanche -Hauteur de la plante à maturité: entre 90 à 100 cm -Cycle végétale: semi-précoce -Résistante au froid, à la Piétin verse et à l'Oïdium et modérément résistante aux Fusarioses. -Tolérante à la verse et moyennement tolérante aux Rouilles(jaune, brune et noire). -Sensible à la sécheresse et peu sensible à la Piétin échaudage.
Cirta (V4)	Algérie	Lignée pure	<ul style="list-style-type: none"> -Couleur de l'épi (moyenne): blanche -Hauteur de la plante à maturité: moyenne -Cycle végétale: semi-précoce. -Tolérante au froid et à la sécheresse. -Résistante à la verse et modérément résistante aux Rouilles(jaune et brune), à l'Oïdium, Septoriose et aux Fusarioses.

5. Solution salées de Na Cl

les graines de blé dur ont été traitées par des concentrations croissances de NaCl: le témoin [0] mM,[50] mM, [100] mM, [150] mM et [200] mM , ces concentrations ont été inspirées des travaux de(Benderradji *et al.*, 2010) sur le blé tendre et de(Benidire *et al.*,2015) sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba* L.

6. Installation et conduite de l'essai

6.1. Essai de germination

Avant la mise à germer, les graines sont désinfectées à l'eau de javel, lavées abondamment à l'eau, puis rincées à l'eau distillée. Elles sont ensuite mises dans des boîtes de pétri stérilisées contenant du coton et recouvertes du papier filtre (Alaoui *et al.*, 2013)à raison de 10 graines par boîte. Chaque traitement est répété trois fois. L'essai s'est déroulé dans des conditions naturelles du laboratoire. Le pourcentage de germination des graines a été déterminé comme étant le rapport entre le nombre des graines germées et la totalité de grainesensemencées initialement. La germination est repérée par la sortie de la radicule hors des téguments de la graine dont la longueur est d'au moins de 2 mm (Sayar *et al.*, 2010) (Figure 07 ; Tableau 07).



Figure07: Essai de germination des graines de blé dur dans les boîtes de pétri (photo personnelle).

Tableau 07: Description du dispositif expérimentale de l'essai de germination dans les boîtes de pétri.

C0V1R2	C1V4R2	C2V1R1	C3V2R3	C4V2R3
C0V2R3	C1V3R2	C2V4R3	C3V3R1	C4V1R3
C0V2R1	C1V1R1	C2V2R3	C3V2R1	C4V1R2
C0V1R1	C1V4R3	C2V3R2	C3V2R2	C4V2R2
C0V3R2	C1V2R2	C2V2R2	C3V1R3	C4V4R3
C0V4R1	C1V1R2	C2V1R3	C3V3R2	C4V3R1
C0V1R3	C1V3R1	C2V1R2	C3V4R1	C4V2R1
C0V4R2	C1V4R1	C2V3R1	C3V1R2	C4V4R2
C0V2R2	C1V1R3	C2V3R3	C3V4R2	C4V1R1
C0V3R3	C1V2R1	C2V2R1	C3V4R3	C4V4R1
C0V4R2	C1V2R3	C2V4R2	C3V3R3	C4V3R3
C0V3R1	C1V3R3	C2V4R1	C3V1R1	C4V3R2

C:Concentration

V: Variété

R: Répétition

6.2. Essai de croissance

L'essai est réalisé dans des pots de taille moyenne et sous serre en plastique, afin d'évaluer avec le plus de précision l'effet du stress salin à doses croissantes sur les variétés de Blé dur utilisées dans cette expérimentation. Les pots sont remplis chacun de la tourbe, substrat commercial conforme à la culture des céréales, fournies par laboratoire de l'université et ses caractéristiques sont indiquées ci -dessous.

Le semis a été réalisé à raison de 20 graines par pot et pour chaque concentration. Chaque traitement contient trois répétitions (Figure 08 ; Tableau08).

Les pots témoins sont irrigués seulement à l'eau distillée pendant la période d'application du stress. Par contre les pots stressés sont irrigués par les solutions salines (50mM, 100mM, 150mM et 200mM).



Figure08: Essai de croissance dans les pots et sous serre (photo personnelle).

Tableau 08: Description du dispositif expérimental de l'essai de croissance dans les pots et sous serre.

Variété 01: Simeto

C0V1R1	C0V1R2	C0V1R3
C1V1R1	C1V1R2	C1V1R3
C2V1R1	C2V1R2	C2V1R3
C3V1R1	C3V1R2	C3V1R3
C4V1R1	C4V1R2	C4V1R3

Variété 02: Gta-dur

C0V2R1	C0V2R2	C0V2R3
C1V2R1	C1V2R2	C1V2R3
C2V2R1	C2V2R2	C2V2R3
C3V2R1	C3V2R2	C3V2R3
C4V2R1	C4V2R2	C4V2R3

Variété 03: Vitron

C0V3R1	C0V3R2	C0V3R3
C1V3R1	C1V3R2	C1V3R3
C2V3R1	C2V3R2	C2V3R3
C3V3R1	C3V3R2	C3V3R3
C4V3R1	C4V3R2	C4V3R3

Variété 04: Cirta

C0V4R1	C0V4R2	C0V4R3
C1V4R1	C1V4R2	C1V4R3
C2V4R1	C2V4R2	C2V4R3
C3V4R1	C3V4R2	C3V4R3
C4V4R1	C4V4R2	C4V4R3

7.Caractéristique de substrat

Le substrat de base (tourbe de sphaigne) est caractérisé par:

- Un taux de matière sèche exprimée en pourcentage en masse de produit brute: 35%
- Un taux de matière organique exprimée en pourcentage en masse de produit brute: 35%
- pH (H₂O): 5.8-6.8
- Résistivité: 25000 Ohm /cm
- Rétention en eau: 80vol%

Chaque variété est représentée par 15échantillons (5 concentrations de NaCl en3répétitions /variété). Aussi bien pour l'essai de germination en boîtes de pétri et l'essai de croissance dans les pots.

8. L'irrigation

L'irrigation par les différentes concentrations salines, pendant les deux stades germination et croissance est faite en fonction de la capacité au champ déterminée préalablement pour les boîtes de pétri contenant une fine couche de coton recouverte avec du papier filtre, et pour les pots contenant de la tourbe. L'irrigation a été régulièrement une fois par jours.

9. Paramètres étudiés

9.1.Paramètres relatifs à la germination des graines

9.1 .1. Essai en boîtes de pétri

Trois Paramètres ont été estimés (après 7jours de l'application du stress).

- Le taux de germination des graines(%)
- Longueur de radicule (cm)
- Longueur de tigelle (cm)

9.2. Paramètres relatifs à la croissance et le développement

9.2.1. Hauteur des plantes

Exprimée en cm, a été mesurée pour les différentes variétés traitées par des concentrations croissantes de NaCl, après 21 jours de l'application du stress à l'aide d'un mètre ruban et à partir du niveau du sol à la pointe de la plus longue des feuilles.

9.2.2. Nombre de feuilles

Le nombre de feuilles a été comptabilisé sur un sous-échantillon de 3 plantes par répétition et par Traitement.

9.2.3. Longueur de la racine principale

Nous prélevons trois plantes pour chaque variété en chaque concentration de Na Cl, puis nous avons procédé en une séparation des parties aériennes et souterraines, les racines sont rincées par un courant d'eau et épongées entre deux papiers filtres. La longueur de la racine principale est mesurée à l'aide d'un mètre ruban (cm) à partir du collet jusqu'à son extrémité inférieure.

9.2.4. Poids frais des parties aériennes et souterraines

Après la séparation de parties aériennes et souterraines, les deux organes sont placés rapidement dans du papier aluminium préalablement taré, puis la masse de matière fraîche a été mesurée à l'aide d'une balance de précision.

9.2.5. Poids sec des parties aériennes et souterraines

Les organes des plantes utilisés pour déterminer le poids frais des parties aériennes et souterraines, pour les différentes variétés ont été mis dans l'étuve à 105°C pendant 24h pour déterminer le poids sec.

9.2.6. La surface foliaire SF

La surface moyenne de la feuille la plus développée (avant dernière feuille = la plus jeune adulte feuille), est déterminée à partir d'un échantillon de dix plantules par traitement, par la formule suivante:

$$SF(\text{cm}^2) = L \times I \times 0,709$$

L: la longueur moyenne des limbes des 10 feuilles

I: la largeur moyenne des limbes des 10 feuilles

0.709 représente le coefficient de correction, étant donné que la feuille a une forme triangulaire (Mefti *et al.*, 2008).

9.2.7. Dosage des Pigments Chlorophylliens

Les teneurs moyennes en chlorophylle a et b sont déterminées par la méthode de **Rao et le blanc (1965)**. L'extraction de la chlorophylle est réalisée par broyage de 0.5g de matière fraîche de la feuille de chaque échantillon qui est additionnée de carbonate de calcium et d'acétone (20ml à 80%). La solution obtenue est filtrée à l'abri de la lumière pour éviter l'oxydation de la chlorophylle. On procède ensuite aux mesures spectrophotométriques à deux longueurs d'onde ($\lambda_1 = 645$ et $\lambda_2 = 663$ nm). (Figure 09) Le calcul de la qualité de la chlorophylle est obtenu par la formule suivante :

Chla: $12,7 (\text{DO } 663) - 2,69 (\text{DO } 645)$.

Chlb: $22,9 (\text{DO } 645) - 4,86 (\text{DO } 663)$.

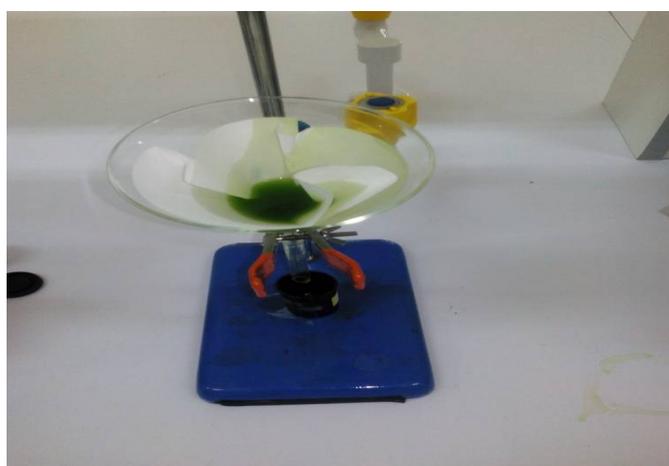
Chl a+b: $8,02 (\text{DO } 663) + 20,20 (\text{DO } 645)$.



Balance de précision



Mortier



Filtration de la solution



mesures spectrophotométriques

Figure 09: Etapes de dosage de la chlorophylle

10. Traitement statistique des résultats

Afin de déterminer la significativité des traitements appliqués sur les différents paramètres étudiés, nous avons procédé à une analyse statistique de la variance et à la comparaison des moyennes pour déduire la différence entre le témoin et les différentes concentrations en utilisant le logiciel Minitab 2017.

Chapitre IV

Résultats et discussion

1. Essai de germination dans les boîtes de pétri

1.1. Pourcentage de germination des graines

La Figure (10) affiche la variation du taux de germination des graines de blé des quatre variétés étudiées en fonction de doses croissantes de NaCl. Ces résultats montrent que la germination des graines de blé dur est très affectée par le stress salin, une diminution du taux de germination a été notée pour l'ensemble des boîtes traitées par les différentes concentrations de NaCl, et ce pour les quatre variétés étudiées.

En effet, l'intensification du stress salin est à l'origine d'une diminution considérable du taux de germination, notamment pour les deux variétés Gita-dur et Vitron à la concentration 150 mM (43.33 % et 43.33%) comparativement aux témoins non traités (93.33% et 93.33% respectivement).

Notant que la germination a été inhibée complètement chez toutes les variétés à la concentration 200 mM en comparaison avec les témoins non traités.

Selon **Hajlaoui et al. (2007)**, la diminution du pouvoir germinatif peut s'expliquer par une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol qui ralentit l'imbibition et limite l'absorption de l'eau nécessaire au déclenchement des processus métaboliques impliqués dans la germination.

D'autres auteurs ont attribué l'effet du sel sur la capacité germinative des grains de blé aux perturbations des systèmes enzymatiques impliqués dans les différentes fonctions physiologiques de la graine en germination, tels que la diminution de l'activité de polyphénol oxydase et amylase (**Slama et al., 1992**) et des peroxydases (**Iraida et al., 1999**). Tandis que **Prado et al. (2000)**, ont rapporté la diminution du taux de germination des graines soumises à un stress salin à un processus de dormance osmotique développé sous ces conditions de stress, représentant ainsi une stratégie d'adaptation à l'égard des contraintes environnementales.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction non significatif ($p>0.05$) (Annexe01).

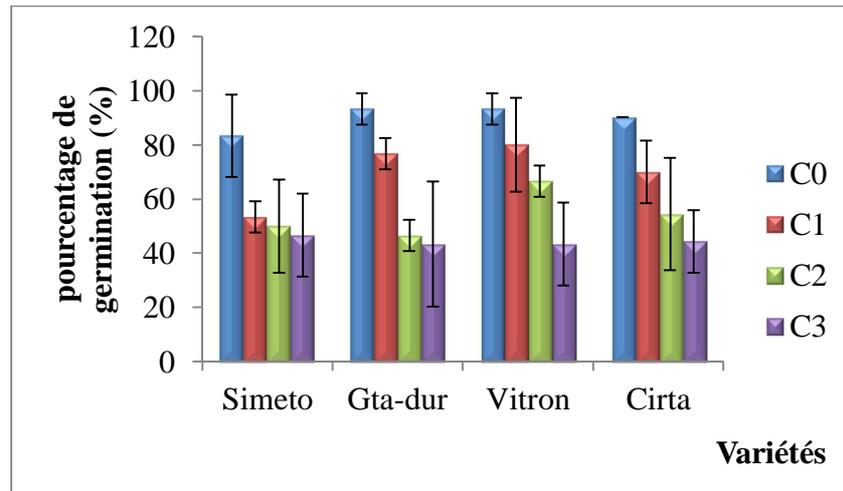


Figure 10: Pourcentage de germination (%) pour les différentes variétés de blé dur soumises aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

1.2. Longueur de la racicule

Les résultats illustrés dans la Figure (11) montrent que la longueur de la racicule est sérieusement très affectée par la contrainte saline. L'effet dépressif du sel sur ce paramètre est plus observé aux fortes concentrations de NaCl surtout à la concentration 150mM, d'où nous avons enregistré les valeurs moyennes de 0.50 et 0.52cm chez les variétés Simto et Vitro respectivement contre 9.16 et 7.92cm pour les témoins.

Ces résultats sont similaires à ceux de **Kadri et al. (2009)**, qui ont rapporté un effet dépressif du sel sur la longueur de la partie souterraine chez différentes accessions d'orge en fonctions de l'intensité du stress salin.

De même **Xue et al. (2004)** ; **Martinez et al. (2004)**, ont rajouté que L'absorption du NaCl par les graines provoque des effets toxiques sur la germination et par conséquent, empêche la croissance des racicules.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction non significatif ($p>0.05$) (Annexe 06).

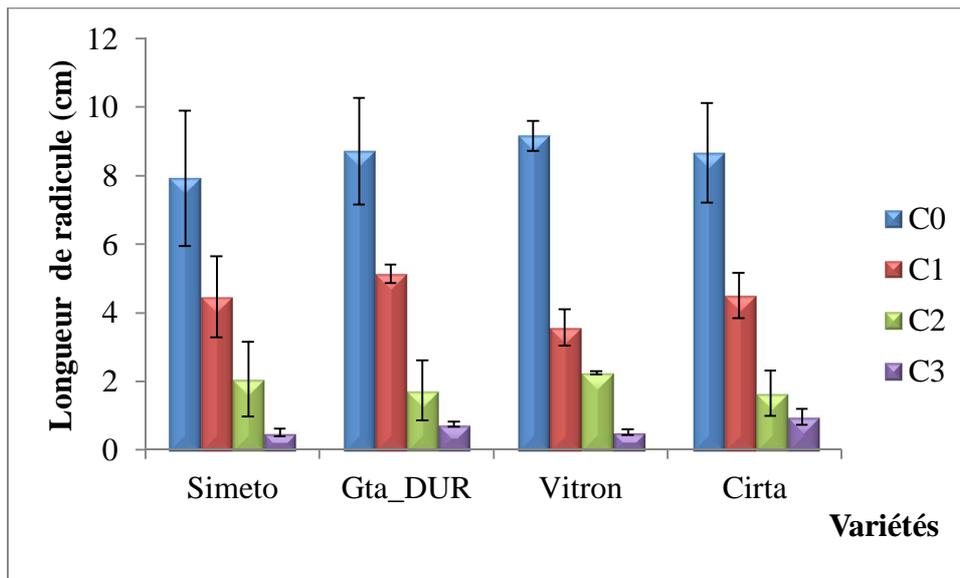


Figure 11: Longueur de la radicule (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations du NaCl (mM).

1.4. Longueur de la tige

D'après les résultats obtenus (Figure 12) il se démontre que la longueur de la tige est très influencée par l'application du stress salin et ce pour toutes les variétés étudiées.

Une diminution importante de la croissance de la tige a été enregistrée aux fortes concentrations du NaCl, notamment à la concentration 150mM d'où nous avons noté les valeurs moyennes 0.3 et 0.41cm chez les variétés Vitron et Cirta respectivement comparativement aux témoins non traités (11.15 et 9.27 cm).

Plusieurs études ont révélé l'effet nocif du sel sur la croissance de la tige dont celle de **Kadri et al. (2009)**, effectuée sur quelques variétés d'orge qui a montré que la longueur de l'épicotyle et de la racine est fortement influencée par le stress salin. De même **Ben Naceur et al. (2001)**, ont rapporté un effet variable de la salinité sur l'épicotyle de nombreuses variétés de blé.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction non significatif ($p>0.05$) (Annexe 11).

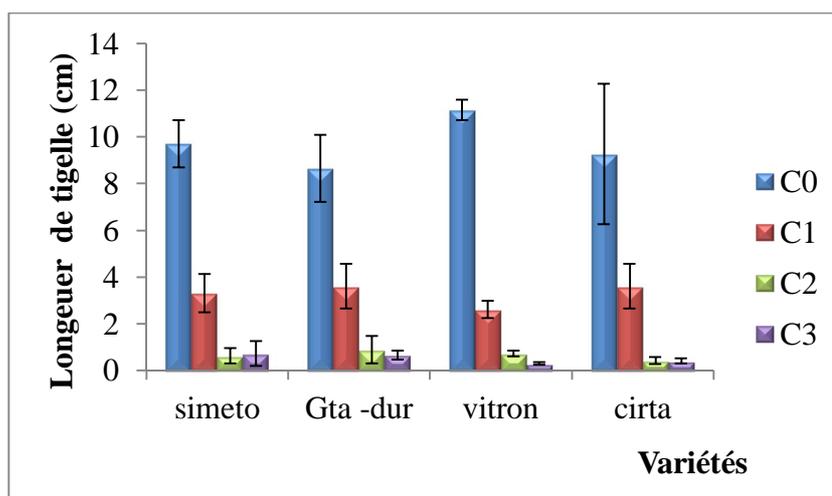


Figure 12: La longueur de la tige (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2. Essai de croissance et de développement des plantes dans les pots

2.1. Surface foliaire

La surface foliaire est également affectée par le stress salin. Les résultats de la Figure (13) montrent que toutes les variétés réagissent au stress salin par une réduction de leur surface foliaire. Ce pendant la variété Cirta présente une surface foliaire plus réduite que celle des autres variétés surtout à la concentration 200 mM avec une moyenne de 0.49 cm² contre 9.22 cm² en absence du stress salin.

La réduction de la surface foliaire observée dans notre étude a été également signalée par **Wang et Nil (2000)**. Ces mêmes auteurs soulignent que la réponse immédiate au stress salin est la réduction du taux d'expansion de la surface foliaire jusqu'à sa cessation avec l'augmentation des concentrations de sels. De même **Bennacer et al. (2001)**, ont rapporté une réduction de la surface foliaire chez quelques variétés de blé arrosées avec de l'eau salée.

Selon **Alem et al. (2002)**, la réduction de la surface foliaire, sous l'effet de la salinité, peut être également considérée comme étant une stratégie adaptative utilisée par les génotypes de blé dur et de blé tendre face à la contrainte saline.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction non significatif ($p>0.05$) (Annexe 46).

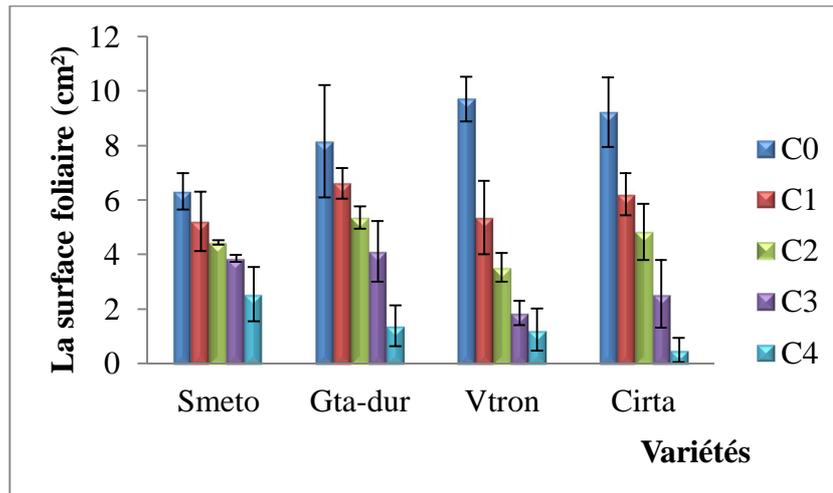


Figure 13: La surface foliaire (cm²) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.2. Nombre des feuilles

Globalement, le nombre des feuilles par plante (ensemble des thalles issus de même grain) se trouve réduit par la présence du sel dans le milieu notamment avec l'augmentation de la teneur en de NaCl. Cependant l'accroissement de la concentration en NaCl dans la solution d'arrosage provoque une augmentation du nombre des feuilles chez les deux variétés Gta-dur (150 mM) et Cirta (50 et 100mM), ceci peut être un caractère adaptatif chez certaines variétés de blé qui accélérerait la croissance pour la dilution du sel (Figure 14).

Selon **Neumann (1997)**, l'inhibition de l'expansion foliaire par le sel réduit le volume du tissu des feuilles et par conséquent limite la production de nouvelles feuilles. De ce fait, la réduction du nombre de feuilles est fortement liée à la réduction de la surface foliaire.

D'autres études rapportent aussi que le stress salin induit une réduction considérable du nombre de feuilles (**Kurban et al., 1999 ; Mehari et al., 2005 ; Silva et al., 2008**).

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration non significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction significatif ($p>0.05$) (Annexe 51).

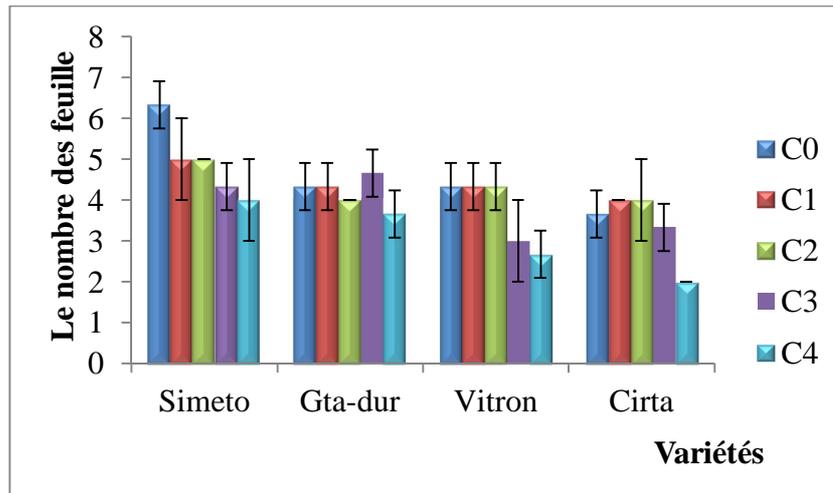


Figure 14: Le nombre des feuilles des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.3. La longueur de la racine principale

Les résultats relatifs à ce paramètre (Figure 15) ont montré que la longueur de la racine principale est diminuée chez les plantes stressées comparativement aux témoins.

Cette diminution est accentuée par l'augmentation de la concentration de NaCl notamment pour les variétés Vitron et Simeto d'où nous avons noté les moyennes de 5.6 et 6.33 cm respectivement à la concentration 200 mM contre 13.66 et 11.66 cm chez les témoins.

D'après **Mani et Hannachi (2015)**, la présence de chlorure de sodium dans le milieu de culture provoque une réduction de la longueur de la racine principale chez cinq variétés de piment (Tébourba, Korba, Somâa, Awlad Haffouz et Souk Jédid), cette réduction devient plus prononcée aux fortes concentrations de sel.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction non significatif ($p>0.05$) (Annexe 21).

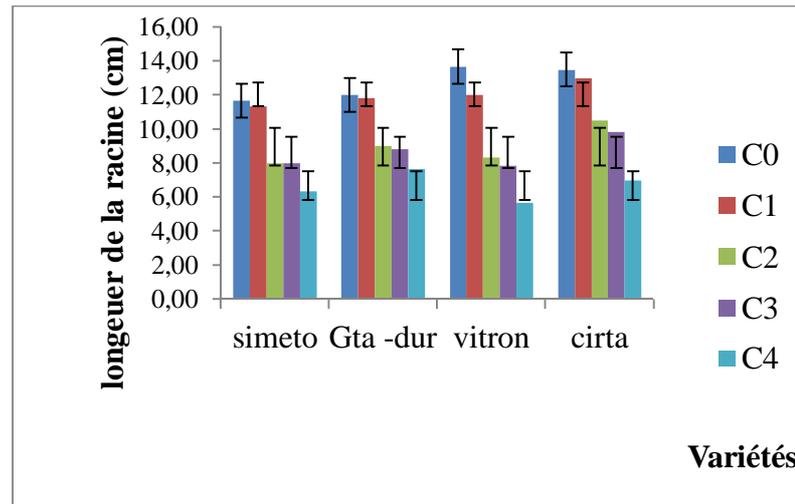


Figure 15: Longueur de la racine principale (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.4. Hauteur des plantes

L'examen des données concernant ce paramètre (Figure 16) montre que le stress salin influence fortement la croissance en hauteur des plantes. Une diminution de la hauteur des plantes a été enregistrée chez les plantes stressées comparativement aux témoins. Cette diminution varie selon la variété et l'intensité du stress. En effet les variétés Cirta et Vitron se montrent les plus affectées dont les valeurs enregistrées à la concentration 200mM sont de l'ordre de 6.66 et 8.16 cm contre (28.5 et 38.5cm) pour les témoins non traités.

Selon **Ashraf et Foolad (2007)**, la diminution de la longueur de la plante et de la surface foliaire serait la conséquence de la réduction de la taille des cellules exposées au stress salin. D'autres auteurs signalent que la hauteur de la plante diminue légèrement sous l'effet du stress salin pour atteindre sa valeur la plus faible à la plus forte concentration chez cinq variétés de piment (**Mani et Hannachi, 2015**).

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration non significatif ($p > 0.05$) et un effet variété et interaction non significatif ($p > 0.05$) (Annexe 16).

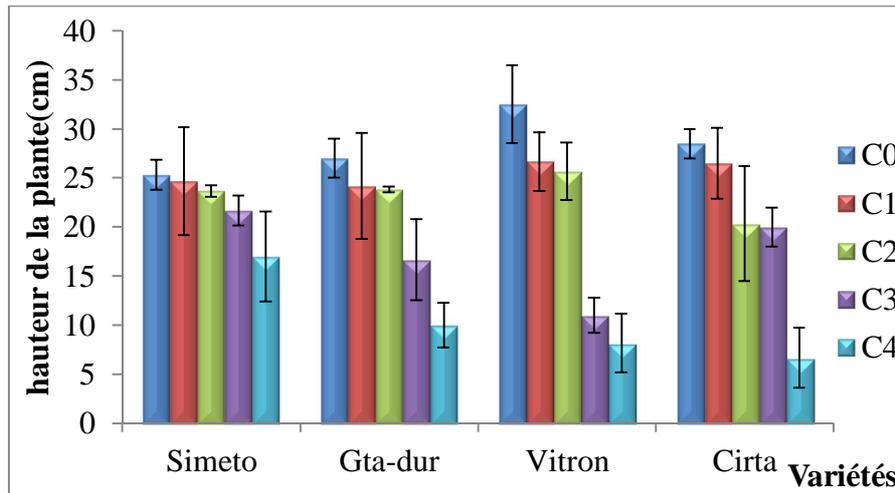


Figure 16: La hauteur de la plante (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.5. Le poids frais de la partie aérienne et souterraine

Concernant le poids frais de la partie aérienne et souterraine (Figure 17 et 18) le stress salin est à l'origine d'une diminution importante de ce paramètre chez les quatre variétés étudiées.

En effet, chez les deux variétés Gta-dur et Cirta, la réduction de la matière fraîche de la partie aérienne est plus prononcée aux concentrations élevées de NaCl d'où nous avons enregistré les valeurs moyennes de 0.05 et 0.06 g respectivement à la concentration 200mM par rapport aux témoins non traités(0.99 et 0.84 g).

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration non significatif ($p > 0.05$) et un effet variété et interaction significatif ($p = 0.000$) (Annexe 26).

De même, au niveau des racines, on note également des réductions similaires de la biomasse chez toutes les variétés. Cette réduction est d'autant plus importante que la contrainte saline est plus sévère. Ainsi les variétés Gta-dur et Vitron semblent les plus affectées à la concentration 200 mM dont la moyenne enregistrée est de 0.036 g chez les deux variétés en comparaison avec les témoins (0.59 et 0.70g).

Selon **Ferrara et al. (2011)**, la diminution de la matière fraîche sous stress salin est probablement due à une diminution de l'eau dans la feuille et du potentiel osmotique de la plante stressée.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration non significatif ($p > 0.05$) et un effet variété et interaction significatif ($p = 0.000$) (Annexe 31).

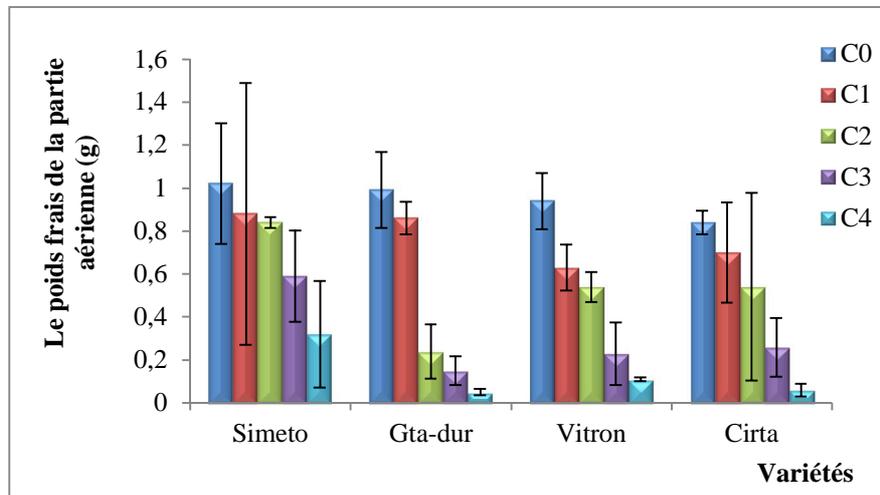


Figure 17: Le poids frais de la partie aérienne(g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

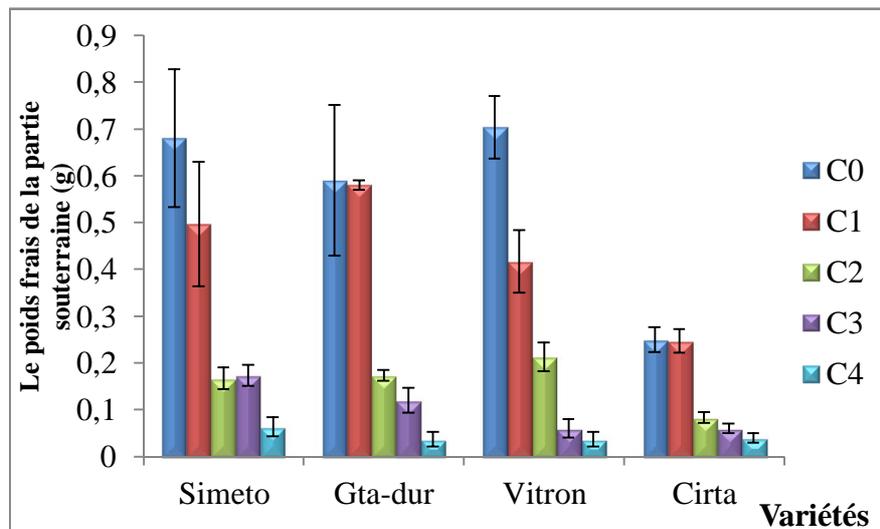


Figure 18: Le poids frais de la partie souterraine (g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.6. Le poids sec de la partie aérienne et souterraine

Les résultats de la (Figure 19 et 20)révèlent que la réduction de la matière sèche de la partie aérienne et souterraine augmente avec le traitement salin et cette réduction est plus importante aux fortes concentrations de NaCl. La valeur enregistrée pour ce paramètre à la

concentration 200 mM est de 0.006g de matière sèche de la partie aérienne chez la variété Cirta contre 0.15g pour le témoin non traité.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction non significatif ($p>0.05$) (Annexe 36).

Concernant la partie souterraine, les variétés Cirta et Gta-dur sont les plus affectées avec une moyenne de 0.007g (chez les deux variétés) en comparaison avec les témoins (0.10g pour les deux variétés).

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction non significatif ($p>0.05$) (Annexe 41).

Ce résultat est en accord avec celui de **Driouich et Rachidai (1995)**, sur deux variétés de blé dur cultivées au Maroc ("Kyperounda" et "Karim"). De même **Mguiset al. (2011)**, ont signalé une réduction de la matière sèche aérienne et racinaire sous l'effet du stress salin chez d'*Aegilops geniculata*Roth et blé dur.

Cette forte réduction de la biomasse (fraîche ou sèche) de la plante par exposition à NaCl a été notée également chez d'autres variétés de piment (**Khan et al., 2009**).

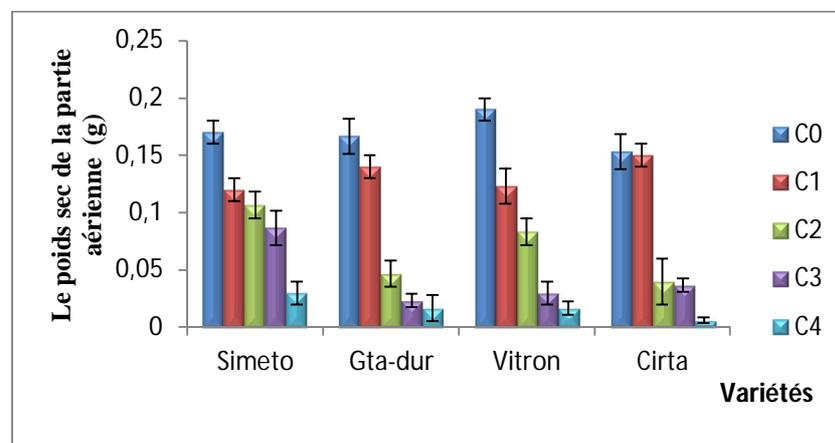


Figure 19: Le poids sec de la partie aérienne(g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

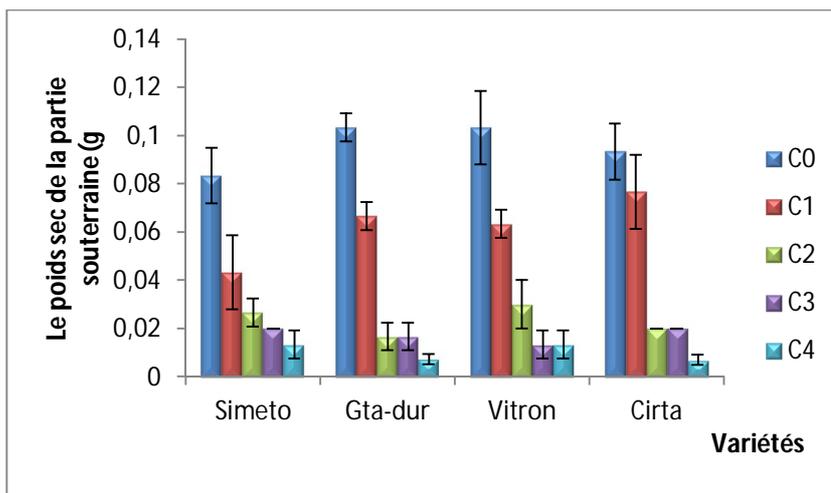


Figure 20: Le poids sec de la partie souterraine (g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.7. La teneur en Chlorophylle

Concernant la teneur en chlorophylle total, les résultats obtenus à l'issue de ce travail montrent que toutes les concentrations salines utilisées ont causé une diminution de la quantité des pigments chlorophylliens, et ce pour l'ensemble des variétés étudiées excepté la variété Simeto où une augmentation de la teneur chlorophyllienne a été enregistrée à la concentration 50 mM. Cette augmentation serait dans ce cas liée à l'accélération de la croissance, elle-même déterminée par les faibles concentrations de NaCl (**Lepengue et al., 2012**). L'effet du sel sur la teneur en pigments chlorophylliens est plus observé aux fortes doses de NaCl en particulier chez les variétés Cirta et Vitron pour lesquelles nous avons noté respectivement les moyennes de 15.40 et 22.30 $\mu\text{g/g}$ de MF à la concentration 200 mM par rapport aux témoins (17.63 et 22.53 $\mu\text{g/g}$ de MF) (Figure 21).

Ce résultat se concorde avec celui de **Elhousseine et al. (1998)**, qui ont obtenu une diminution des pigments chlorophylliens suite à un stress salin chez trois variétés de blé. De même **Shaheena et al. (2005)**, ont rapporté une diminution de la teneur en chlorophylle chez la moutarde soumise à un stress salin.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction significatif ($p=0.000$) (Annexe 56).

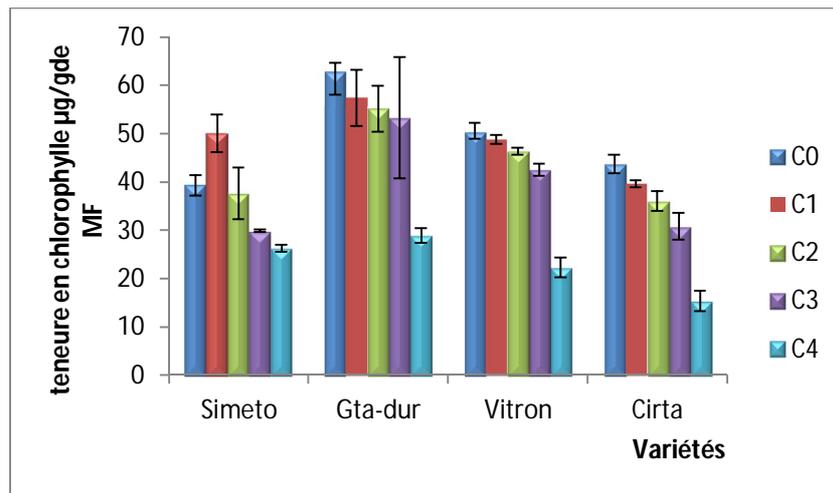


Figure 21: La teneur en chlorophylle des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Conclusion générale

Conclusion

Le but de notre travail consiste à étudier la germination et la croissance de quatre variétés de blé dur (Simeto, Gta -dur, Vitron, Cirta), en présence de différentes concentrations de NaCl afin d'évaluer leur tolérance vis-à-vis le stress salin.

L'étude expérimentale au laboratoire a mis en œuvre des tests de germination dans des conditions naturelles. Les principaux résultats obtenus montrent un effet peu marqué du stress salin sur le taux de germination pour des niveaux de salinité modérés, tandis que pour les niveaux élevés, le taux de germination pour les quatre variétés subit une diminution considérable notamment à la concentration 150 mM et au delà de ce seuil, une inhibition totale a été observée chez toutes les variétés étudiées.

De même, la présence du sel dans le milieu affecte également la longueur de la radicule et la longueur de la tigelle, et l'impact de la salinité était plus important lorsque la concentration en sel est plus élevée et ce pour l'ensemble des variétés étudiées.

Concernant l'essai de croissance, les résultats obtenus à l'issue de cette expérimentation ont révélé un effet dépressif du sel sur tous les paramètres morphologiques et physiologiques (la surface foliaire, le nombre de feuilles, la hauteur des plantes, la longueur de la racine principale, le poids frais et sec des parties aériennes et souterraines et la teneur en Chlorophylle). Ceci se traduit par une réduction de la croissance d'où nous avons enregistré une diminution en fonction de l'intensité du stress chez toutes les variétés étudiées, surtout aux fortes concentrations de NaCl.

D'une façon générale, et à partir des résultats obtenus des différents paramètres étudiés, nous pouvons admettre que l'application du stress salin à doses croissantes sur les différentes variétés de blé dur a montré une sensibilité vis-à-vis des concentrations du NaCl utilisées. Cependant, la variété Cirta semble la plus sensible que les autres variétés, pour laquelle la longueur de la tigelle, la surface foliaire, la teneur en chlorophylle et le poids frais et sec des parties aériennes et souterraines sont diminuées considérablement avec l'intensification du stress. Tandis que la variété Simeto présente le meilleur comportement et paraît la plus tolérante au stress salin avec des taux de réduction moins réduits par comparaison aux autres variétés, surtout pour la surface foliaire, la hauteur de la plante,

nombre de feuilles et poids frais et sec des parties aériennes et souterraines, ce qui lui permet d'être sélectionnée comme variété des zones contenant de fortes teneurs en NaCl.

En fin, ces résultats demeurent infimes et ne considèrent que comme des résultats préliminaires, pour cela il doivent être confirmé par d'autres essais en se basant sur les phénomènes de régulation osmotiques tels que le dosage des sucres solubles et de la proline et par des tests anatomiques pour bien cerner l'effet de la salinité sur les variétés étudiées.

Résumé

الملخص

تعتبر ملوحة التربة أحد العوامل الرئيسية التي تحد من نمو النباتات وتطورها.

الهدف من هذه الدراسة هو مراقبة سلوك أربعة أصناف من القمح الصلب (Simeto, Gta-dur, Vitron, Cirta) معاملة بتراكيز متزايدة من ملح كلوريد الصوديوم mM [0]، mM [50]، mM [100]، mM [150]، mM [200]، من اجل تحديد التأثير الضار للملوحة، وقد تم إجراء تجارب الإنبات داخل علب بيتري والنمو داخل أصص وتم اختيار العديد من المعايير المتعلقة بإنبات البذور ونمو النباتات.

بينت النتائج المتحصل عليها أن الإجهاد الملحي اثر سلبا على إنبات البذور ونمو النباتات. معظم المعايير المدروسة في الأصناف الأربعة تتناقص كلما زاد تركيز الملح في الوسط فيما يتعلق بإنبات البذور تسبب الإجهاد الملحي في انخفاض نسبة الإنبات، طول الجذير وطول السويق وكذلك في تجارب النمو طول النبات، طول الجذر الرئيسي، عدد الأوراق، المساحة الورقية، الوزن الطري والجاف للأجزاء الهوائية والترابية، وقد أظهر الصنف (Cirta) نوعا من الحساسية اتجاه الملوحة حيث انخفض بشكل ملحوظ طول السويق المساحة الورقية الوزن الطري والجاف للأجزاء الهوائية والترابية.

بينما يبدو الصنف (Simeto) هو الأكثر تحمل للملوحة وذلك من خلال النتائج المتحصل عليها لبعض المعايير المدروسة مقارنة مع الأصناف الأخرى وخاصة بالنسبة للمساحة الورقية، عدد الأوراق، وطول الجذر الرئيسي، والوزن الطري والجاف للأجزاء الهوائية والترابية والتي تم اختيارها لزرعتها وسط يحتوي على تركيز عالية من كلور الصديوم.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب، ملوحة، إنبات، نمو، NaCl.

Le Résumé

La salinisation des sols est considérée comme l'un des principaux facteurs limitant la croissance et le développement des plantes.

Cette étude a pour objectif de suivre le comportement de quatre variétés de blé dur (Simeto, Gta-dur, Vitron, Cirta) en milieu salin, en utilisant des doses croissantes de NaCl ([0] mM, [50] mM, [100] mM, [150] mM et [200] mM), afin d'évaluer leur tolérance vi-à-vis cette contrainte. Pour cela, des tests de germination dans les boîtes de pétri et de croissance dans les pots ont été effectués et plusieurs paramètres liés à la germination des graines et à la croissance des plantules ont été estimés.

Les résultats obtenus montrent que le stress salin affecte négativement la germination des graines et la croissance des plantules, d'où nous avons enregistré une réduction pour tous les paramètres mesurés et chez les quatre variétés étudiées, cette réduction s'accroît avec l'augmentation de la concentration en sel.

Concernant la germination des graines, le stress salin a provoqué une diminution du taux de germination, de la longueur de la tigelle et de la racine, on est de même pour les paramètres de croissance (hauteur des plantes, longueur de la racine, nombre de feuilles, surface foliaire et le poids frais et sec des parties aériennes et souterraines). Par ailleurs, la variété Cirta s'est montrée la plus sensible que les autres variétés, pour laquelle la longueur de la tigelle, la surface foliaire, la teneur en chlorophylle et le poids frais et sec des parties aériennes et souterraines sont diminués considérablement avec l'intensification du stress.

Tandis que la variété Simeto s'est montrée la plus tolérante au stress salin avec des taux de réduction moins réduits par comparaison aux autres variétés, surtout pour la surface foliaire, la hauteur de la plante, nombre de feuilles et poids frais et sec des parties aériennes et souterraines, ce qui lui permet d'être sélectionnée comme variété des zones contenant de fortes teneurs en NaCl.

Mots clé : *Triticum durum*, germination, croissance, stress salin, NaCl.

Abstract

Soil salinization is considered to be one of the main factors limiting plant growth and development.

The objective of this study is to track the behaviour of four saline durum varieties (Simeto, Gta-dur, Vitron, Cirta), using increasing doses of NaCl ([0] mM, [50] mM, [100] mM, [150] mM and [200] mM), to assess their tolerance for this constraint. For doing this, a germination tests in kneading, and growth cansin pots were carried out in which several parameters related to seed germination and seedling growth have been estimated.

The results obtained show that saline stress negatively affects seed germination and seedling growth, from which we recorded a reduction for all parameters measured, and in the four varieties studied, this reduction increases in salt concentration.

In regard to seed germination, saline stress has caused a decrease in the germination rate, the length of the shingle and the radical, the same is true for the growth parameters (plant height, root length, number of leaves, leaf surface and the cool, dry weight of the aerial and underground parts). In addition to, the Cirta variety has been the most sensitive than theother varieties, in which the length of the stool, leaf surface, chlorophyll content and the fresh, dry weight of the aerial and underground parts are significantly reduced the intensifying stress.

While the Simeto variety was the most tolerant of saline stress with reduced reduction rates compared to other varieties, especially for leaf surface, plant height, number of leaves and fresh, dry weight of the parts which allows it to be selected as a variety of areas containing high levels of NaCl.

Keywords: *Triticum durum*, germination, growth, saline stress, NaCl.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- **Adjabi, A. Bouzerzour, H. Lelarge, C. Benmahammed, A. Mekhlouf, A. and Hannachi, 2007.** A. Relationships between grain yield performance, temporal, stability and carbon isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under Mediterranean conditions. *Journal of Agronomy*, 6: 294-301.
- **Agastian, P. Kingsley, S.J. Vivekanandan, M. 2000.** Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica*, 38: 287-290.
- **Agence Canadienne d'Inspection des Aliments, 2006.** La biologie de *Triticum turgidum* ssp. *Durum* (Blé dur). Id, Bureau de la biosécurité végétale, 13p.
- **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.
- **Alem, C. M. Labhilili, K. Brahmi, M. Jlibene, N. Nasrallah, et Filali-Maltouf, A. 2002.** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C. R. Biologies*, 325: 1097-1109.
- **ANONYME, 2008.** L'Algérie a constitué des stocks stratégiques de blé pouvant couvrir la consommation nationale sur plusieurs mois. (<http://www.algerie-dz.com/article13807.html>).
- **Aouali, S. et douici-khalfi, A. 2009.** Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie, ITGC, El harrache, Alger, p 4-20.
- **Apse, M.P. and Blumwald, E. 2002.** Engineering salt tolerance in plants. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 13(2):146-150.
- **Ashraf, M. Foolad, M.R. 2007.** Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot.*, 59(2): 206-216.
- **Asloum H., 1990.** *Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, Lycopersicum 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.
- **Aubert, G. 1982.** les sols sodiques en Afrique du nord. Cahier O.R.S.T.O.M. Service Pédologie, 194-198.
- **Baize, D. 2000.** Guide des analyses en pédologie. 2ème édition. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris. 206-207.

- **Bartels, D. Sunkar, R. 2005.** Drought and salt tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 24(1): 23-58.
- **Belaid, D. 1987.** *Etude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé dur(Hedba3) en conditions de déficit hydrique*, Thèse de magistère. I.N.A. 108p.
- **Belaid, D. 1996.** Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. *Office des publications universitaires*, Ben-Aknoun. 1ère édition, 206 p.
- **Belkhodja, M. Bidai, Y. 2004.** Réponse des graines d'*Atriplex halimus* à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse*, 15(4): 331-335.
- **Ben Naceur, M. Rahmoune, C. Sdiri, H. Meddahi, M.L. Selmi, M. 2001.** Effet du stress salin sur la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse*, 12: 167-174.
- **Benderradji, L. Bouzerzour, H. Kellou, K. Ykhlef, N. Brini, F. Masmoudi, K et Djekoun, A. 2010.** Etude des mécanismes de tolérance a la salinité chez deux variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) soumises a un stress salin. *Sciences et Technologie*, 32:23-30.
- **Bendjama, A. Bouzerzour, H. and Benbelkacem, A. 2014.** Adaptability of durum wheat genotypes (*Triticum turgidum*L. var. *durum*) to contrasted locations. *Aust. J. Basic et Appl. Sci.* 8(6): 390 - 396.
- **Benidire, L. Daoui, K. Fatemi, Z.A. Achouak, W. Bouarab, L. Oufdou. K. 2015.** Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba*L. *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (3): 840-851.
- **Bennacer, R. Tobbal, A. Beji, H. Vasseur, P. 2001.** Double diffusive convection in a vertical enclosure filled with anisotropic porous media. *Int. J. Therm. Sci.* (40): 30-41.
- **Berthomieu, P. Conéjéro, G. Nublat, A. Brackenbury, W.J. Lambert, C. S avio, C. Uozumi, N. Oiki, S. Yamada, K. Cellier, F. Gosti, F. Simonneau, T. Essah, P.A. Tester, M. Véry, A.A. Sectenca, H. and Casse, F. 2003.** Functional analysis of AtHKT1 in *Arapidoopsis* shows that Na⁺ recirculation by the pkloem is crucial for salt tolerance. *EMBO J.*, 22(9): 2004-2214.
- **Binet, P. Brunel, J. 1999.** Physiologie végétale. Doin. 933-935.
- **Bizid, E. Zid, E. Grignon, C. 1988.** Tolérance à NaCl et sélectivité K⁺/Na⁺ chez les Triticales, *Agronomie*, 8(1): 23-27.
- **Bonjean, A.2000.** L'histoire des blés des Limagnes d'Auvergne. Ed. *Limagrain*, 98 p.
- **Bonjean, A.2001.** Les céréales à paille: origine, histoire, économie, Soft word - groupe ITM, paris: 208p.

- **Borsani, O. valpuesta, T. and Botella, M. 2003.** Developing salt tolerant plants in a new century: a molecular biology approach. *Plant cell tissue organ cult.*,73(2): 101-115.
- **Bouda, S. et Haddioui, A. 2011.** Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Revuenature et technologie*. (5): 72-79.
- **Boukachabia, E. 1993.** Contribution à l'étude de quelques mécanismes morphologiques et biochimiques de tolérance à la salinité chez cinq génotypes de blé dur (*Triticum durum Dest*). Mémoire de Magistère production et physio Vég., Annaba, 108p.
- **Boulal, H. Zaghouane, O. EL Mourid, M. et Rezgui, 2007.** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. ITGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
- **Bozzini, A. 1988.** Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. Dans Fabriani G. et C. Lintas (éd). *Durum: Chemistry and Technology*. AACCC (Minnesota), États-Unis., p. 1-16.
- **Chadefaud, M. et Emberger, L. 1960.** Traité de botanique: Les végétaux vasculaires. Fasciculé Masson et Cie. Tome II, 753p.
- **Chaker, A. et Brinis, L. 2004.** Effet d'un stress thermique à la chaleur sur quelques traits biochimiques de quelque génotype de blé dur, 42:21-28.
- **Chen, T.H. Murata, N. 2002.** Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 5(3): 250-257.
- **Cherbuy, B. 1991.** Les sols salés et leur réhabilitation : Etude bibliographique. Cemagref, France: 170p.
- **Cheverry, C. Rbert, M. 1998.** La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau. *REVUE Etude et gestion des sols*, 5(4): 214-228.
- **Cheverry, C. Rbert, M. 1998.** La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau: une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement de pays au sud de la Méditerranée. *Étude et Gestion des Sols*, 5(4):217-226.
- **Clarke, J.M.Norvell, W.A. Clarke, F.R. et Buckley, T.W. 2002.** Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. *Can. J. Plant Sci. Revue canadienne de phytotechnie*, 82: 27-33.
- **Clement, G. et Prats, J. 1970.** Les céréales: Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed.351p.

- **Clement, M. et Prats. 1971.** Les céréales, collection d'enseignement agricole 2^{ème} Ed, Ballier France.360p.
- **Clerget, Y. 2011.** Biodiversité des céréales Origine et évolution: In La biodiversité des céréales et leur utilisation par l'homme. Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard. Extrait de la vidéoconférence du Service éducatif du Muséum Cuvier de la Ville de Montbéliard. La biodiversité des céréales et leur utilisation par l'homme, 1-16.
- **Creelman, R.A. Masan, H.S. Bensen, R.J. Boyer, J.S. Mullet, J.E. 1990.** Water deficit and abscisic acid cause differential inhibition of shoot versus root growth in soybean seedlings. *Plant Physiol.*, 92:205-214.
- **Dajoz, 1982.** Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquée Ed. Gauthier-Villiers paris. 503p.
- **Derkaoui, K. Mokhtar, 2011.** *Les réponses morphologiques, physiologiques et anatomiques des racines de la tomate (Solanum lycopersicum L.) vis-à-vis du stress salin.* Thèse de magister. Université d'Oran1, 80p
- **Dionísio and Paula, R. Silva, E.1992.** Growth of skipjack *Katsuwonus pelamis* from Mozambique. *Rev. Invest. Pesq. Maputo*, 21:98-105.
- **Djermoun, A. 2009.** La production céréalière en Algérie. Les principales caractéristiques. *Nature et Technologie*, 1: 45-53.
- **Douaoui, A. et hartani, T. 2008.** Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chellif. *Scientific commons*. 2(3): 9.
- **Driouich, A. et Rachidai, A. 1995.** Etude de l'effet du stress salin sur la croissance du blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Actes Inst. Agron.Vet.*, 16 (1): 33-40.
- **Duchauffour, P. 1979.** Pédologie tome 2, constituant et propriétés du sol, Ed. Masson. Paris, 459p
- **Duchauffour, P. 1983.** Pédologie pédogenèse et classification. Ed. Masson, 491 p.
- **El Houssine, T. Belabed, A. et Sadki, K. 1998.** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*), *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, 21: 81-87.
- **FAO.** Article publié le 06-04-2017.
- **Feillet, 2000.** Le grain de blé technique et documentation ITCF. Paris 429.

- **Feldman, M. 2001.** Origin of Cultivated Wheat. Dans Bonjean A.P. et W.J. Angus (éd.) *The World Wheat Book: à history of wheat breeding*. Intercept Limited, Andover, Angleterre, 3-58.
- **Ferrara, A.S. Lovelli, T. Di Tomasso, and Perniole, M. 2011.** Flowering, Growth and fruit setting in greenhouse Bell pepper under water stress. *Journal of Agronomy*, 10(1), 12-19.
- **Flowers, T. J. Troke, P.F. and Yeo, A.R. 1977.** The michanisms of salt tolerance in halophytes. *Annu. Rev. Plant.*, 28(1):89-121.
- **Gate, P. 1995.** Ecophysiologie du blé. Ed. ITCF. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris, 203:205-419.
- **Gilmour, S.J. Sebolt, A.M. Salazar, M.P. Everard, J.D. Thomashow, M.F. 2000.** Over expression of the Arabidopsis CBF3 transcriptional activator mimics multiple biochemical changes associated with cold acclimation. *Plant Physiol.*, 124(4): 1854-1865.
- **Girard, P. Prost, J. Bassereau, P. 2005.** Passive or Active Fluctuations in Membranes Containing Proteins *Phys. Rev. Lett.* 94: 60-64.
- **Glenn, S.J. Brown, J.J. and Blumwald, E. 1999.** Salt –tolerant mechanisms and crop potential of halophyte. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 18(2): 227-255.
- **Gupta, R.K. Abrol, I.P. 1990.** Salt-affected soil: Their reclamation and management for crop production. *Advances in Soil Science*. Springer-Verlag, New York. 11: 288.
- **Hachemi, M.M. Saidani, Bouattoura et Ait ameur, C. 1979.** Situation des céréales en Algerie. *céréaliculture*, 11:7-12.
- **Hajlaoui, H. Denden, M. et Bouslama, M. 2007.** Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum L.*) au stade germination. *Tropicultura*, 25 168-173.
- **Haltim, A. 1985.** *Contribution à l'étude des sols sales des zones arides (haute plaines steppique de l'Algérie), morohologie, distribution et rôledes sels dans la genése et le comportement des sols*, thèse doctorat Es.Sci. Univ. Reme., 384p
- **Hamadache, A. 2001.** Stades et variétés de blé, document de vulgarisation, ITGC, DFRV, alger, 22p.
- **Hamadache, A. 2002.** Evolution récente des principales ressources fourragères et possibilités d'amélioration en Algérie. *Céréaliculture*, 35: 13-20.

- **Hamadache, A. 2013.** Grande cultures: principaux itinéraires techniques des principales espèces de grandes cultures pluviales cultivées en Algérie et en Afrique du nord (agriculture conventionnelle), le blé, Tome 1, 1^{er} édition: 256p.
- **Harlan, J.R. 1975.** Our vanishing genetic resources. science, 188p.
- **Hauser, F. and Horie, T. 2010.** A Conserved primary salt tolerance mechanism mediated by HKT transporters: a mechanism for sodium exclusion and maintenance of high K⁺/ Na⁺ ratio in leaves during salinity stress. *plant cell Environ.* 33(4): 552-565.
- **Herve, Y. 1979.** Introduction à l'amélioration des plantes. Cours. École nationale supérieure agronomique de Rennes.
- **Hopkin, W.G. 2003.** Physiologie végétale traduction de la 2ed., américaine par serge rambour révision scientifique de Charles-Marie Evradr Boeck univ. Bruxelles .p 445-476.
- **Insid, 2008.**Caractérisation de l'état actuel de la salinité dans le périmètre irrigué de la Mina.
- **Iraida, A. Miguel, A.B, Mercedes, C. Maria, I.M. Antonio, H. Ray, A.B. Paul, M.H. Miguel, A.Q. et Victoriano, V. 1999.** Improved germination under osmotic stress of tobacco plants overexpressing a cell wall peroxidase. *FEBS Letters*, 457:80-84.
- **ITGC, 2016.** Institut Technique des Grandes culture.
- **Jabnoue, M. 2008.** Adaptation des plantes au Stress salin : caractérisation de transporteurs sodium et potassium de la famille HKT chez le riz.Thèse de doctorat, physiologie végétale et biologie moléculaire, France, 114p.
- **Jendoubi, S. 1997.** Contribution à la caractérisation physiologique et biochimique de parois racinaires chez 2 espèce de blé. *Triticum durum* (Ben Béchir) et *triticum aestivum* (Tanit) cultivées en milieu salin. Tunis. DEA de la faculté des sciences de Tunis. 86p.
- **Jones, R.A et Qualset, C.O. 1984.** Breeding crops for environmental stress tolerance. Application of Genitec Engineering to Corp Improvement. Nijhoff. Junk, 305-340.
- **Kadri, K. Maalam, S. Cheikh, M. H. Benabdallah, A. Rahmoun, C. et Ben naceur. M. 2009.** effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques accessions tunisiennes d'orge (*hordeum vulgare l.*). *Science and Technolog*, 29: 72-79.
- **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.

- **Karmous, C. 2007.** *Contribution à l'étude des mécanismes de tolérance à la salinité au stade juvénile chez le blé dur (Triticum durum Desf.): aspects physiologique, biochimique et moléculaire.* Thèse de doctorat en agronomie et science de la production végétale. INAT, Tunis: 211p.
- **Kefu, Z. Munns, R. King, R.W. 1991.** abscisic acid leirels in nacltreated barley, cotton, and saltbush. *Aust. J. Plant physiol*, 18: 17-24.
- **Khan, N.A. Nazar, R. and N.A. Anjum. 2009.** Growth, photosynthesis and antioxidant metabolism in mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars differing in ATP-sulfurylase activity under salinity stress. *Sci Hort.*, 122: 455-460.
- **Kurban, H.H. Saneoka, K. Nehira, R. Adila, G. Premachandra, S. and Fujita, K. 1999.** Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant alhagi pseudoalhagi (bieb.). *Soil Sci. Plant Nutr*, 45: 851-862.
- **Lachhab, I. Louahlia, S. Laamarti, M. and Hammani, k. 2013.** Effet d'un stress salin sur la germination et l'activité enzymatique chez deux géotypes de *Medicagosativa*. *International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN*, 3: 511-516.
- **Lallemand-Barrés, A. 1980.** Aménagement des sols salés irrigation avec des eaux salées étude documentaire. Bureau de recherches géologiques et minières service géologique national, 1-34.
- **Lamaze, T. 1994.** Résistance des plantes à la sécheresse. Mécanismes physiologiques. Le sélectionneur français, 45: 75-85
- **Lepengue, A.N. Mouaragadja, I. Ibrahim, B. Ake, S. M'Batchi, B. 2012.** Réponse du maïs (*Zea mays* var. LG 60) au stress salin: Etude de la synthèse de quelques composés biochimiques. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 14 (1): 1866-1872.
- **Levigneron, A. Lopez, F. Vansuyt, G. Berthomieu, P. Fourcroy, P. Casse-Delbart, F. 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*, 4 (4): 263-273.
- **Levitt, J. 1980.** Responses of plants to environmental stresses. Water radiation, salt and others stresses. Academic Press, New York, 2: 365- 406.
- **Levitt, J. 1972.** Responses of plants to environmental stresses (by) *J. levitt Academic press, New York.*
- **Maachi, L. 2005.** *Etude de comportement d'une céréale à grains sous centre pivot dans la région de Ouargla: Evaluation de l'efficience de l'irrigation et de la fertilisation azotée,* Thèse., Ing, agro, Sah. ITAS, Ouargla, 91p.

- **Maas, E .V. et Poss, J.A. 1989.** Salt sensitivity of wheat at different growth stages. *Irrig. Sci.* 29-40.
- **Machali, A. Suorez, D.L. Nabhan, H. et Rabindra, R. 2005.** Integrated management for sustainable use of Salt-affected Soils. Rom, FAO soils Bulletin.
- **Maillard, J. 2001.** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations. Handicap International, 35p.
- **Mani et Hannachi, 2015.** *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, 18(1): 639-647.
- **Martinez- Ballesta, M.C.Martinez, V. and Carvajal, 2004.** Osmotic adjustment, water relations and gas exchange in pepper plants grwn under NaCl or KCl. *Environ. Exp. Bot.*, 52: 161-174.
- **Mefti, M. Bouzerzour, H. Abdlguerfi, A. Nouar, H. 2008.** Morphological and growth characteristics of Perennial Grass, cultivars grown under semi-arid conditions of the Algerian high plateaus. *Journal of agronomy*, 7 (2): 138-147.
- **Mehari, A. Schulz, B. Depeweg, H. 2005.** Where indigenous water management practices overcome failures of structures. *Irrigation Drainage* 54: 1-14.
- **Mermoud, A. 2006** .Cours de physique du sol: Maîtrise de la salinité des sols. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 23p.
- **Mguis, K. Albouchi, A. Ouerghi, Z. Yakoubi-Tej, M. Mahjoub, A. Ben Brahim, N. 2011.**Influence d'une contrainte saline sur la croissance d'*Aegilops geniculata* Roth et du blé dur (*Triticum durum Desf.*). *Acta Botanica Gallica: Botany Letters*, vol. 158(4), 553-565.
- **Middleton, N.J. Thomoa, D.S.G. 1992.** World atlas of desertification. London: Edward Arnold.
- **Munns, R. 2008.** Sodium excluding genes from durum wheat and sea barleygrass improves sodium exclusion of bread wheat. 2nd International Salinity Forum Salinity, water and society-global issues, local action.
- **Munns, R. et Termaat, A. 1986.** Whole plant response to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13: 143-160.
- **Munns, R. 1993.** Physiological processes limiting plant grown in saline soils some dogmas and hypotheses. *Plant Cell. Environ.* (16): 15-24.
- **Munns, R. 2005.** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.*, 167(3): 645-663.

- **Munns, R. and Tester, M. 2008.** Mechanisms of salinity tolerance, *Annu. Rev. plant biol.*, 59: 651-681.
- **Munns, R. et Rawson, H.M. 1999.** Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.*, 459-464.
- **Munns, R. et Termaat, A. 1986.** Whole plant response to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13: 143-160.
- **Munns, R. 1993.** Physiological processes limiting plant growth in saline soils some dogmas and hypotheses. *Plant Cell. Environ.* (16) : 15 – 24.
- **Munns, R. 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant cell environ.* 25 (2): 239-250.
- **Munns, R. 2005.** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.*, 167(3): 645-663.
- **Munns, R. et Termaat, A. 1986.** Whole plant response to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13: 143-160.
- **Munns, R. Schachtman, d.P. and Condon, A.G. 1995.** The significance of atwo-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 22: 561–56.
- **Munns, R. Tester, M. 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59(1): 651-681.
- **Nanjo, T. Fujita, M. Seki, M. Kato, t. Tabata, S. and Shinozaki, K. 2003.** Toxicity of free proline revealed in an *Arabidopsis* T-DNA-tagged mutant deficient in proline dehydrogenase. *Plant Cell physiol.*, 44(5): 541-548.
- **Nanjo, T. Kabayashi, M. Yoshiba, Y. Kakubari, y. Yamaguchi-shinozaki, k. and Shinozaki, K. 1999.** Antisense suppression of proline degradation improves tolerance to freezing and salinity in *Arabidopsis thaliana*. *FEBS Lett.*, 461(3): 205-210.
- **Neumann, P. 1997.** Salinity resistance and plant growth revisited. *Plant, cell and Environment*, 20: 1193-1198.
- **Niu, X. Ressian, R.A. Hasegawa, P.M. Pardo, J.M. 1995.** Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*, 109 (3): 735-742.
- **Nouar, H. Haddad, L. Laala, Z. Oulmi, A. Zerargui, H. Benmahammed, A. and Bouzerzour, H. 2010.** Performances comparées des variétés de blé dur: Mohammed Ben Bachir, Waha et Bousselam dans la wilaya de Sétif. *Céréaliculture*, 54: 23-28.

- **Parida, A.K. and Das A.B. 2005.** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60: 324-349.
- **Pomeranz, Y. 1988.** Chemical composition of kernel structures. *Wheat: chemistry and technology*, 97-158.
- **Prado, F.E. Boero, C. Gallardo, M. Gonzalez, J.A. 2000.** Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds.
- **Ramade, F. 2003.** *Éléments d'écologie fondamentale*. Ed. Dunod, Paris, 690p.
- **Rao, D.N. Le Blanc, B.F. 1965.** Effects of sulfur dioxide on the lichen alga, with special reference to chlorophyll. *Bryologist*, 69: 69-75.
- **Rasanen, L.A. 2002.** Biotic and abiotic factors influencing the development of N₂-fixing symbioses between Rhizobium and the woody legumes. *Acacia and Prosopis*. Academic dissertation in microbiology. Helsinki-thesis. 80p.
- **Rejili, M. Neffati, N. Mouhamed, V. 2006.** Comportement germinatif de deux populations de *Lotus creticus*. L en présence du NaCl. *Revue des régions Arides*. 17:65.
- **Reynolds, M .P. Ortiz-Monasterio, J.I. Nab, A. 2001.** Application of Physiology in Wheat Breeding. D.F. CIMMYT, Mexico. 101-111.
- **Richards, L.A. 1954.** *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. United States Salinity Laboratory Staff. Agricultural Handbook. United States Department of Agriculture, 60:160p.
- **Robert, M. 1996.** *Le sol: interface dans l'environnement ressource pour le développement*. Ed. Masson, Paris. 96 p.
- **Said, B. Abdelmajid, H. 2011.** Effet de stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Revue Natures et Technologie*. 05p.
- **Salam, F. 2004.** *La salinité et la production végétale*. Tunisie. 163p.
- **Sayar, S. Turgut, S. Dogan, H. 2009.** Incidence of pressure ulcers in intensive care unit patients at risk according to the Waterlow scale and factors influencing the development of pressure ulcers, *J. Clin. Nurs*, 18 (5): 765-774.
- **Selmi, R. 2000.** Fin du mythe de l'autosuffisance alimentaire et place aux avantages comparatifs. *Revue Afrique Agriculture*, 280: 30-23.
- **Shaheena, A. Mohamed, F. Hayat, S. and Siddiqui, M.H. 2005.** Exogenous Application of gibberellic Acid counteracts the effect of Sodium Chloride in Mustard. *Turk.J. Biol.*, 29: 233-236.

- **Slama, A.D. Afifi, W.M. Mousa, A.Z. et Shams El Din. 1992.** Biochemical study on the effect of salinity on cucumber seedlings. *Annals Agric. Sci. Ain Shams Univ. Cairo.*, 37(2): 339-349.
- **Slama, F. 2004.** La salinité et la production végétale. Ed. Centre de publication universitaire Tunis. 163p.
- **Soltani, A. 1988.** *Analyse des effets de NaCl et de la source d'azote sur la nutrition minérale de l'orge.* Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté de Sciences de Tunis, 322 p.
- **Soltani, A. Hajji, M. et Grignon, C. 1990.** Recherche de facteurs limitant la nutrition minérale de l'orge en milieu salé. *Agronomie, EDP Sciences*, 10 (10) : 857-866.
- **Soltner, D. 1988.** La grande production végétale. La collection sciences et chimie agricole. Ed 16^{ème} édition, 464p.
- **Soltner, D. 1990.** Les grandes productions végétales: céréales, plantes sarclées, prairie. Coll. Sciences et techniques agricoles. 17^{ème} Ed. 464p
- **Soltner, D. 1998.** Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles. France, 25p..
- **Soltner, D. 1999.** Les grandes productions végétales, 19^{ème} éditions, sciences et techniques agricoles : 464p.
- **Stengel, P. Bruckler, L. Balesdent, J. 2009.** Le sol. Paris, France. 182.
- **Su, J. Chen, P.L. Wu, R. 1999.** Transgene expression of mannitol-1-phosphate dehydrogenase enhanced the salt stress tolerance of the transgenic rice seedlings. *Sci. Agric. Sin.*, 32: 101-103.
- **Surget, A. Barron, C. 2005.** Histologie du grain de blé. *Industrie des céréales* 145: 3-7.
- **Szablocks, I. 1989.** Salt affected Soils. Boca Raton, CRC press.
- **Szablocks, I. 1994.** Prospected of soil salinity for the 21st century trans. *Int cong of soil sc.*, 123-141.
- **Taiz, L. and Zeiger, E. 1998.** Plant physiology. Sinauer Associates. Sunderland. USA, 792p.
- **TREMBLIN, G. et COUDRET, A. 1986** Salinité, transpiration et échanges de CO₂ chez *Halopeplis amplexicaulis* (Vahl.) Ung. *Oecol. Plant.*, 7(21): 417-431.
- **Troncoso, A. Matte, C. Cantes, M. Lavee, S. 1999.** Evaluation of salt tolerance of in vitro-grown grapevine rootstock varie-ties, *Vitis* 38: 55-60.
- **Ungar, I.A. 1978.** Halophytes seed germination *Bot. Rev.*

- **Wall, A.M, R. Ripley et M.D. Gale. 1971.** The position of a locus on chromosome 5B of *Triticum aestivum* affecting homoeologous meiotic pairing. *Genet Res.*, 18: 329-339.
- **Wang, Y. et 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.
- **WRI, 2002.** Drylands, people, and ecosystem goods and services: a web-based geospatial analysis.
- **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.
- **Xue, Z.Y. Zhi, D.Y. Xue, G.P. Zhang, H. Zhao, Y.X. Xia, G.M. 2004.** Enhanced salt tolerance of transgenic wheat (*Triticum aestivum* L.) expressing a vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter gene with improved grain yields in saline soils in the field and a reduced level of leaf Na⁺. *Plant Science*. 167: 849-859.
- **Yancey, P.H. Clark, M.E. Hand, S.C. Bowlus, R.D. Somero, G.N. 1982.** Living with water stress: evolution of osmolyte systems. *Science*, 217(4566): 1214-1222.
- **Yoshida, Y. Nanjo, T. Miura, S. Yamaguchi-Shinozaki, K. Shinozaki, K. 1999.** Stress-responsive and developmental regulation of Delta (1)-pyrroline -5-carboxylate synthetase 1 (P5CS1) gene expression in *Arabidopsis thaliana*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 261: 766-772.
- **Yshida, k. 2002.** Plant biotechnology genetic engineering to enhance plant salt tolerance. *J. Biosci. Bioeng.*, 94: 585-590.
- **Zhu, J.K. 2003.** Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Curr. Opin. Plant*.

Annexes

Annexes

Tableau 01: pourcentage de germination (%) pour les différentes variétés de blé dur soumises aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM
Variété				
Simeto	83,33	53,33	50,00	46,67
Gta – dur	93,33	76,67	46,67	43,33
Vitron	93,33	80,00	66,67	54,44
Cirta	90,00	70 ,00	54,44	44,44

Tableau 02: La longueur de la racicule (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations du NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM
Variété				
Simeto	7,92	4,46	2,06	0,51
Gta – dur	8,71	5,13	1,73	0,75
Vitron	9,16	3,57	2,25	0,52
Cirta	8,66	4,50	1,65	0,96

Tableau 03:La longueur de la tigelle (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM
Variété				
Simeto	9 ,71	3,22	0,63	0,73
Gta – dur	8 ,65	3 ,61	0,88	0,66
Vitron	11,15	2,62	0,73	0,30
Cirta	9,227	3,61	0,43	0,41

Tableau 04: La surface foliaire (cm²) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	6,32	5,22	4,44	3,85	2,54
Gta – dur	8,15	6,61	5,36	4,11	1,39
Vitron	9,71	5,35	3,52	1,85	1,24
Cirta	9,22	6,20	4,83	2,55	0,49

Tableau 05: Le nombre des feuilles des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	6,33	5	5	4,33	4
Gta – dur	4,33	4,33	4	4,66	3,66
Vitron	4,33	4,33	4,33	3	2,67
Cirta	3,66	4	4	3,33	2

Tableau 06: Longueur de la racine principale (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	11,67	11,33	8,00	8,00	6,33
Gta-dur	12,00	11,83	9,00	8 ,83	7,67
Vitron	13,67	12,00	8,33	7,83	7,83
Cirta	13,50	13,00	10,50	9,83	7,00

Tableau 07: Hauteur de la plante (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Simeto	25,33	24,67	23,67	21,67	17,00
Gta – dur	27,00	24,17	23,83	16,67	10,00
Vitron	32,50	26,67	25,67	11,00	8,17
Cirta	28,50	26,50	20,33	20,00	6,67

Tableau 08: Le poids frais de la partie aérienne des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	1,02	0,88	0,84	0,59	0,32
Gta – dur	0,99	0,86	0,24	0,15	0,05
Vitron	0,94	0,63	0,54	0,23	0,11
Cirta	0,84	0,7	0,54	0,26	0,06

Tableau 09: Le poids frais de la partie souterraine des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	0,68	0,50	0,17	0,17	0,06
Gta – dur	0,59	0,58	0,17	0,12	0,04
Vitron	0,70	0,42	0,21	0,06	0,04
Cirta	0,25	0,25	0,08	0,06	0,04

Tableau 10: Le poids sec de la partie aérienne des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	0,17	0,12	0,11	0,09	0,03
Gta – dur	0,17	0,14	0,05	0,02	0,02
Vitron	0,19	0,12	0,08	0,03	0,02
Cirta	0,15	0,15	0,04	0,04	0,01

Tableau 11: Le poids sec de la partie souterraine (g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	0,08	0,04	0,03	0,02	0,01
Gta – dur	0,10	0,07	0,02	0,02	0,01
Vitron	0,10	0,06	0,03	0,01	0,01
Cirta	0,09	0,08	0,02	0,02	0,01

Tableau 12: La teneur en chlorophylle des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	39,5	50,09	37,67	29,88	26,31
Gta – dur	62,82	57,44	55,16	53,28	28,90
Vitron	50,30	48,80	46,36	42,51	22,30
Cirta	43,78	39,65	36,06	30,83	15,41

Annexe 01: Analyse de la variance de pourcentage de germination

Variétés	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	10733	2683,3	16,77	0.000
	Erreur	10	1600	160,0		
	Total	14	12333			
Gta-dur	Concentrations	4	15373	3843,3	30,34	0.000
	Erreur	10	1267	126,7		
	Total	14	16640			
Vitron	Concentrations	4	16133	4033.3	33.61	0.000
	Erreur	10	1200	120.0		
	TotalL	14	17333			
Cirta	Concentrations	4	21973	5493.3	39.24	0.000
	Erreur	10	1400	140.0		
	Total	14	23373			

Annexe 02: Résultat des tests de Dennet pour le pourcentage de germination (%) (variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	83,33	A
C1	3	53,33	
C2	3	50,0	
C3	3	46,67	
C4	3	0,000000	

Annexe03: Résultat des tests de Denet pour le pourcentage de germination (%) (variété Gtadur)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	93,33	A
C1	3	76,67	A
C2	3	46,67	
C3	3	43,3	
C4	3	0,000000	

Annexe 04: Résultat des tests de Denet pour le pourcentage de germination (%) (variété Vitron).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	93.33	A
C1	3	80.0	A
C2	3	66.67	
C3	3	43.33	
C4	3	0.000	

Annexe 05: Résultat des tests de Denet pour le pourcentage de germination (%) (variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	100.0	A
C1	3	73.33	A
C2	3	46.7	
C3	3	6.67	
C4	3	0.000	

Annexe 06: Analyse de la variance la longueur de la racine (cm)

Variétés	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	127,42	31,856	24,45	0.000
	Erreur	10	13,03	1,303		
	Total	14	13,03			
Gta dur	Concentrations	4	156,220	39,0550	59,74	0.000
	Erreur	10	6,538	0,6538		
	Total	14	162,758			
Vitro	Concentrations	4	161.914	40.4785	426.45	0.000
	Erreur	10	0.949	0.0949		
	Total	14	126.863			
Cirta	Concentrations	4	147.463	36.8657	60.63	0.000
	Erreur	10	0.071	0.6071		
	Total	14	153.533			

Annexe 07: Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine (cm) (variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	7,92	A
C1	3	4,463	
C2	3	2,063	
C3	3	0,5067	
C4	3	0,000000	

Annexe 08: Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine (cm) pour le pourcentage de germination (%) (variétéGta-dur).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	8,707	A
C1	3	5,130	
C2	3	1,733	
C3	3	0,8200	
C4	3	0,000000	

Annexe 09: Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine (cm) (variété Vitron)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	9.163	A
C1	3	3.573	
C2	3	2.2533	
C3	3	0.5200	
C4	3	0.000	

Annexe 10: Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine (cm) (variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	8.663	A
C1	3	4.497	
C2	3	1.653	
C3	3	0.963	
C4	3	0.000	

Annexe 11: Analyse de la variance de la longueur de la tigelle (cm)

Variété	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	193,993	48,4983	117,52	0.000
	Erreur	10	4,127	0,4127		
	Total	14	198,120			
Gta dur	Concentrations	4	153,068	38,2671	57,29	0.000
	Erreur	10	6,680	0,6680		
	Total	14	159,748			
Vitro	Concentrations	4	264.222	66.0556	965.54	0.000
	Erreur	10	0.684	0.0684		
	Total	14	264.907			
Cirta	Concentrations	4	147.463	36.8657	60.63	0.000
	Erreur	10	0.071	0.6071		
	Total	14	153.533			

Annexe 12: Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la tigelle (cm) (variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	9,707	A
C1	3	3,217	
C2	3	0,733	
C3	3	0,633	
C4	3	0,000000	

Annexe 13: Résultat des tests de Denet pour la longueur de la tige (cm) (variété Gta-dur)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	8,653	A
C1	3	3,607	
C2	3	3,607	
C3	3	0,660	
C4	3	0,000000	

Annexe 14: Résultat des tests de Denet pour la longueur de la tige (cm) (variété Vitron).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	11.153	A
C1	3	2.620	
C2	3	0.7300	
C3	3	0.2967	
C4	3	0.000	

Annexe 15: Résultat des tests de Denet pour la longueur de la tige (cm) (variété Cirta)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	9.27	A
C1	3	9.27	A
C2	3	0.4333	
C3	3	0.4100	
C4	3	0.000	

Annexe 16: Analyse de la variance de la hauteur des plantes (cm)

Variété	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	135,1	33,77	3,00	0,072
	Erreur	10	112,7	11,27		
	Total	14	247,7			
Gta-dur	Concentrations	4	574,8	143,71	12,89	0,001
	Erreur	10	111,5	11,15		
	Total	14	686,3			
Vitron	Concentrations	4	1351,90	337,975	36,94	0.000
	Erreur	10	91,50	9,150		
	Total	14	1443,40			
Cirta	Concentrations	4	874,8	218,69	17,38	0.000
	Erreur	10	125,8	12,58		
	Total	14	1000,6			

Annexe 17 : Résultat des tests de Dennet pour la hauteur des plantes (cm) (variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	25,333	A
C1	3	24,67	A
C2	3	23,667	A
C3	3	21,667	A
C4	3	17,00	

Annexe 18: Résultat des tests de Dennet pour la hauteur des plantes (cm) (variété Gta-dur).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	27,00	A
C1	3	24,17	A
C2	3	23,833	A
C3	3	16,67	
C4	3	10,00	

Annexe 19: Résultat des tests de Dennet pour la hauteur des plantes (cm) (variété Vitron).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	32,50	A
C1	3	26,67	A
C2	3	25,67	A
C3	3	11,00	
C4	3	8,17	

Annexe 20: Résultat des test de Dennet pour la hauteur des plantes (cm) (variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	28,500	A
C1	3	26,50	A
C2	3	20,33	A
C3	3	20,00	
C4	3	6,67	

Annexe 21: Analyse de la variance de la longueur de la racine principale (cm)

Variétés	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	64,93	16,233	11,60	0,001
	Erreur	10	14,00	1,400		
	Total	14	78,93			
Gta-dur	Concentrations	4	45,23	11,308	5,14	0,016
	Erreur	10	22,00	2,200		
	Total	14	67,23			
Vitron	Concentrations	4	127,33	31,833	9,46	0.002
	Erreur	10	33,67	3,367		
	Total	14	161,00			
Cirta	Concentrations	4	82,77	20,692	17,01	0.000
	Erreur	10	12,17	1,217		
	Total	14	94,93			

Annexe 22: Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine principale (cm) (variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	11,667	A
C1	3	11,33	A
C2	3	8,000	
C3	3	8,000	
C3	3	6,333	

Annexe 23:Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine principale (cm) (variété Gta-dur).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	12,00	A
C1	3	11,833	A
C2	3	9,00	A
C3	3	8,833	A
C4	3	7,667	

Annexe 24:Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine principale (cm) (variété Vitron).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	13,667	A
C1	3	12,00	A
C2	3	8,333	
C3	3	7,833	
C3	3	5,667	

Annexe 25: Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine principale (cm) (variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	13,500	A
C1	3	13,00	A
C2	3	10,500	
C3	3	9,833	
C3	3	7,000	

Annexe 26: Analyse de la variance de le poids frais de la partie aérienne (g)

Variétés	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	0,9214	0,2303	2,07	0,160
	Erreur	10	1,1137	0,1114		
	Total	14	2,0350			
Gta-dur	Concentrations	4	2,2337	0,55842	48,22	0.000
	Erreur	10	0,1158	0,01158		
	Total	14	2,3495			
Vitron	Concentrations	4	1,3046	0,32616	29,85	0.000
	Erreur	10	0,1093	0,01093		
	Total	14	1,4139			
Cirta	Concentrations	4	1,2137	0,30342	5,66	0,012
	Erreur	10	0,5363	0,05363		
	Total	14	1,7500			

Annexe 27:Résultat des tests de Dennet pour le poids frais de la partie aérienne (g) (variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	1,020	A
C1	3	0,883	A
C2	3	0,8467	A
C3	3	0,587	A
C4	3	0,323	A

Annexe 28: Résultat des tests de Dennet pour le poids frais de la partie aérienne (g) (variété Gta-dur).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,990	A
C1	3	0,8600	A
C2	3	0,2433	
C3	3	0,1533	
C3	3	0,05667	

Annexe 29: Résultat des tests de Dennet pour le poids frais de la partie aérienne (g) (variété Vitron).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,9400	A
C1	3	0,6300	
C2	3	0,5400	
C3	3	0,2333	
C3	3	0,11000	

Annexe 30: Résultat des tests de Dennet pour le poids frais de la partie aérienne (g) (variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,8400	A
C1	3	0,700	A
C2	3	0,537	A
C3	3	0,2633	
C3	3	0,0600	

Annexe 31: Analyse de la variance de le poids frais de la partie souterraine (g)

Variété	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	0,81489	0,203723	24,88	0.000
	Erreur	10	0,08187	0,008187		
	Total	14	0,89676			
Gta-dur	Concentrations	4	0,84087	0,210217	38,83	0.000
	Erreur	10	0,05413	0,005413		
	Total	14	0,89500			
Vitro	Concentrations	4	0,92929	0,232323	111,34	0.000
	Erreur	10	0,02087	0,002087		
	Total	14	0,95016			
Cirta	Concentrations	4	0,129027	0,032257	96,77	0.000
	Erreur	10	0,003333	0,000333		
	Total	14	0,132360			

Annexe 32: Résultat des tests de Dennet pour le poids frais de la partie souterraine (g)
(variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,6800	A
C1	3	0,4967	A
C2	3	0,1733	
C3	3	0,1667	
C3	3	0,0633	

Annexe 33: Résultat des tests de Dennet pour le poids frais de la partie souterraine (g)
(variété Gta-dur).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,5900	A
C1	3	0,58000	A
C2	3	0,17333	
C3	3	0,1200	
C3	3	0,03667	

Annexe 34: Résultat des tests de Dennet pour le poids frais de la partie souterraine (g)
(variété Vitron).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,7033	A
C1	3	0,4167	
C2	3	0,2133	
C3	3	0,0600	
C3	3	0,03667	

Annexe 35: Résultat des tests de Dennet pour le poids frais de la partie souterraine (g)
(variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,2500	A
C1	3	0,2467	A
C2	3	0,08333	
C3	3	0,06000	
C3	3	0,04000	

Annexe 36: Analyse de la variance le poids sec de la partie aérienne (g)

Variété	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
simeto	Concentrations	4	0,031160	0,007790	58,43	0.000
	Erreur	10	0,001333	0,000133		
	Total	14	0,032493			
Gta-dur	Concentrations	4	300,0587	0,014577	115,08	0.000
	Erreur	10	0,001267	0,000127		
	Total	14	0,059573			
Vitro	Concentrations	4	0,060373	0,015093	125,78	0.000
	Erreur	10	0,001200	0,000120		
	Total	14	0,061573			
Cirta	Concentrations	4	0,057577	0,014394	93,03	0.000
	Erreur	10	0,001547	0,000155		
	Total	14	0,059124			

Annexe 37: Résultat des tests de Dennet pour poids sec de la partie aérienne (g) (variété Simeto)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	58,43	A
C1	3	0,12000	
C2	3	0,10667	
C3	3	0,08667	
C3	3	0,03000	

Annexe 38: Résultat des tests de Dennet pour poids sec de la partie aérienne (g) (variété Gtadur)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	58,43	A
C1	3	0,12000	
C2	3	0,10667	
C3	3	0,08667	
C4	3	0,03000	

Annexe 39: Résultat des tests de Dennet pour poids sec de la partie aérienne (g) (variété Vitron)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,19000	A
C1	3	0,12333	
C2	3	0,08333	
C3	3	0,03000	
C3	3	0,01667	

Annexe 40: Résultat des tests de Dennet pour le poids sec de la partie aérienne (g) (variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,15333	A
C1	3	0,15000	A
C2	3	0,0400	
C3	3	0,03667	
C3	3	0,00600	

Annexe 41 : Analyse de la variance du poids sec de la partie souterraine (g)

Variété	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	0,009427	0,002357	27,19	0.000
	Erreur	10	0,000867	0,000087		
	Total	14				
Gta-dur	Concentrations	4	0,020566	0,005142	186,74	0.000
	Erreur	10	0,000275	0,000028		
	Total	14	0,020842			
Vitro	Concentrations	4	0,017907	0,004477	51,65	0.000
	Erreur	10	0,000867	0,000087		
	Total	14	0,018773			
Cirta	Concentrations	4	0,018060	0,004515	60,90	0.000
	Erreur	10	0,000741	0,000074		
	Total	14	0,018802			

Annexe 42: Résultat des tests de Dennet pour le poids sec de la partie souterraine (g) (variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,08333	A
C1	3	0,04333	
C2	3	0,02667	
C3	3	0,02000	
C3	3	0,01333	

Annexe 43: Résultat des tests de Dennet pour le poids sec de la partie souterraine (g) (variété Gta-dur).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,10333	A
C1	3	0,06667	
C2	3	0,01667	
C3	3	0,01667	
C3	3	0,00733	

Annexe 44: Résultat des tests de Dennet pour le poids sec de la partie souterraine (g) (variété Vitron).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,10333	A
C1	3	0,06333	
C2	3	0,03000	
C3	3	0,01333	
C3	3	0,01333	

Annexe 45: Résultat des tests de Dennet pour le poids sec de la partie souterraine (g) (variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,09333	A
C1	3	0,07667	A
C2	3	0,02000	
C3	3	0,02000	
C4	3	0,00700	

Annexe 46: Analyse de la variance de la surface foliaire (cm²)

Variétés	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	24,361	6,0903	11,46	0,001
	Erreur	10	5,316	0,5316		
	Total	14	29,677			
Gta-dur	Concentrations	4	79,20	19,801	15,03	0.000
	Erreur	10	13,18	1,318		
	Total	14	92,38			
Vitron	Concentrations	4	138,824	34,7061	48,45	0.000
	Erreur	10	7,163	0,7163		
	Total	14	145,988			
Cirta	Concentrations	4	134,92	33,730	33,57	0.000
	Erreur	10	10,05	1,005		
	Total	14	144,97			

Annexe 47: Résultat des tests de Dennet pour La surface foliaire (cm²) (variété Simeto)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	6,323	A
C1	3	5,220	A
C2	3	4,4400	
C3	3	3,8500	
C3	3	2,537	

Annexe 48 : Résultat des tests de Dennet pour La surface foliaire (cm²) (variété Gta-dur)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	8,15	A
C1	3	6,613	A
C2	3	5,360	
C3	3	4,110	
C3	3	1,390	

Annexe 49: Résultat des tests de Dennet pour La surface foliaire (cm²) (variété Vitron)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	9,707	A
C1	3	5,347	
C2	3	3,523	
C3	3	1,853	
C3	3	1,240	

Annexe 50: Résultat des tests de Dennet pour La surface foliaire (cm²) (variété Cirta)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	9,217	A
C1	3	6,203	
C2	3	4,830	
C3	3	2,553	
C3	3	0,493	

Annexe 51: Analyse de la variance du nombre des feuilles

Variété	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	9,600	2,4000	4,50	0,024
	Erreur	10	5,333	0,5333		
	Total	14	14,933			
Gta – dur	Concentrations	4	1,733	0,4333	1,63	0,243
	Erreur	10	2,667	0,2667		
	Total	14	4,400			
Vitron	Concentrations	4	8,267	2,0667	4,43	0,026
	Erreur	10	4,667	0,4667		
	Total	14	12,933			
Cirta	Concentrations	4	8,267	2,0667	6,20	0,009
	Erreur	10	3,333	0,3333		
	Total	14	11,600			

Annexe 52: Résultat des tests de Dennet pour le nombre des feuilles en fonction de concentrations (variété Simeto)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	6,333	A
C1	3	5,000	A
C2	3	5,000	A
C3	3	4,333	
C3	3	4,000	

Annexe 53: Résultat des tests de Dennet pour Le nombre des feuilles en fonction de concentrations (variété Gta-dur)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	4,333	A
C1	3	4,667	A
C2	3	4,333	A
C3	3	4,000	A
C3	3	3,667	A

Annexe 54: Résultat des tests de Dennet pour Le nombre des feuilles en fonction de concentrations (variété Vitron)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	4,333	A
C1	3	4,333	A
C2	3	4,333	A
C3	3	3,000	A
C4	3	2,667	

Annexe 55: Résultat des tests de Dennet pour Le nombre des feuilles en fonction de concentrations (variété Cirta)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	3,667	A
C1	3	4,000	A
C2	3	4,000	A
C3	3	3,333	A
C4	3	2,000	

Annexe 56 : Analyse de la variance du la teneur en chlorophylle

Variété	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	1027,72	256,931	25,76	0,000
	Erreur	10	99,74	9,974		
	Total	14	99,74			
Gta-dur	Concentrations	4	2072,6	518,14	10,88	0,001
	Erreur	10	476,3	47,63		
	Total	14	2548,9			
Vitro	Concentrations	4	1567,59	391,898		0,000
	Erreur	10	18,12	1,812		
	Total	14	1585,71			
Cirta	Concentrations	4	1451,92	362,981	88,67	0,000
	Erreur	10	40,94	4,094		
	Total	14	1492,86			

Annexe 57 : Résultat des tests de Dennet pour la teneur en chlorophylle en fonction de concentrations (variété Cirta)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	39,50	A
C1	3	50,09	
C2	3	37,67	A
C3	3	29,883	
C4	3	26,310	

Annexe 58: Résultat des tests de Dennet pour la teneur en chlorophylle en fonction de concentrations (variété Cirta)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	62,82	A
C1	3	57,44	A
C2	3	55,16	A
C3	3	53,28	A
C4	3	28,897	

Annexe 59: Résultat des tests de Dennet pour la teneur en chlorophylle en fonction de concentrations (variété Cirta)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	50,303	A
C1	3	48,800	A
C2	3	46,360	
C3	3	42,510	
C4	3	22,30	

Annexe 60: Résultat des tests de Dennet pour la teneur en chlorophylle en fonction de concentrations (variété Cirta)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	43,78	A
C1	3	39,650	A
C2	3	36,06	
C3	3	30,83	
C4	3	15,41	

Annexe 61: Analyse de la variance pour pourcentage de germination (%) en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	1218	406,1	0,33	0,806
Erreur	56	69680	1244,3		
Total	59	70898			

Annexe 63: Résultat des tests de Fisher pour pourcentage de germination (%) (Les variétés)

Variétés	N	Moyenne	Groupement
Gta-dur	15	56,67	A
Cirta	15	52,00	A
Vitron	15	46,67	A
Simeto	15	45,3	A

Annexe 64: Analyse de la variance pour la longueur de la racicule (cm) en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	0,638	0,2127	0,02	0.996
Erreur	56	619,606	11,0644		
Total	59	620,244			

Annexe 65: Résultat des tests de Fisher pour la longueur de la radicule (cm) (Les variétés)

Variétés	N	Moyenne	Groupement
Gta-dur	15	3,278	A
Cirta	15	3,155	A
Vitron	15	3,102	A
Simeto	15	2,991	A

Annexe 67: Analyse de la variance pour la longueur de la tigelle (cm) en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	11,98	3,994	0,24	0,871
Erreur	56	950,31	16,970		
Total	59	962,30			

Annexe 68: Résultat des test de Fisher pour la longueur de la tigelle (cm) (Les variétés)

Variétés	N	Moyenne	Groupement
Gta-dur	15	3,88	A
Cirta	15	2,96	A
Vitron	15	2,858	A
Simeto	15	2,759	A

Annexe 69: Analyse de la variance pour la hauteur des plantes (cm) en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	44,93	14,98	0,25	0,862
Erreur	56	3378,07	60,32		
Total	59	3423,00			

Annexe 70: Résultat des tests de Fisher pour la hauteur des plantes (cm) (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Simeto	15	22,47	A
Vitron	15	20,80	A
Cirta	15	20,40	A
Gta-dur	15	20,33	A

Annexe 71: Analyse de la variance pour la longueur de racine principal en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	23,50	7,833	1,09	0,361
Erreur	56	402,10	7,180		
Total	59	425,60			

Annexe 72: Résultat des tests de Fisher pour la longueur de racine principal (Les variétés).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Cirta	15	10,767	A
Gta-dur	15	9,867	A
Vitron	15	9,500	A
Simeto	15	9,067	A

Annexe 73: Analyse de la variance pour le poids frais de la partie aérienne en fonction de concentrations (les variétés).

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	2974	991,3	6,10	0,001
Erreur	56	9101	162,5		
Total	59	12074			

Annexe 74: Résultat des tests de Fisher pour le poids frais de la partie aérienne de (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Cirta	15	54,10	A
Gta-dur	15	51,52	A
Vitron	15	42,05	B
Simeto	15	36,69	B

Annexe 75: Analyse de la variance pour le poids frais de la partie souterraine en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	0,3118	0,10394	2,02	0,121
Erreur	56	2,8743	0,05133		
Total	59	3,1861			

Annexe 76: Résultat des test de Fisher pour le poids frais de la partie souterraine (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Simeto	15	0,3160	A
Gta-dur	15	0,3000	AB
Vitron	15	0,2860	AB
Cirta	15	0,1360	B

Annexe 77: Analyse de la variance pour le poids sec de la partie aérienne en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	0,006203	0,002068	0,54	0,654
Erreur	56	0,212764	0,003799		
Total	59	0,218968			

Annexe 78:Résultat des tests de Fisher pour le poids sec de la partie aérienne (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Simeto	15	0,1027	A
Vitron	15	0,0887	A
Gta-dur	15	0,0787	A
Cirta	15	0,0772	A

Annexe 79: Analyse de la variance pour le poids sec de la partie souterraine en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	0,000462	0,000154	0,13	0,945
Erreur	56	0,068710	0,001227		
Total	59	0,069172			

Annexe 80: Résultat des tests de Fisher pour le poids sec de la partie souterraine (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Vitron	15	0,04467	A
Cirta	15	0,04340	A
Gta-dur	15	0,04213	A
Simeto	15	0,03733	A

Annexe 81: Analyse de la variance pour La surface foliaire (cm²) en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	5,343	1,781	0,24	0,867
Erreur	56	413,010	7,375		
Total	59	418,353			

Annexe 82: Résultat des tests de Fisher pour La surface foliaire (cm²) (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Gta-dur	15	5,125	A
Cirta	15	4,659	A
Simeto	15	4,474	A
Vitron	15	4,334	A

Annexe 83: Analyse de la variance pour le nombre des feuilles en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	19,87	6,6222	8,45	0,000
Erreur	56	43,87	0,7833		
Total	59	63,73			

Annexe 84: Résultat des tests de Fisher pour le nombre des feuilles (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Simeto	15		A
Gta-dur	15		B
Vitron	15		BC
Cirta	15		C

Annexe 85: Analyse de la variance pour la teneur en chlorophylle en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	4683	1560,99	28,29	0,000
Erreur	56	3090	55,17		
Total	59	7773			

Annexe 86: Résultat des tests de Fisher pour la teneur en chlorophylle (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Gta-dur	15	55,05	A
Vitron	15	45,745	B
Simeto	15	34,96	C
Cirta	15	33,15	C

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers
Département: Écologie et Génie de l'Environnement



**Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de
Master**

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Filière: Sciences Agronomiques

Spécialité/ Phytopharmacie et protection des végétaux

Thème:

**Effet de la contrainte saline sur la germination et la croissance de
quelques variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*)**

Présenté par :

Badraoui Hanane

Meziani Souad

Nombres du jury:

Président: Mme Laouar H.

(M.C.B) université de Guelma

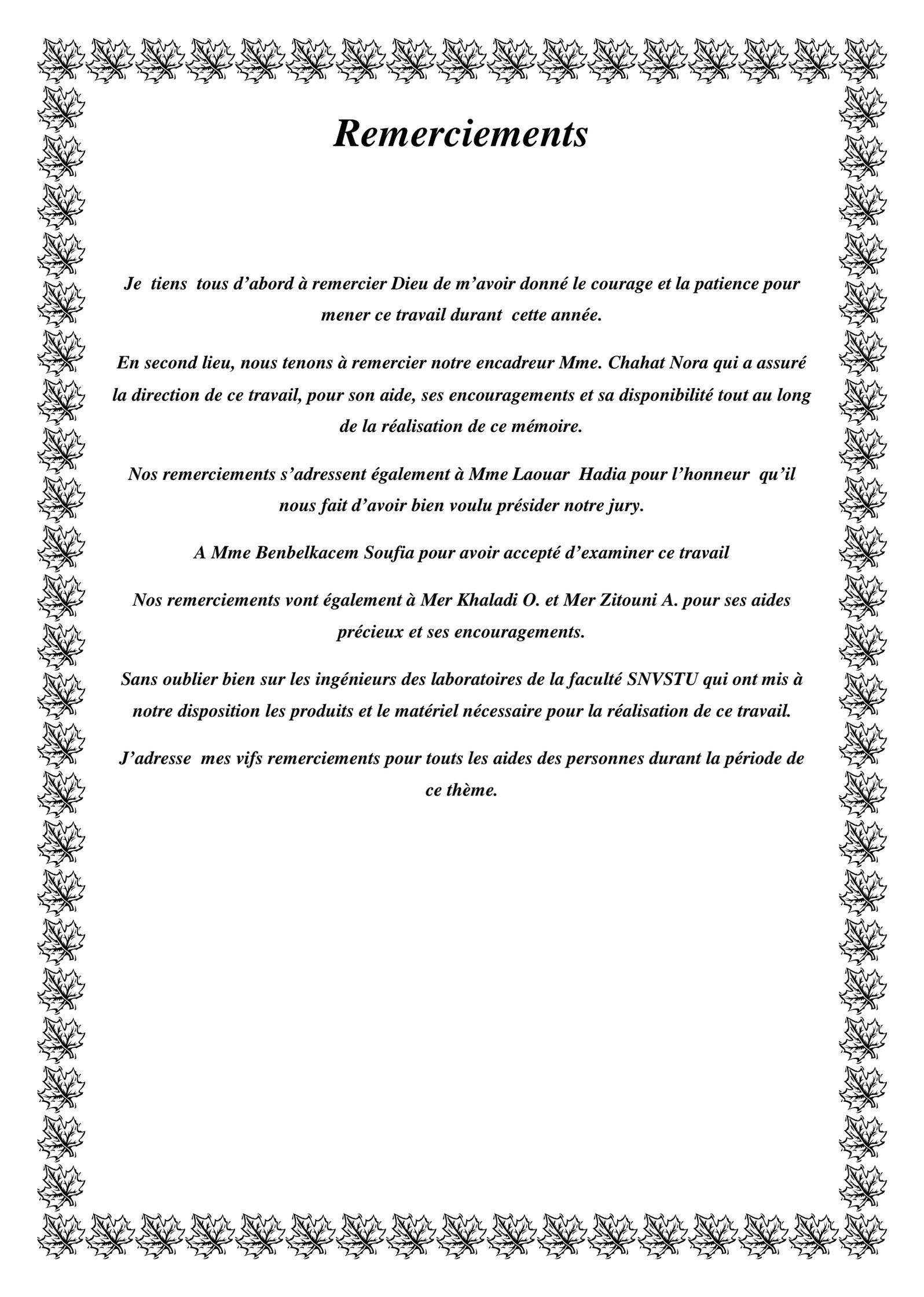
Examineur: Mme Benbelkacem S.

(M.A.A) université de Guelma

Encadreur: Mme Chahat N.

(M.C.B) université de Guelma

Juillet 2019



Remerciements

Je tiens tous d'abord à remercier Dieu de m'avoir donné le courage et la patience pour mener ce travail durant cette année.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mme. Chahat Nora qui a assuré la direction de ce travail, pour son aide, ses encouragements et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent également à Mme Laouar Hadia pour l'honneur qu'il nous fait d'avoir bien voulu présider notre jury.

A Mme Benbelkacem Soufia pour avoir accepté d'examiner ce travail

Nos remerciements vont également à Mer Khaladi O. et Mer Zitouni A. pour ses aides précieux et ses encouragements.

Sans oublier bien sur les ingénieurs des laboratoires de la faculté SNVSTU qui ont mis à notre disposition les produits et le matériel nécessaire pour la réalisation de ce travail.

J'adresse mes vifs remerciements pour tous les aides des personnes durant la période de ce thème.

Dédicaces

A mes parents pour leurs amour, leurs encouragements et leur sacrifices pendant toute ma vie car aucun mot ne pourra exprimer ma haute gratitude et profonde affection. Pour m'avoir soutenu moralement et matériellement durant toutes mes études.

*A mes chers frères Abde Elhadi, Ismail, Mohamed, et Toufik
je les remercie pour leur soutien moral.*

A mes chers sœurs: Ahlam, Rima, Sabrina et Soulaf

*A les petits de la famille: Yahia, Iliasse, Saja, Sejoude, Iade,
Mirale et Amire que j'adore.*

*A toutes mes amies en particulier: Amal, Hadjira, Sarra et
Maroi.*

A toute ma famille et à tous ceux qui m'aiment.

*A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à
la réalisation de ce mémoire.*

SOUAD



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mon père «Ramdan »

Ma mère «Fatima »

Mon frère «Mohamed»

Mon marié «Ismail »

Mes saeurs «Soumaia, Nawel et Maroua»

Toute la famille Badraoui et Kechiamia

A mon binôme Souad

Hanane



Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....01

Chapitre I: Données bibliographiques sur le blé dur

1. Origine du blé dur.....	03
2. Description générale de la plante	04
2.1.Le système racinaire	04
2.2. Tiges et feuilles	04
2.3. Fleurs et fruits.....	04
3. Classification botanique.....	06
4. Structure du grain du blé.....	06
5. Le cycle de développement du blé	07
6. Exigences pédoclimatiques	10
6.1. Température	10
6.2. La lumière	11
6.3. L'eau	11
6.4. Le sol.....	11
7. Importance de la culture de blé dur	11
7.1. Dans le monde	11
7.2. En Algérie	12
8. Contraintes de la culture du blé.....	13
9. Les principales maladies de blé dur	14

Chapitre II : Généralité sur la salinité

1. Le stress chez les plantes	17
1.1. Définition du stress	17
1.2. Types de stress.....	17
1.2.1. Le stress biotique	17
1.2.2.Le stress abiotique	17
1.2.1.1. Le stress hydrique	18
1.2.1.2. Le stress thermique	18
1.2.1.3. Stress salin	18

2. La salinité des sols	18
2.1. Définition de la salinité	18
2.2. La salinisation des sols.....	19
2.3. Origines des sols salés	20
2.3.1. Origine primaire (naturelle).....	20
2.3.2. Origine secondaire	20
2.4. Classification des sols salés	20
2.4.1. Sols salin à complexe sodique ou sols alcalins (les solonetz).....	20
2.4.2. Sols salins à complexe calcique (solontcheks).....	21
3. Répartition des sols salins dans le monde et Algérie	21
3.1. Dans le monde	21
3.2. En Algérie	23
4. Effets de la salinité sur les plantes.....	24
4.1. Sur la germination	24
4.2. Sur la croissance et le développement	24
4.3. Sur l'eau dans la plante.....	25
4.4. Sur la biochimie de la plante	25
4.5. Sur la photosynthèse	26
4.6. Sur la nutrition minérale des végétaux	26
4.7. Sur le métabolisme de l'azote	27
4.8. Sur l'anatomie de la feuille	27
4.9. Sur le rendement agronomique.....	27
5. Mécanismes de résistance au stress salin.....	27
5.1. La compartimentation vacuolaire	27
5.2. Exclusion des ions toxique.....	28
5.3. Ajustement ionique	28
6. Stratégie adaptation des plantes face à la contrainte saline	29
6.1. La proline	29
6.2. Le bétaine.....	29
6.3. Les sucres solubles	29

Chapitre III : Matériel et Méthodes

1. L'objectif de l'essai	31
2. Présentation du site de l'essai.....	31

3. Matériel végétal	31
3.1. Semence de blé dur	31
4. Origine et caractéristiques des variétés	31
5. Solution salées de l' Na Cl.....	33
6. Installation et conduite de l'essai	
6.1. Essai de germination.....	33
6.2.Essai de croissance	34
7.Caractéristique de substrat	35
8. L'irrigation	36
9. Paramètre étudiée	36
9.1. Paramètre relatifs à la germination des graines	36
9.1.1. Essai en boîtes de pétrie	36
9.2. Paramètre relatifs à la croissance et le développement.....	36
9.2.1.Hauteur des plantes.....	36
9.2.2. Nombre des feuilles	36
9.2.3. Longueur de la racine principale	37
9.2.4.Poids frais de parties aériennes et souterraines	37
9.2.5. Poids sec de parties aériennes et souterraines.	37
9.2.6. La surface foliaire	37
9.2.7. Dosage des Pigments Chlorophylliens	37
10. Traitement statistique des résultats.....	39

Chapitre IV: Résultats et Discussion

1. Essai de germination Dans les boîtes de pétri	40
1.1. Pourcentage de germination des graines	40
1.2. Longueur de la radicule	41
1.3. Longueur de la tigelle	42
2.Essai de croissance et de développement des plantes dans les pots.....	43
2.1. Surface foliaire	43
2.2. Nombre des feuilles	44
2.3. La longueur de la racine principale	45
2.4. Hauteur des plantes	46
2.5. Le poids frais de la partie aérienne et souterraine	47
2.6. Le poids sec de la partie aérienne et souterraine	49

2.7. La teneur en Chlorophylle.....50

Conclusion52

المخلص

Résumé

Abstract

Références bibliographiques

Annexe

Liste des abréviations

A. C. I. A: Agence Canadienne d'Inspection des Aliments

°C: Degré Celsius

Chl a: Chlorophylle a

Chl b: Chlorophylle b

Chla+b: Chlorophylle a+ b

Cm: Centimètre

FAO: Food and Agriculture Organization

I.T.G.C.: Institut Technique des Grandes Cultures

R: Répétition

SF: La surface foliaire

T°: Température en degré Celsius

MF: Matière fraîche

%: Pourcentage

G: Gramme

NO₃⁻: Nitrate

pH: Potentiel hydrogène

C.E.C.: Capacité d'Echange Cationique

C.E.: Conductivité électrique

Na⁺: Sodium

Ca²⁺: Calcium

Mg²⁺: Magnesium

N: Azote

P: Phosphore

K⁺: Potassium

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Morphologie d'un plant de blé	05
02	Histologique d'une coupe longitudinale d'un grain de blé	07
03	Cycle de développement du blé	10
04	Quelques maladies cryptogamiques de blé dur	16
05	Carte des zones arides dans le monde	22
06	Répartition des sols salins dans le Nord de l'Algérie	23
07	Essai de germination de blé dur	33
08	Essai de croissance dans les pots et sous serre.	35
09	Etapas de dosage de la chlorophylle	38
10	Pourcentage de germination (%) pour les différentes variétés de blé dur soumises aux différentes concentrations de Na Cl (0mM)	41
11	Longueur de la radicule (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations du NaCl (mM)	42
12	La longueur de la tigelle (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	43
13	La surface foliaire (cm ²) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	44
14	Le nombre des feuilles des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	45
15	Longueur de la racine principale (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	46
16	La hauteur de la plante (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	47
17	Le poids frais de la partie aérienne(g) des variétés du blé dur soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)	48
18	Le poids frais de la partie souterraine (g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	48
19	Le poids sec de la partie aérienne(g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	49
20	Le poids sec de la partie souterraine (g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	50
21	La teneur en chlorophylle des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	51

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Classification botanique du blé	06
02	Les principaux producteurs de blé mondiaux de 2016 à 2019 (en milliers de tonnes)	12
03	Maladies cryptogamique du blé dur en Algérie	14
04	Classification des sols salés	21
05	Répartition des salés dans le monde	22
06	Caractéristiques des variétés étudiées	32
07	Description du dispositif expérimentale de l'essai de germination dans les boîtes de pétri.	34
08	Description du disposition expérimentale de l'essai de croissance dans les pots	35

Introduction

Introduction

Dans la région méditerranéenne à climat aride ou semi-aride, l'eau constitue le principal facteur limitant l'extension et l'intensification des cultures céréalières. Les ressources en eau sont de plus en plus rares, et des eaux relativement salines sont de plus en plus utilisées dans l'agriculture. Parmi les céréales, le blé tendre (*T. aestivum*) et le blé dur (*T. durum*) sont économiquement les espèces les plus importantes qui se sont adaptées à des conditions naturelles très variées (**Alem et al., 2002**).

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est la deuxième espèce plus importante du genre *Triticum* après le blé tendre en tant que une source importante de protéines dans les pays en voie de développement. Les zones de production de cette espèce sont surtout localisées dans le bassin méditerranéen d'une part (Europe du Sud, Moyen orient, Afrique du Nord), et en Amérique du Nord d'autre part (Canada central et Nord des USA), où est produit le quart du blé dur mondial (**Clerget, 2011**).

En Algérie, les céréales constituent l'essentielle de la ration alimentaire quotidienne de la population et occupent une superficie de 3,3 millions d'hectares. 40% de ses surfaces sont destinées à la production de blé dur soit 1,35 millions d'hectares (**Selmi, 2000**). La production nationale en blé dur est encore faible, elle ne couvre que 20 à 25 % des besoins du pays, le reste étant importé (**Hamadache et al., 2002**).

Les cultures céréalières notamment celle du blé dur se trouvent exposées à de nombreux facteurs environnementaux qui limitent la production agricole, dont la salinité du sol est l'une des contraintes majeure qui affectent fortement la croissance végétale, en particulier dans les régions arides et semi arides.

Ces régions sont caractérisées par une forte irrégularité des précipitations associées à une importante évaporation favorisant l'accumulation des sels dans le sol. Ce phénomène affecte près de 7% de la surface globale dans le monde (**Lachhab et al., 2013**).

La salinisation du sol est fréquemment associée à la contrainte hydrique, elle réduit les surfaces cultivables et menace l'équilibre alimentaire mondial (**Derkaoui, 2011**).

Les effets de la salinité se manifestent par la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions(Na^+ et Cl^-) dans les tissus et un déséquilibre de la nutrition minérale dû surtout à des compétitions entre les éléments, le Sodium avec le Potassium et avec

le Calcium, le chlorure avec le Nitrate, avec le Phosphate et avec le Sulfate (**Soltani et al., 1990 ; Levigneronet al., 1995**). 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. Face à cette contrainte, beaucoup de plantes développent des mécanismes adaptatifs soit pour exclusion du sel de leurs cellules ou à la tolérer sa présence dans les cellules (**Parida et Das, 2005**).

La présente étude a pour objectif de comparer le comportement de quatre variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) soumises à des conditions de stress salin (0, 50, 100, 150, 200 mM de NaCl), afin d'évaluer leur tolérance vis-à-vis le stress salin, en estimant plusieurs paramètres liés à la germination des graines et la croissance des plantules suite à l'effet de l'exposition des graines à différentes doses de NaCl.

Chapitre I

Données

Bibliographiques sur

le blé dur

1. Origine du blé dur

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 (**Harlan, 1975**). Selon **Feldman (2001)**, le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran. La culture du blé s'est diffusée vers le Nord-Ouest par les plaines côtières du bassin méditerranéen et arrivé jusqu'au Balkans (URSS) puis en suivant la vallée du Danube (Allemagne) pour se fixer aussi dans la vallée du Rhin (France) entre 5000 ans et 6000 ans avant J.C. Les restes archéologiques montrent que le blé a atteint l'Ouest de l'Europe 5000 ans 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**).

Le blé dur est allotétraploïde (deux génomes: AABB), comptant au total 28 chromosomes ($2n=4x=28$), contenant le complément diploïde complet des chromosomes de chacune des espèces souches. Comme telle, chaque paire de chromosomes du génome A à une paire de chromosomes homéologues dans le génome B, à laquelle elle est étroitement apparentée, toutefois, durant la méiose, l'appariement des chromosomes est limité aux chromosomes homologues par l'activité génétique de gènes inhibiteurs. Les chercheurs ont identifié un certain nombre de gènes inhibiteurs, mais le gène Ph1 situé sur le long bras du chromosome 5B est considéré comme le gène inhibiteur critique (**Wall et al., 1971**).

Les espèces du genre *Triticum* se différencient par leur degré de ploïdie: blés diploïdes, à génome AA, blés tétraploïdes AA et BB, blés hexaploïdes AA, BB et DD, ainsi que par leur nombre de chromosomes qui sont respectivement, 14, 28 et 42 chromosomes (**Feillet, 2000**).

À partir du XIXe siècle, où une amélioration génétique raisonnée du blé fut entreprise sous l'impulsion de l'Europe, la création de programmes de sélection modernes et l'avènement d'une civilisation marchande à base industrielle aboutirent à une accélération des échanges de génotypes entre pays producteurs. Il s'en suivit un brassage important du patrimoine génétique du blé, qu'accéléra encore, entre autres, la création du Centre International pour l'Amélioration du maïs et du blé (CIMMYT) au XXe siècle (**Bonjean, 2000**).

2. Description générale de la plante

La plante du blé dur est une graminée annuelle de hauteur moyenne dont le limbe des feuilles est aplatie, L'inflorescence en épi terminal se compose de fleurs parfaites (**Soltner, 1998**) (Figure 01).

2.1. Le système racinaire

Le blé possède deux types de racines: les racines séminales ou primaires, issues de l'embryon et qui sont propres au maître-brin, et les racines secondaires ou adventives propres aux talles secondaires, ces racines prennent naissance des nœuds de la base et deviennent, plus tard, le système racinaire permanent de la plante. Selon **Boula et al. (2007)**, on compte normalement 5 à 8 racines séminales chez le blé tendre alors que chez le blé dur, en général il ne se forme que 6 racines. Les racines secondaires ou adventives du blé dur sont plus puissantes et descendent à des grandes profondeurs que celles du blé tendre (**Hamadache, 2013**).

2.2. Tiges et feuilles

Le blé dur possède une tige cylindrique, dressé, habituellement creuse et subdivisée en entre-nœuds, certaines variétés possèdent toutefois des tiges pleines (**Clarke et al., 2002**). Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale, le nombre de brins dépend de la variété, des conditions de croissance et de la densité de plantation. Dans des conditions normales, une plante peut produire en tout trois brins en plus de la tige principale (**Bozzini, 1988**). Les entre-nœuds sont séparés par des structures denses appelées nœuds d'où naissent les feuilles (**Soltner, 1988**). Ces dernières composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles (le limbe) et d'une extrémité pointue. Au point d'attache de la gaine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes) (**A.C.I. A., 2006**). La feuille terminale a un rôle primordial dans la reproduction (**Soltner, 1988**).

2.3. Fleurs et fruits

Les fleurs sont regroupées en une inflorescence composée d'unités morphologiques de base, les épillets, chaque épillet compte deux glumes (bractées) renfermant deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole (**Soltner, 1988**). Chez le blé l'autofécondation est le mode de

reproduction le plus répandu, chaque fleur peut produire un fruit sec indéhiscent à une seule graine, soit le caryopse, constitué d'une graine et de téguments. Sur l'épi, il est entouré d'enveloppes: les glumes et les glumelles qui n'adhèrent pas au grain et sont éliminées lors du battage. Sur le plan morphologique, le grain possède une forme ovoïde et est caractérisé par la présence d'un sillon qui s'étend sur toute la longueur de la face ventrale. Sur la face dorsale, le germe s'étend du pôle basal jusqu'au tiers de la longueur du grain, et à l'opposé, sur le pôle apical le grain est coiffé d'une brosse à peine visible à l'œil nu, la taille du grain est de 5 à 7 mm de long, de 2,5 à 4 mm de large et de 2,5 à 3,5 mm d'épaisseur et son poids varie entre 20 et 50 mg (Surget et Barron, 2005).

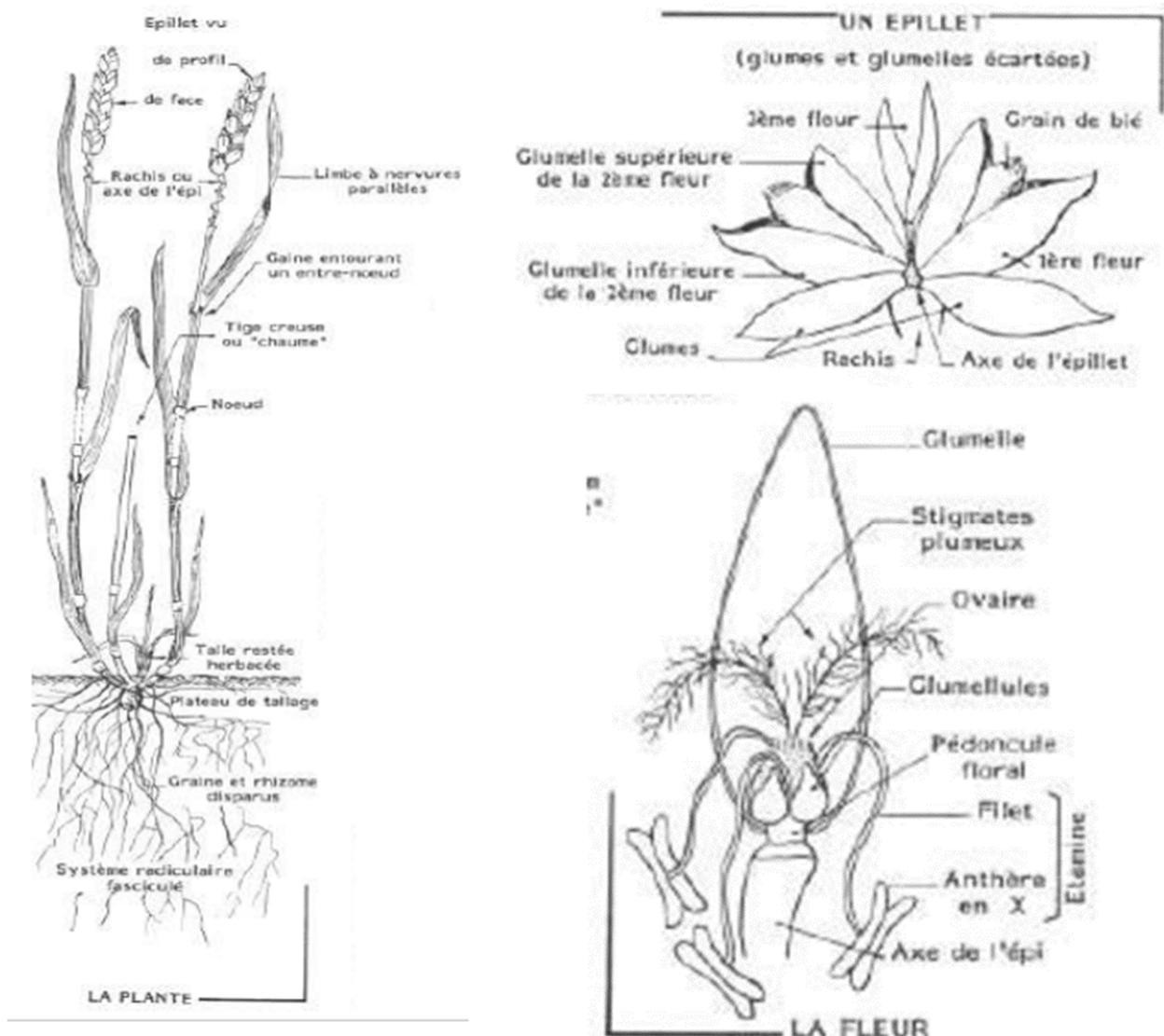


Figure 01: Morphologie d'un plant de blé d'après(Soltner, 1998).

3. Classification botanique

Le blé dur (*Triticum durum Desf.*) est une monocotylédone de la famille des graminées, de la tribu des Triticeae et du genre *Triticum* (A. C. I. A., 2006). D'après Chadefaud et Emberger (1960), une classification détaillée est illustrée dans le tableau ci-dessous (tableau 01):

Tableau 01: Classification botanique du blé dur.

Règne	Végétale
Embranchement	Angiospermes
Sous embranchement	Spermaphytes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Glumiflorales
Super ordre	Commeliniflorales
Famille	Gramineae ou Poaceae
Tribu	Triticeae
Sous-tribu	Triticinae
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>Triticum durum Desf.</i>

4. Structure du grain de blé

Le grain de blé est constitué de trois grandes parties: le germe, l'albumen et les enveloppes (figure 02).

A- Le germe

Il est composé d'un embryon (lui-même formé de coléoptile, de la granule de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum qui donnera le cotylédon (Feillet, 2000). Le germe est la partie du grain où le taux d'humidité et la concentration en lipides sont les plus importantes (Pomeranz, 1988). Il est riche en protéines (se sont des albumines et globulines) et en lipides et contient également des minéraux (Surget et Barron, 2005).

B- L'albumen

Constitue le plus important compartiment du grain et représente environ 80% de son poids (Pomeranz, 1988).

C- Les enveloppes

qui sont au nombre de six et forment 13-17 % de la graine: épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa, cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (Feillet, 2000).

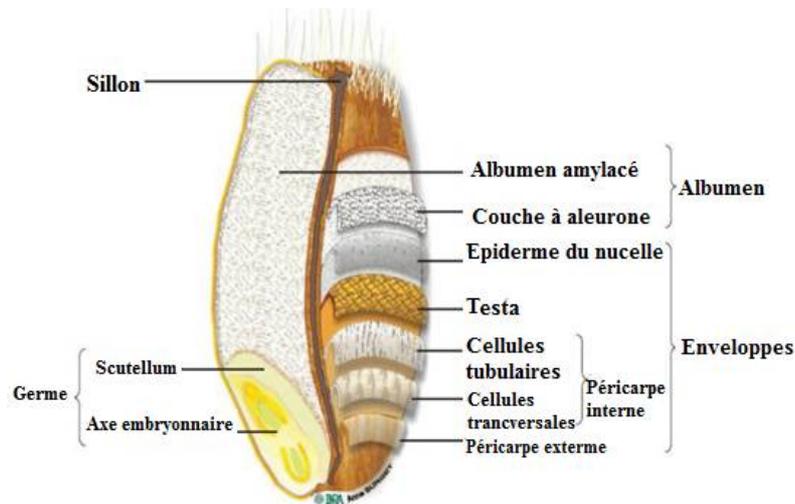


Figure 02: Histologie d'une coupe longitudinale d'un grain de blé (Surget et Barron, 2005).

5. Le cycle de développement du blé

❖ Germination- levée

La germination est caractérisée par l'imbibition de la semence, la réactivation des enzymes et la dégradation des réserves assimilables par l'embryon. Lors de cette phase, l'embryon augmente dans le volume par le phénomène d'hydratation et la radicule se dégage progressivement hors des enveloppes séminales (Binet et Brunel, 1999)(figure 03).

La levée est le passage à une vie autotrophe grâce à la chlorophylle contenue dans la première feuille, elle est notée lorsque 50% des plantes sont sorties de la terre, le taux de levée et sa vitesse dépendent de la faculté germinative de la semence, de l'état du lit de semence et du mode de semis (Hamadache, 2001). Durant cette première phase, le blé est très sensible aux conditions climatiques, l'excès d'eau en zones littorales et sublittorales et

le gel en zones des hautes plaines limitent l'enracinement et freinent la croissance (Hamadache, 2013).

❖ Début de tallage

C'est la ramification du mètre-brin, la première talle apparait à l'aisselle de la première feuille, d'autres talles primaires naissent à l'aisselle des 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} feuilles du mètre-brin, cette zone de ramification s'appelle le plateau de tallage, c'est à ce moment qu'apparaissent les racines adventives, ce sont des racines de tallage, ou coronales (Hamadache, 2001).

❖ Fin tallage

Le fin tallage correspond à la fin de la période végétative et le début de la phase reproductrice du cycle du blé, les méristèmes apicaux des tiges commencent à former des pièces florales au lieu des feuilles, le nombre final de talles est arrêté car la photopériode (longueur du jour) permet l'élongation des premiers entre-nœuds (Hamadache, 2001).

❖ Montaison

Durant cette phase, les entres-nœuds de la tige principale se détachent du plateau du tallage, ce qui correspond à la formation du jeune épi à l'intérieur de la tige (Belaid, 1987).

❖ Gonflement

La gaine de la dernière feuille se trouve gonflée par l'épi encore dans la tige, à ce stade, le blé a initié une vingtaine d'épillets par épi. Durant cette phase, la méiose pollinique commence et les grains de pollen s'élaborent, la méiose dure 1 à 2 jours, une baisse de température peut induire une stérilité des gamètes mâles et une élévation des températures (> 30°C) peut par contre engendrer une stérilité femelle (Hamadache, 2001).

❖ Epiaison

L'épiaison débute lorsque les premières barbes ou le sommet de l'épi deviennent visibles au-dessus du col de la feuille étendard, elle correspond à la sortie de 50% des épis de la gaine des dernières feuilles (Soltner, 1999).

❖ Floraison

La floraison s'observe à partir du moment où quelques étamines sont visibles dans le tiers moyen de l'épi, en dehors des glumelles. Quand les anthères apparaissent, elles sont jaunes, après exposition au soleil, elles deviennent blanches à ce moment-là, la fécondation est accomplie, le grain de pollen des blés est monoporéet sa dispersion est relativement faible. Le nombre de fleurs fécondées dépend de la nutrition azotée et d'une évapotranspiration modérée (**Soltner, 1988**).

Remplissage des grains**➤ grain laiteux**

C'est une phase de multiplication des cellules au niveau du jeune grain encore vert, en l'écrasant, il sort un liquide laiteux, la teneur en eau du grain est de 66%. C'est le début du pallier hydrique, un coup de chaleur accompagné d'un vent à ce moment, provoque l'interruption de la migration des réserves des feuilles et de la tige vers le grain: c'est l'échaudage du grain, et le rendement peut chuter de 50% (**Hamadache, 2013**).

➤ grain pâteux

Durant cette phase, les réserves migrent depuis les parties vertes jusqu'aux grains, la teneur en amidon augmente et le taux d'humidité diminue. Quand le blé est mûr, le végétal est sec et les graines des épis sont chargées de réserves (**Soltner, 1988**).

❖ Maturité complète

Après le stade pâteux, le grain mûrit, se déshydrate, il prend une couleur jaune, durcit et devient brillant. Ce stade est sensible aux conditions climatiques (**Soltner, 1988**).

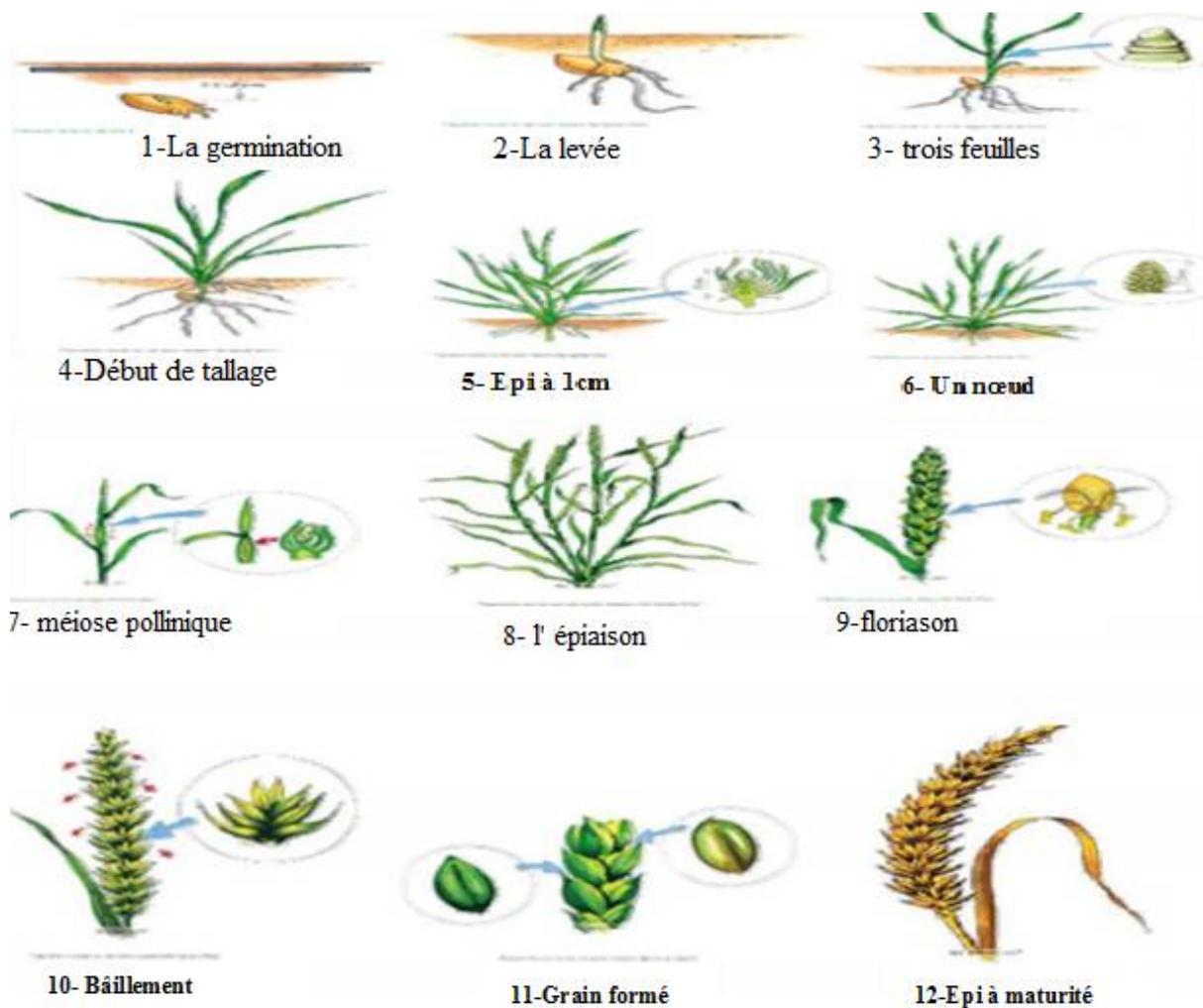


Figure03: Cycle de développement du blé (Blaid, 1996).

6. Exigences pédoclimatiques

6.1. Température

La majorité des variétés peuvent supporter un gel modéré pendant l'hiver si la plante est suffisamment développée. Par contre le blé ne supporte pas les fortes températures et les déficits hydriques en fin de cycle pendant le remplissage du grain. En effet, la température conditionne à tout moment la physiologie du blé, une température supérieure à 0 °C est exigée pour la germination, cependant, l'optimum de croissance se situe entre 20 et 26 °C. Un abaissement de la température pendant l'hiver est nécessaire à certaines variétés dite d'hiver, cette exigence conditionne la montaison et la mise à fleur (Clement et Prats, 1970).

6.2. La lumière

La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé. En effet, un bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement (**Soltner, 1990**).

6.3. L'eau

Le blé exige une humidité permanente durant tout le cycle de développement, la quantité d'eau demandée varie selon la sensibilité de chaque phase. Les besoins en eau sont estimés à environ 800 mm (**Soltner, 1988**).

6.4. Le sol

Le blé dur apprécie les sols limoneux, argileux calcaires ou les sols argileux siliceux profonds, il a besoin d'un sol sain, se ressuyant bien en hiver. Pour les terres peu profonds, il y a risque de sécheresse en période critique (phase de pallier hydrique). Du point de vue caractéristiques chimiques, les blés dur sont sensibles à la salinité, un pH de 6,5 à 7,5 semble indiqué puisqu'il favorise l'assimilation ce qui entrave la croissance et en particulier celle des racines (**Maachi, 2005**).

7. Importance de la culture de blé

7.1. Dans le monde

Les céréales constituent la composante de base de l'agriculture. Selon le centre international du commerce en 2017, la production mondiale du blé a atteint 735 Mt contre 752 Mt en 2016. Les perspectives pour la production mondiale de blé en 2017-2018 restent la plupart du temps bons avec une légère baisse de 2,7 % par rapport à l'an passé (**FAO, 2017**).

Le tableau ci-dessous présente les 12 principaux pays producteurs de blé au cours des années de commercialisation 2016/2017 à 2018/2019.

Tableau02: Les principaux producteurs de blé mondiaux de 2016 à 2019 (en milliers de tonnes).

Pays	2016/2017	2017/2018	2018/2019
États-Unis	62.833	47.371	51.287
Canada	31.729	30.000	31.800
Pakistan	25.633	26.674	25.500
Ukraine	26.791	26.981	25.000
Argentine	18.400	18.500	19.200
Turquie	17.250	21.000	19.000
Australie	30.363	21.300	17.000
Kazakhstan	14.985	14.802	15.000
Iran	14.500	14.000	14.500
Égypte	8.100	8.450	8.450
Maroc	2.731	7.092	7.340
Ouzbékistan	6.940	6.900	6.000

7.2. En Algérie

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette caractéristique est perçue d'une manière claire à travers toutes les phases de la filière (**Djermoun, 2009**).

La production nationale en blé dur est encore faible, elle ne couvre que 20 à 25 % des besoins du pays, le reste étant importé (**Hamadache et al., 2002**). Parmi les alternatives offertes pour améliorer la production de cette espèce figurent l'augmentation des superficies au détriment de celles du blé tendre et/ou de l'orge, l'irrigation d'appoint, l'adoption d'un itinéraire technique plus ambitieux, notamment en termes de désherbage et de fertilisation azotée et l'adoption de variétés adaptées à la variabilité climatique des divers milieux de production. La sélection pour la productivité est plus aisée, elle est basée sur le rendement ou sur la base des composantes, notamment le nombre d'épis/m² et le poids de 1000 grains. Le potentiel des génotypes issus de ce type de sélection ne s'exprime pleinement que sous conditions

favorables (Nouar et al., 2010). Sous conditions variables, ces variétés se montrent peu adaptées et présentent des interactions significatives avec les lieux de production. Ces interactions engendrent une irrégularité des performances de rendement d'une année à l'autre et d'un lieu à l'autre (Adjabi et al., 2007 ; Bendjamaa et al., 2014).

8. Contraintes de la culture du blé

➤ Contraintes climatiques

Les variations interannuelles de la production du blé sont dues principalement aux conditions climatiques qui varient chaque année et qui jouent un rôle dominant sur les fonctions de croissance et de développement (Gate, 1995).

➤ Température

Le froid constitue l'un des facteurs limitant la production du blé dur. Il a été démontré qu'une seule journée avec une température minimale inférieure à -4 °C entre le stade épi à 1cm et un nœud pénalise le nombre de grains par épi (Gate, 1995). Les gelées printanières, dans les hautes plaines et même dans les plaines d'intérieurs à basse altitude causent des pertes importantes par gels des épis au stade floraison (Hachemi et al., 1979).

Les hautes températures sont aussi parmi les facteurs intervenant dans la limitation du rendement. En effet, si une hausse de température survient au stade remplissage du grain, elle peut faire chuter le rendement de 50 % par l'échaudage (Chaker et Brinis, 2004).

➤ Contraintes techniques

Un faible taux d'utilisation des engrais, mauvais suivi des techniques culturales, utilisation des outils inadaptés et un étalement des semis au-delà des délais techniques requis, rendant ainsi les céréales vulnérables à tout éventuel stress hydrique, notamment en fin de cycle (Anonyme, 2008).

➤ Les contraintes économiques

Elles sont liées aux coûts de production élevés résultant de la cherté des facteurs de production et de matériel agricole, mais aussi à la disponibilité insuffisante des intrants en qualité et quantité dans les délais recommandés.

9. Les principales maladies du blé dur

Les céréales peuvent être attaquées par de multiples maladies durant leur cycle de développement, et subir des pertes de rendement importantes, surtout lorsque la variété utilisée est sensible et que les conditions de l'environnement sont favorables au développement des agents pathogènes et particulièrement les agents cryptogamiques qui causent des dégâts importants (Aouali et Douici-Khalfi, 2009).

Le tableau ci-dessous représente les symptômes et les moyennes de lutte de quelques maladies cryptogamiques affectant les céréales en Algérie en particulier le blé dur (figure 04).

Tableau 03: Maladies cryptogamiques du blé dur en Algérie (Aouali et Douici-Khalfi, 2009).

Maladies	Agent causal	Symptômes	Moyens de lutte
Septoriose	<i>Septoria tritici</i>	Apparition des tâches brun rougeâtres sur les feuilles inférieur, puis prendre une couleur gris clair. Après l'apparition des nécroses sur le feuillage, on observe des ponctuations noires qu'on appelle pycnides.	l'utilisation de variétés tolérantes, les rotations culturales, la fertilisation équilibrée, la destruction des résidus de culture et les traitements fongiques permettent de réduire le développement de cette maladie.
La rouille noire	<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Apparition des pustules longues, et de couleur rouge-brique à marron foncé, sur les feuilles, les tiges et les épis.	La rotation culturale, l'utilisation de variétés tolérantes et la lutte contre l'hôte alternatif se révèlent efficaces. La lutte chimique en préventif (avant l'apparition des symptômes).
La rouille jaune	<i>Puccinia striiformis</i> ,	Les pustules sont de forme globuleuse et de couleur jaune ou orange disposées en stries le long des nervures des feuilles. Elles peuvent aussi se développer sur la face inférieure des feuilles et sur les épis et les grains.	

La rouille brune	<i>Puccinia recondita</i> f. sp. <i>tritici</i>	Les pustules sont de forme circulaires ou ovales de couleur orange ou brune, apparaissent sur la face supérieure et parfois sur la face inférieure des feuilles, en fin de saison ces pustules prennent une couleur noire (téleutospores).	
L'oidium	<i>Erysiphe graminis</i> f.sp. <i>tritici</i>	Apparition d'un duvet blanchâtre ou gris pale sur les limbes des feuilles basales, puis sur les feuilles des étages supérieurs. en cas d'attaque sévère les taches apparaissent aussi sur les gaines des feuilles et les glumes des épis.	L'utilisation de variétés tolérantes, la rotation culturale et la fertilisation, équilibrée réduisent le risque de développement de l'agent causal.



La rouille jaune

La rouille brune



La rouille noire

Plants de blé attaqués par l'oidium

Figure 04: Quelques maladies cryptogamiques de blé dur (Aouali et Douici -khalfi, 2009).

Chapitre II

Généralités sur la salinité

1. Le stress chez les plantes

1.1. Définition du stress

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par ailleurs, la réponse du végétal dépend, entre autre, de ces paramètres environnementaux (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype) (**Hopkins, 2003**).

Selon Levitt (1980), le terme de stress désigne un facteur de l'environnement induisant une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant.

D'autres auteurs ont défini le stress comme toute condition de l'environnement ou combinaison de conditions qui empêche la plante de réaliser l'expression de son potentiel génétique pour la croissance, le développement et la reproduction (**Jones et Qualset, 1984**).

1.2. Types de stress

On peut distinguer deux types de stress dans la nature:

1.2.1. Le stress biotique

Ce terme représente la totalité des paramètres physico-chimiques ou biologiques qui découlent de l'existence de l'action des êtres vivants. Les facteurs biotiques caractérisent donc l'ensemble des influences qu'exercent les êtres vivants entre eux et sur leur milieu (**Ramade, 2003**).

1.2.2. Le stress abiotique

Il est dû principalement à des facteurs environnementaux comme la sécheresse, les températures extrêmes, excès d'eau et la salinité (**Hopkins, 2003**).

Levitt (1972), a défini le stress abiotique comme un facteur environnemental susceptible de déclencher chez les plantes des modifications chimiques ou physiques dommageables, ces modifications représentent la contrainte qui peut être plastique ou élastique. Différents types de stress environnementaux ont été distingués.

1.2.1.1. Le stress hydrique

Provoqué par un déficit en eau constituant une menace permanente pour la survie des plantes, néanmoins beaucoup d'entre elles produisent des modifications morphologiques et physiologiques qui leur permettent de survivre dans les régions de faible pluviosité et dont la teneur en eau des sols est peu élevée (**Hopkins, 2003**). Tandis que **Lamaze (1994)**, limite la définition du stress hydrique aux seules conditions correspondant à une hydratation suboptimale des tissus.

1.2.1.2. Le stress thermique

Selon **Hopkins(2003)**, la sensibilité des plantes aux températures extrêmes et très variables, certaines sont tuées ou lésées par des baisses modérées de température, alors que d'autres parfaitement acclimatées, sont capables de survivre au gel à des dizaines de degrés °C en dessous de zéro. Le stress par des températures élevées induit la synthèse d'un groupe de protéines de stress particulières.

1.2.1.3. Stress salin

Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sel dans le sol, le terme de stress salin s'applique surtout à un excès d'ions en particulier, mais pas exclusivement aux ions Na^+ et Cl^- (**Hopkins, 2003**).

Les teneurs élevées de NaCl diminuent l'absorption du potassium et du calcium et interfèrent avec leurs fonctions physiologiques (**Yoshiba, 2002**).

Le stress salin s'applique sur la plante sous deux types de contraintes. D'abord le sel provoque un effet osmotique, lorsque les racines sont en contact avec lui, puis il entraîne un stress ionique au niveau des feuilles lorsque la concentration en sel est élevée et devient toxique (**Munns et Tester, 2008**).

2. La salinité des sols

2.1. Définition de la salinité

La salinité est définie selon plusieurs auteurs comme la présence de concentrations excessives de sels solubles dans le sol ou dans l'eau d'irrigation (**Baiz, 2000 et Maatougui,**

2001). Ou lorsque les concentrations en Na, Ca, Mg sous formes de chlorures carbonates, ou sulfates sont présentes en concentration anormalement élevées (**Asloum, 1990**).

La salinité est actuellement l'un des facteurs qui affectent en grande mesure la fertilité et la productivité des sols, en diminuant le rendement des cultures, en particulier dans les zones méditerranéennes ou bien dans celles où les cultures dépendent de l'irrigation (**Middleton et Thomoa, 1992**). Elle constitue un facteur limitatif majeur de la productivité agricole, ces charges en sels soumettent les plantes à un stress permanent (**Gupta et Abrol, 1990**), et au delà d'une certaine concentration, elle a pour conséquence la dégradation des sols réduisant ainsi leur rendement (**richards, 1954**). La réponse à la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par un effet dépressif sur la croissance et le développement (**Munns et al., 1995**).

La salinité est reliée à la conductivité électrique du sol, mesuré en deciesmens par mètre (ds/m) ou en millimhos par centimètre (mmhos/cm). Les sols considèrent salins dès que la conductivité électrique dépasse 4ds/m à 15°C (**Richards, 1954**).

2.2. La salinisation des sols

La salinisation d'un sol est un processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol, il s'en suit d'une diminution des rendements et à terme, une stérilisation du sol. Près de 10 à 15% des surfaces irriguées (20 à 30 millions d'ha) souffrent, à des degrés divers, par des problèmes de salinisation, de plus 0,5 à 1% des surfaces irriguées sont perdues pour la culture chaque année (1,5 à 2 millions d'ha) (**Mermoud, 2006**).

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**).

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles, ou par la richesse de leur complexe absorbant en ions, provenant de ces sels et susceptibles de dégrader leurs caractéristiques et propriétés physiques, en

particulier leur structure. On parle en général d'un sol salin lorsque la concentration en sel de la solution du sol dépasse 0,5g/l (**Robert, 1996**).

2.3. Origines des sols salés

2.3.1. Origine primaire (naturelle)

La Salinisation primaire est liée à la présence naturelle relativement concentrée de sels à travers un long processus naturel de dégradation des roches salines (**Stengel et al., 2009**), par des facteurs physico-chimiques (vent, gel, dégel, et pluies les plus souvent acides, chargées en H₂CO₃) (**Duchaufour et al., 1979**) et des apports éoliens de sels des mers et océans (**Stengel et al., 2009**).

Dans les régions arides ou semi arides, le lessivage et le transport en profondeur de sels dissous n'existent plus et l'évapotranspiration importante favorise la concentration de sels dans le sol. Dans les régions côtières, l'intrusion d'eaux salées et la submersion des terres basses par l'eau de mer provoquent la salinisation de l'eau souterraine et celle des sols (**Lallemand-Barrés, 1980**).

2.3.2. Origine secondaire

Le phénomène de la salinisation secondaire lié à l'irrigation constitue une menace particulièrement grave mais très difficile à évaluer de manière correcte (**Stengel et al., 2009**). Cette salinisation se traduit par une accumulation de sels avec des effets sur les propriétés physico-chimiques du sol (dispersion des argiles, instabilité de la structure) et biologiques (effet sur le développement des plantes) par la pression osmotique (**Cheverry et Robert, 1998**).

2.4. Classification des sols salés

Selon **Duchaufour (1983)**, deux sous classes des sols salés halomorphes sont distinguées:

2.4.1. Sols salin à complexe sodique ou sols alcalins (les Solonetz)

Caractérisés par une saturation marquée en (Na⁺) et une accumulation de sels en profondeur. Ces sols se caractérisent par la présence d'une quantité importante de sodium qui dépasse les 15% de la C. E. C (capacité d'échange cationique). La conductivité

électrique (C.E) ne dépasse pas 4ds/m à 25°C et le pH est supérieur à 8,5. La relative abondance de l'ion sodium, dans la garniture ionique absorbant, peut avoir deux origines distinctes: Elle peut provenir du sodium libéré par l'altération de certains minéraux alcalins, ou peut résulter d'une saturation progressive du complexe en sodium, aux dépens d'une solution saline (Duchaufour, 1983).

2.4.2. Sols salins à complexe calcique (Solontcheks)

Caractérisés par une accumulation marquée des sels solubles en surface. Ces sols se rencontrent dans les zones à climat sec. Ils se caractérisent par un pH généralement inférieur à 8,5 et supérieur à 7 et le sodium n'y forme pas plus de 50% des cations en solutions (Dajoz, 1982) (Tableau 4).

Tableau 04: Classification des sols salés (Maillard, 2001).

Classe	Conductivité de l'extrait de sol saturé (ds/m)
Non salins	0 - 2
Légèrement salins	2- 4
Modérément salins	4 - 8
Fortement salins	8 – 16
Très fortement salins	>16

3. Répartition des sols salins dans le monde et en Algérie

3.1. Dans le monde

Selon FAO (2008), plus de 800 millions d'hectares de terres à travers le monde sont affectés par la salinité et parmi les 200 millions d'hectares irrigués, 45 millions sont affectés par la salinisation secondaire, ce qui représente plus de 6% de la surface du globe.

Les estimations de la superficie totale représentée par les sols salsodiques dans le monde sont très variables. Selon Szablocs (1994), la superficie affectée est estimée à environ 954832 millions d'hectares (Tableau 05). En Afrique, près de 40 Mha sont considérés comme des sols salins, soit près de 2% de la surface totale, en Tunisie 25%, en Afrique du sud environ 9%. Au

Proch-Orient, près de 92 Mha sont touchés, soit environ 5% de la surface totale. Au Pakistan, plus de 25% des surfaces irriguées sont salinisées (Machali et al., 2005)(Figure 05).

Tableau 05: Répartition des salés dans le monde (Szablocs, 1994).

Sols affectés par les sels des différents continents (10 ³ hectares)	
Amérique du Nord	15755
Mexique et Amérique centrale	1965
Amérique du sud	129163
Afrique	80608
Asie du sud	87608
Asie du Nord et du centre	211686
Asie du Sud- Est	19983
Australie	357330
Europe	50804
Totale	954832

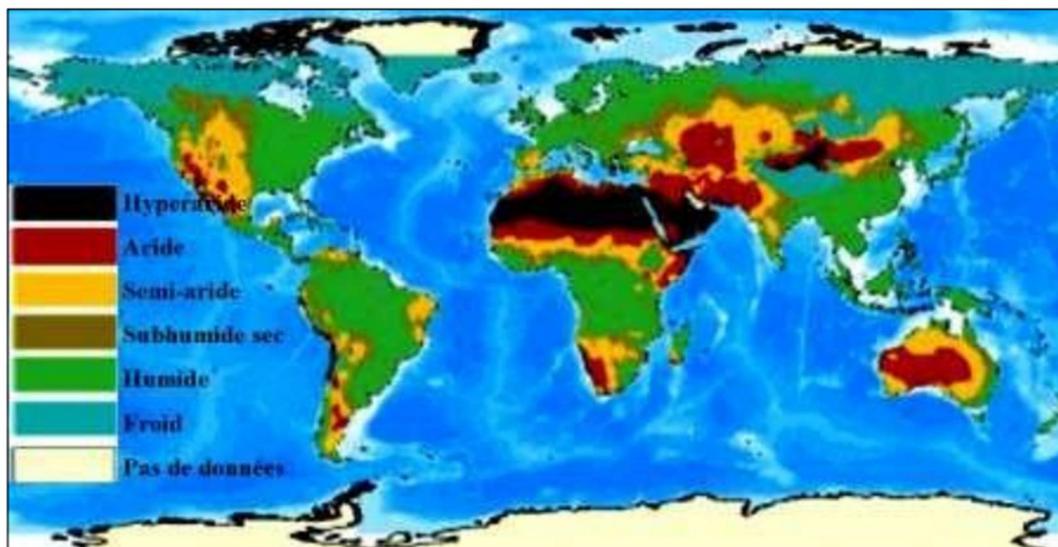


Figure 05: Carte des zones arides dans le monde (WRi, 2002).

3.2. En Algérie

En Algérie d'après **Szablocs (1989)**, 3,2 million d'hectares subissent à des degrés de sévérité variable, le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient.

Selon **Douaoui et Hartani (2008)**, plus de 20% des sols irrigués sont affectés par la salinité. Les sols salés sont très répandus en Algérie essentiellement dans les zones arides et semi-arides, des travaux effectués par différents auteurs montrent que la majorité des sols agricoles en Algérie sont affectés par les sels (**Haltim, 1985**).

Les sols salins se rencontrent dans les basses plaines et vallées d'Oranie, vallée de la Mina, près de Relizane par exemple, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains chotts comme le Chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions Sahariennes au Sud de Biskra jusqu'à Touggourt et Ouargla (**Aubert, 1982**) (Figure 06).

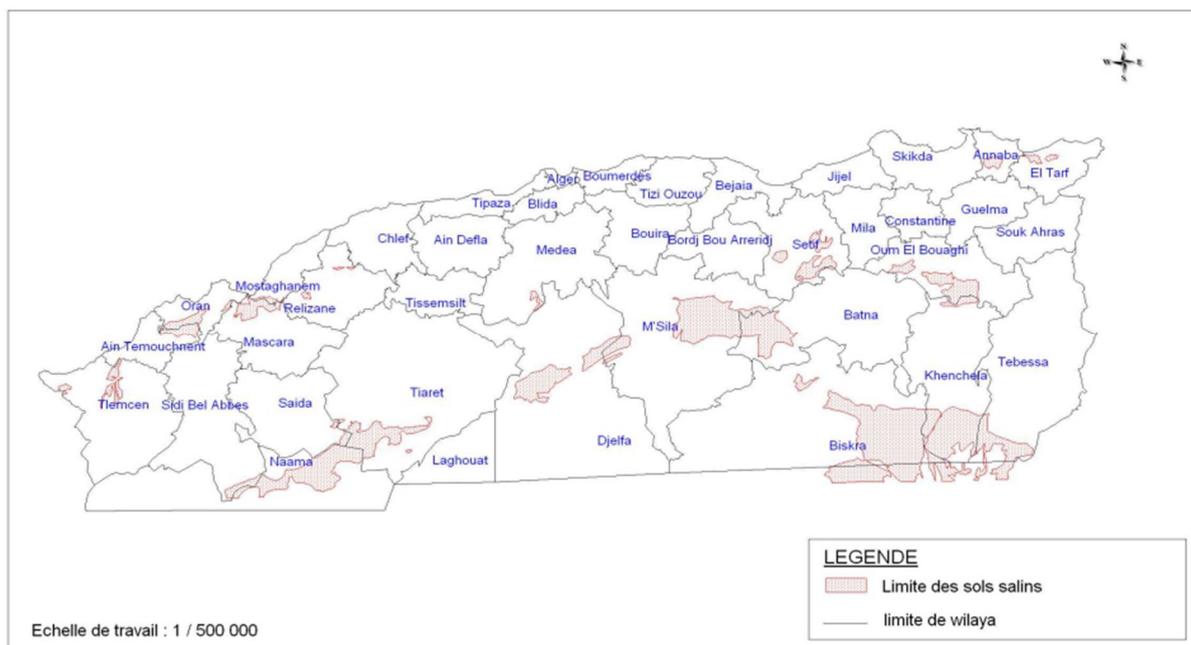


Figure 06: Répartition des sols salins dans le Nord de l'Algérie (**Insid, 2008**).

4. Effets de la salinité sur les plantes

4.1. Sur la germination

La plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée (**Maillard, 2001**). Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (**Ungar, 1978 et Kabbar, 1986**). Bien que les halophytes possèdent une teneur très élevée en sel dans leurs tissus au stade adulte, leurs graines ne sont pas aussi tolérantes au sel au stade germination (**Belkhodja et Bidai, 2004**).

Selon **Karmous (2007)**, La salinité agit également sur la germination en ralentissant sa vitesse, ce qui expose plus les semences aux risques. D'autres auteurs ont démontré que la présence du sel dans milieu inhibe la germination par son effet osmotique où il affecte tous les processus de germination suite à la baisse du potentiel hydrique autour des graines, ce qui rend l'eau inaccessible pour la réhydratation et la reprise de la vie active de l'embryon (**Maas et Poss, 1989**).

Le stade plantule est le plus altérable dans le cycle de vie de la plante, et c'est la germination qui détermine le temps et le lieu pour que la croissance de la plantule ébauche, ce stade de germination est souvent limité par la salinité du sol et se montre le plus sensible que les autres stades (**Said et al., 2011**). Selon **Rejili et al. (2006)**, les semences répondent au stress salin, en réduisant le nombre total des graines germées et en accusant un retard dans l'initiation du processus de la germination.

4.2. Sur la croissance et le développement

L'effet de la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par une réduction de la croissance et le développement (**Munns et al., 1983**).

Selon **Munns et Termaat (1986)**, la salinité 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**). Par ailleurs, il a été avéré que la salinité provoque 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**). De plus **Xu (1990)**, a démontré que la croissance foliaire est

généralement plus affectée par le sel que la croissance racinaire chez plusieurs espèces de plantes cultivées comme le blé. Les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol (**Jabnoue, 2008**).

D'autres études ont prouvé que les concentrations élevées de NaCl affectent également l'absorption de Ca^{2+} qui est relativement tolérante au sel, de même l'augmentation de la concentration en Na^+ s'accompagne d'une réduction de la concentration en Mg^{2+} , K^+ , N, P et Ca^{2+} dans la plante (**Levitt, 1980**). Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance en présence de sel lorsque des ions essentiels comme K^+ , Ca^{2+} ou NO_3^- deviennent limitant (**Soltani, 1988**).

4.3. Sur l'eau dans la plante

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

4.4. 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 le chlorure de sodium 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**). Par ailleurs, **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. De même, le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique au niveau des membranes cellulaires, affectant ainsi leur stabilité (**Alem et Amri, 2005**).

4.5. Sur la photosynthèse

La croissance des plantes dépend de la photosynthèse. Les stress environnementaux affectent la croissance ainsi que la photosynthèse (**Taiz et Zeiger, 1998**). Des études entreprises par de nombreux auteurs sur différentes espèces végétales ont démontré que la capacité photosynthétique est déprimée par la salinité (**Ashraf, 2001**). Cet effet dépressif est dû aux effets complexes d'interactions osmotiques, ioniques, et nutritionnelles (**Rasanen, 2002**), ce qui a pour origine d'une diminution de la croissance. Par ailleurs, il a été remarqué que l'accumulation du carbone par les plantes est très affectée par la salinité à cause d'une réduction de l'indice foliaire (**Munns, 1993**).

De même, 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 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 (**Munns et Termatt, 1986**), et un arrêt de l'activité photosynthétique à été enregistré 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**).

Chez diverses espèces plus ou moins résistantes, un taux élevé de sucres totaux résultant du blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une grande hydrolyse de l'amidon (**Asloun, 1990**).

4.6. Sur la nutrition minérale des végétaux

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes: la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes (**Levigneron et al., 1995**). De même, il a été révélé que l'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^+ pour les mêmes sites de fixation apoplasmique (**Jendoubi, 1997**).

4.7. Sur le métabolisme de l'azote

La nitrification est aussi touchée par la salinité. En effet, la vitesse d'oxydation biologique de l'ammonium est ralentie en fonction du degré de salinité dans le sol, il en est de même de la vitesse d'apparition des nitrates NO_3^- . L'oxydation de l'ammonium est totalement inhibée en présence de salinité excessive, et il n'y a pas apparition de l'ion nitrate (NO_3^-) (Salam, 2004).

4.8. Sur l'anatomie de la feuille

D'après l'étude de Parida et Das (2005), le stress salin affecte considérablement l'anatomie de la feuille en augmentant l'épaisseur du mésophyle et de l'épiderme ainsi que l'espace intercellulaire diminue significativement dans les feuilles traitées avec le NaCl chez la mangrove. Par ailleurs, le stress salin cause le développement de la vacuolisation et un gonflement partiel du réticulum endoplasmique, le gonflement de la mitochondrie, la vésiculation et la fragmentation du tonoplaste, ainsi que la dégradation du cytoplasme par le mélange de la matrice cytoplasmique et vacuolaire des feuilles de la patate douce (*Ipomoea batatas*).

4.9. Sur le rendement agronomique

La salinité diminue le rendement le plus souvent en réduisant le nombre de pointes portant les épis, le poids de l'épi et le poids de 1000 graines. Le rendement des plantes diminue nettement avec l'augmentation de la concentration en sels, et ce degré de sensibilité diffère d'une espèce à autre (Aslam *et al.*, 2004).

Munns et Rawson (1999), ont signalé que tous les paramètres de rendement subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit.

5. Mécanismes de résistance au stress salin

5.1. La compartimentation vacuolaire

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

cellule parvient à maintenir une faible concentration de sodium dans le cytoplasme minimisant ainsi son effet toxique, et d'autre part, l'augmentation concomitante de la concentration de sodium dans la vacuole va engendrer une forte pression osmotique qui va favoriser l'absorption d'eau et donc améliorer la turgescence des cellules (**Glenn et al., 1999 ; Apse et Blumwald, 2007**). La compartimentation du NaCl dans les vacuoles représente le mécanisme principal de détoxification du sel chez les halophytes (**Borsani et al., 2003**). Tandis que les glycophytes ont recours aux mécanismes d'exclusion du sodium des cellules (au niveau de la membrane plasmique) des parties aériennes vers les racines (**Munns, 2002**).

5.2. Exclusion des ions toxiques

L'autre stratégie permettant aux plantes de survivre en conditions de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique (**Blumwald et al., 2004 ; Munns, 2005**). Selon **Shubert et Lauchli (1986)**, l'exclusion du sodium s'opère à deux niveaux, d'une part à travers un mécanisme qui restreint l'assimilation du Na⁺ par les racines de la plante en diminuant la perméabilité des cellules racinaires aux ions Na⁺ et d'autre part par l'exclusion du Na⁺. Le mécanisme d'exclusion du sodium est réalisé par l'action combinée d'une série de protéines de type SOS (salt overly sensitive) (**Zhu, 2003**). Ces protéines jouent un rôle primordial dans ce mécanisme d'exclusion de sodium vers le milieu extérieur (**Zhu, 2003**). De même, ce complexe protéique SOS interagit avec les transporteurs HKT1 (high affinity K⁺ transporter) (**Rus et al., 2001**), situé sur la membrane plasmique et qui sont responsables de la recirculation du sodium des feuilles vers les racines via le phloème (**Berthomieu et al., 2003 ; Hauser et Horie, 2010**).

5.3. Ajustement ionique

L'ajustement osmotique consiste à l'une des stratégies les plus importantes d'adaptation au stress salin et hydrique (**Yeo, 1983**).

Les végétaux sont capables de supporter le déficit hydrique engendré par le stress salin, en ajustant plus ou moins rapidement leur potentiel osmotique avec celui du milieu extérieur, de manière à maintenir un gradient de potentiel hydrique entre la plante et le milieu salin (**Greenway et Munns, 1980**). Cet ajustement peut être assuré par une augmentation des concentrations de potassium, outre celles des composés osmotiques compatibles (**Munns et Tester, 2008**). Une fois que la plante s'est ajustée osmotiquement au milieu salin et que sa

turgescence est restaurée, le déficit hydrique n'apparaît plus comme un facteur limitant la croissance sur milieu salin. (Munns et Termaat, 1986 ; Zhao et al., 1991).

6. Stratégies adaptatives des plantes face à la contrainte saline

6.1. La proline

Les teneurs en proline s'accroissent rapidement chez de nombreuses mono- ou dicotylédones soumises à un stress salin (Yoshida et al., 1999). La proline agit en tant que composé soluble compatible dans l'ajustement osmotique pouvant atteindre de fortes concentrations sans exercer d'effet toxique comme le cas des ions (Yancey et al., 1982 ; Silva-Ortega et al., 2008). Certaines études ont rapporté l'augmentation de la concentration de la proline chez les plantes stressées par apports celles sensibles, sa concentration est généralement plus élevée chez les plantes tolérantes que les plantes sensibles (Ashraf et Foolad, 2007). L'importance de la proline dans la tolérance à la salinité a été démontrée chez plusieurs lignées d'*Arabidopsis* hébergeant une construction antisens pour la proline déshydrogénase (Nanjo et al., 2003).

6.2. Le bêtaïne

La glycine bêtaïne est principalement présente au niveau des chloroplastes où elle joue une fonction vitale dans la protection des membranes thylakoïdes et par conséquent dans le maintien de l'efficacité photosynthétique (Ashraf et Foolad, 2007). Certaines plantes cultivées accumulent aussi ce composé lorsqu'elles sont soumises à un stress salin, c'est le cas de l'épinard, du tournesol, du blé, de l'avoine et du maïs (Levigneron et al., 1995 ; Ashraf et Foolad, 2007). La relation entre l'accumulation de bêtaïne et la tolérance au stress salin semblerait être liée à l'espèce, voire même au génotype (Ashraf et Foolad, 2007).

6.3. Les sucres solubles

L'accumulation des sucres et leurs dérivés principalement les alcools lors d'un stress salin a été prouvée chez plusieurs espèces végétales (Gilmour et al., 2000; Sheteer et al., 2001). Les sucres pourraient agir en tant qu'osmoticum, protéger des macromolécules spécifiques (enzymes) et contribuer à la stabilité des structures membranaires (Su et al., 1999 ; Chen et Murata, 2002 ; Bartels et Sunkar, 2005).

De même il à été démontré que la biosynthèse et l'accumulation de certains alcools tels que le mannitol chez des lignées de riz transgéniques étaient positivement corrélées avec la tolérance à la salinité (**Su et al., 1999**). Ainsi les travaux menés sur les molécules osmoprotectrices ont ouvert la voie à l'amélioration de la tolérance des plantes au stress salin, via le génie génétique (**Munns, 2005**).

Chapitre III

Matériel et méthodes

1.L'objectif de l'essai

Le présent travail a pour objectif de suivre le comportement de quatre variétés de blé dur (**Simeto, Gta dur, Vitron, Cirta**) soumises à de différentes concentrations du NaCl, afin d'évaluer leur tolérance vis-à-vis le stress salin, en se basant sur l'estimation de plusieurs paramètres morphosologiques. Dans cette vision, nous avons appliqué des doses croissantes de NaCl sur ces quatre variétés (50, 100,150et200mM), et un traitement n'ayant pas reçu le NaCl constitue le témoin.

2. Présentation du site de l'essai

L'essai a été mené au niveau de la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers de l'université8mai1945 de Guelma dans des conditions semi contrôlées (au laboratoire de botanique et sous serre en plastique).

3. Matériel végétal

3.1. Semences de blé dur

L'essai a été porté sur quatre variétés de blé dur largement cultivées en Algérie (**Simeto, Gta-dur, Vitron, Cirta**). Les semences utilisées pour évaluer l'impact des différents traitements de Na Cl sur la germination et les paramètres biométriques (Hauteur des plantes, longueur de la racine principale, biomasse fraîche et sèche de la tige et de la racine, nombre de feuilles, surface foliaire) et physiologiques (teneur en chlorophylle total) des variétés étudiées ont été fournies par l'Institut Technique de Grandes Cultures (I.T.G.C) de Guelma.

4. Origine et caractéristiques des variétés

L'origine, le type variétal et les caractéristiques de chaque variété sont regroupés dans le tableau (06).

Tableau 06: Caractéristiques des variétés étudiées (**Boufenar-Zaghouane et Zaghouane, 2006**).

Non	Origine	Type variétal	caractéristique
Simeto (V1)	Italie	Lignée pure	<ul style="list-style-type: none"> -Couleur de l'épi (demi-lache): blanche -Hauteur de la plante à maturité: entre 90 à 100 cm. -Cycle végétale: semi-précoce -Tolérante au froid, à la verse et à la Rouille jaune moyennement tolérante à la Rouille brune, à l'Oïdium et aux Septorioses. -Résistante aux Fusarioses et sensible à la sécheresse.
Gta dur (V2)	Cimmyt (Mexique)	Lignée pure	<ul style="list-style-type: none"> -Couleur de l'épi (compact): blanche -Hauteur de la plante à maturité: moyenne -Cycle végétale: précoce. -Résistante au froid, à la verse, à la sécheresse, à la Piétin verse, échaudage et aux maladies cryptogamiques (Rouille jaune et noire, l'Oïdium, Septoriose et aux Fusarioses) et moyennement résistante à la Rouille brune.
Vitron (V3)	Espagne	Lignée pure	<ul style="list-style-type: none"> -Couleur de l'épi (compact): blanche -Hauteur de la plante à maturité: entre 90 à 100 cm -Cycle végétale: semi-précoce -Résistante au froid, à la Piétin verse et à l'Oïdium et modérément résistante aux Fusarioses. -Tolérante à la verse et moyennement tolérante aux Rouilles(jaune, brune et noire). -Sensible à la sécheresse et peu sensible à la Piétin échaudage.
Cirta (V4)	Algérie	Lignée pure	<ul style="list-style-type: none"> -Couleur de l'épi (moyenne): blanche -Hauteur de la plante à maturité: moyenne -Cycle végétale: semi-précoce. -Tolérante au froid et à la sécheresse. -Résistante à la verse et modérément résistante aux Rouilles(jaune et brune), à l'Oïdium, Septoriose et aux Fusarioses.

5. Solution salées de Na Cl

les graines de blé dur ont été traitées par des concentrations croissances de NaCl: le témoin [0] mM,[50] mM, [100] mM, [150] mM et [200] mM , ces concentrations ont été inspirées des travaux de(Benderradji *et al.*, 2010) sur le blé tendre et de(Benidire *et al.*,2015) sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba* L.

6. Installation et conduite de l'essai

6.1. Essai de germination

Avant la mise à germer, les graines sont désinfectées à l'eau de javel, lavées abondamment à l'eau, puis rincées à l'eau distillée. Elles sont ensuite mises dans des boîtes de pétri stérilisées contenant du coton et recouvertes du papier filtre (Alaoui *et al.*, 2013)à raison de 10 graines par boîte. Chaque traitement est répété trois fois. L'essai s'est déroulé dans des conditions naturelles du laboratoire. Le pourcentage de germination des graines a été déterminé comme étant le rapport entre le nombre des graines germées et la totalité de grainesensemencées initialement. La germination est repérée par la sortie de la radicule hors des téguments de la graine dont la longueur est d'au moins de 2 mm (Sayar *et al.*, 2010) (Figure 07 ; Tableau 07).



Figure07: Essai de germination des graines de blé dur dans les boîtes de pétri (photo personnelle).

Tableau 07: Description du dispositif expérimentale de l'essai de germination dans les boîtes de pétri.

C0V1R2	C1V4R2	C2V1R1	C3V2R3	C4V2R3
C0V2R3	C1V3R2	C2V4R3	C3V3R1	C4V1R3
C0V2R1	C1V1R1	C2V2R3	C3V2R1	C4V1R2
C0V1R1	C1V4R3	C2V3R2	C3V2R2	C4V2R2
C0V3R2	C1V2R2	C2V2R2	C3V1R3	C4V4R3
C0V4R1	C1V1R2	C2V1R3	C3V3R2	C4V3R1
C0V1R3	C1V3R1	C2V1R2	C3V4R1	C4V2R1
C0V4R2	C1V4R1	C2V3R1	C3V1R2	C4V4R2
C0V2R2	C1V1R3	C2V3R3	C3V4R2	C4V1R1
C0V3R3	C1V2R1	C2V2R1	C3V4R3	C4V4R1
C0V4R2	C1V2R3	C2V4R2	C3V3R3	C4V3R3
C0V3R1	C1V3R3	C2V4R1	C3V1R1	C4V3R2

C:Concentration

V: Variété

R: Répétition

6.2. Essai de croissance

L'essai est réalisé dans des pots de taille moyenne et sous serre en plastique, afin d'évaluer avec le plus de précision l'effet du stress salin à doses croissantes sur les variétés de Blé dur utilisées dans cette expérimentation. Les pots sont remplis chacun de la tourbe, substrat commercial conforme à la culture des céréales, fournies par laboratoire de l'université et ses caractéristiques sont indiquées ci-dessous.

Le semis a été réalisé à raison de 20 graines par pot et pour chaque concentration. Chaque traitement contient trois répétitions (Figure 08 ; Tableau08).

Les pots témoins sont irrigués seulement à l'eau distillée pendant la période d'application du stress. Par contre les pots stressés sont irrigués par les solutions salines (50mM, 100mM, 150mM et 200mM).



Figure08: Essai de croissance dans les pots et sous serre (photo personnelle).

Tableau 08: Description du dispositif expérimental de l'essai de croissance dans les pots et sous serre.

Variété 01: Simeto

C0V1R1	C0V1R2	C0V1R3
C1V1R1	C1V1R2	C1V1R3
C2V1R1	C2V1R2	C2V1R3
C3V1R1	C3V1R2	C3V1R3
C4V1R1	C4V1R2	C4V1R3

Variété 02: Gta-dur

C0V2R1	C0V2R2	C0V2R3
C1V2R1	C1V2R2	C1V2R3
C2V2R1	C2V2R2	C2V2R3
C3V2R1	C3V2R2	C3V2R3
C4V2R1	C4V2R2	C4V2R3

Variété 03: Vitron

C0V3R1	C0V3R2	C0V3R3
C1V3R1	C1V3R2	C1V3R3
C2V3R1	C2V3R2	C2V3R3
C3V3R1	C3V3R2	C3V3R3
C4V3R1	C4V3R2	C4V3R3

Variété 04: Cirta

C0V4R1	C0V4R2	C0V4R3
C1V4R1	C1V4R2	C1V4R3
C2V4R1	C2V4R2	C2V4R3
C3V4R1	C3V4R2	C3V4R3
C4V4R1	C4V4R2	C4V4R3

7.Caractéristique de substrat

Le substrat de base (tourbe de sphaigne) est caractérisé par:

- Un taux de matière sèche exprimée en pourcentage en masse de produit brute: 35%
- Un taux de matière organique exprimée en pourcentage en masse de produit brute: 35%
- pH (H₂O): 5.8-6.8
- Résistivité: 25000 Ohm /cm
- Rétention en eau: 80vol%

Chaque variété est représentée par 15échantillons (5 concentrations de NaCl en3répétitions /variété). Aussi bien pour l'essai de germination en boîtes de pétri et l'essai de croissance dans les pots.

8. L'irrigation

L'irrigation par les différentes concentrations salines, pendant les deux stades germination et croissance est faite en fonction de la capacité au champ déterminée préalablement pour les boîtes de pétri contenant une fine couche de coton recouverte avec du papier filtre, et pour les pots contenant de la tourbe. L'irrigation a été régulièrement une fois par jours.

9. Paramètres étudiés

9.1.Paramètres relatifs à la germination des graines

9.1 .1. Essai en boîtes de pétri

Trois Paramètres ont été estimés (après 7jours de l'application du stress).

- Le taux de germination des graines(%)
- Longueur de radicule (cm)
- Longueur de tigelle (cm)

9.2. Paramètres relatifs à la croissance et le développement

9.2.1. Hauteur des plantes

Exprimée en cm, a été mesurée pour les différentes variétés traitées par des concentrations croissantes de NaCl, après 21 jours de l'application du stress à l'aide d'un mètre ruban et à partir du niveau du sol à la pointe de la plus longue des feuilles.

9.2.2. Nombre de feuilles

Le nombre de feuilles a été comptabilisé sur un sous-échantillon de 3 plantes par répétition et par Traitement.

9.2.3. Longueur de la racine principale

Nous prélevons trois plantes pour chaque variété en chaque concentration de Na Cl, puis nous avons procédé en une séparation des parties aériennes et souterraines, les racines sont rincées par un courant d'eau et épongées entre deux papiers filtres. La longueur de la racine principale est mesurée à l'aide d'un mètre ruban (cm) à partir du collet jusqu'à son extrémité inférieure.

9.2.4. Poids frais des parties aériennes et souterraines

Après la séparation de parties aériennes et souterraines, les deux organes sont placés rapidement dans du papier aluminium préalablement taré, puis la masse de matière fraîche a été mesurée à l'aide d'une balance de précision.

9.2.5. Poids sec des parties aériennes et souterraines

Les organes des plantes utilisés pour déterminer le poids frais des parties aériennes et souterraines, pour les différentes variétés ont été mis dans l'étuve à 105°C pendant 24h pour déterminer le poids sec.

9.2.6. La surface foliaire SF

La surface moyenne de la feuille la plus développée (avant dernière feuille = la plus jeune adulte feuille), est déterminée à partir d'un échantillon de dix plantules par traitement, par la formule suivante:

$$SF(\text{cm}^2) = L \times I \times 0,709$$

L: la longueur moyenne des limbes des 10 feuilles

I: la largeur moyenne des limbes des 10 feuilles

0.709 représente le coefficient de correction, étant donné que la feuille a une forme triangulaire (Mefti *et al.*, 2008).

9.2.7. Dosage des Pigments Chlorophylliens

Les teneurs moyennes en chlorophylle a et b sont déterminées par la méthode de **Rao et le blanc (1965)**. L'extraction de la chlorophylle est réalisée par broyage de 0.5g de matière fraîche de la feuille de chaque échantillon qui est additionnée de carbonate de calcium et d'acétone (20ml à 80%). La solution obtenue est filtrée à l'abri de la lumière pour éviter l'oxydation de la chlorophylle. On procède ensuite aux mesures spectrophotométriques à deux longueurs d'onde ($\lambda_1 = 645$ et $\lambda_2 = 663$ nm). (Figure 09) Le calcul de la qualité de la chlorophylle est obtenu par la formule suivante :

Chla: $12,7 (\text{DO } 663) - 2,69 (\text{DO } 645)$.

Chlb: $22,9 (\text{DO } 645) - 4,86 (\text{DO } 663)$.

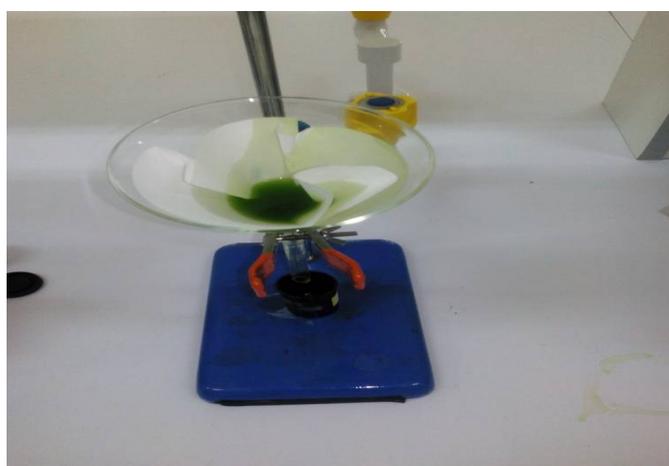
Chl a+b: $8,02 (\text{DO } 663) + 20,20 (\text{DO } 645)$.



Balance de précision



Mortier



Filtration de la solution



mesures spectrophotométriques

Figure 09: Etapes de dosage de la chlorophylle

10. Traitement statistique des résultats

Afin de déterminer la significativité des traitements appliqués sur les différents paramètres étudiés, nous avons procédé à une analyse statistique de la variance et à la comparaison des moyennes pour déduire la différence entre le témoin et les différentes concentrations en utilisant le logiciel Minitab 2017.

Chapitre IV

Résultats et discussion

1. Essai de germination dans les boîtes de pétri

1.1. Pourcentage de germination des graines

La Figure (10) affiche la variation du taux de germination des graines de blé des quatre variétés étudiées en fonction de doses croissantes de NaCl. Ces résultats montrent que la germination des graines de blé dur est très affectée par le stress salin, une diminution du taux de germination a été notée pour l'ensemble des boîtes traitées par les différentes concentrations de NaCl, et ce pour les quatre variétés étudiées.

En effet, l'intensification du stress salin est à l'origine d'une diminution considérable du taux de germination, notamment pour les deux variétés Gita-dur et Vitron à la concentration 150 mM (43.33 % et 43.33%) comparativement aux témoins non traités (93.33% et 93.33% respectivement).

Notant que la germination a été inhibée complètement chez toutes les variétés à la concentration 200 mM en comparaison avec les témoins non traités.

Selon **Hajlaoui et al. (2007)**, la diminution du pouvoir germinatif peut s'expliquer par une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol qui ralentit l'imbibition et limite l'absorption de l'eau nécessaire au déclenchement des processus métaboliques impliqués dans la germination.

D'autres auteurs ont attribué l'effet du sel sur la capacité germinative des grains de blé aux perturbations des systèmes enzymatiques impliqués dans les différentes fonctions physiologiques de la graine en germination, tels que la diminution de l'activité de polyphénol oxydase et amylase (**Slama et al., 1992**) et des peroxydases (**Iraida et al., 1999**). Tandis que **Prado et al. (2000)**, ont rapporté la diminution du taux de germination des graines soumises à un stress salin à un processus de dormance osmotique développé sous ces conditions de stress, représentant ainsi une stratégie d'adaptation à l'égard des contraintes environnementales.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction non significatif ($p>0.05$) (Annexe01).

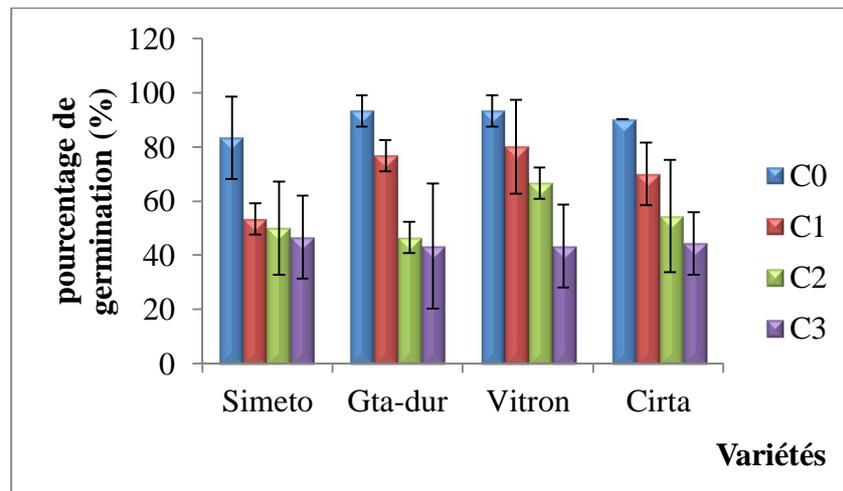


Figure 10: Pourcentage de germination (%) pour les différentes variétés de blé dur soumises aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

1.2. Longueur de la radicule

Les résultats illustrés dans la Figure (11) montrent que la longueur de la radicule est sérieusement très affectée par la contrainte saline. L'effet dépressif du sel sur ce paramètre est plus observé aux fortes concentrations de NaCl surtout à la concentration 150mM, d'où nous avons enregistré les valeurs moyennes de 0.50 et 0.52cm chez les variétés Simto et Vitro respectivement contre 9.16 et 7.92cm pour les témoins.

Ces résultats sont similaires à ceux de **Kadri et al. (2009)**, qui ont rapporté un effet dépressif du sel sur la longueur de la partie souterraine chez différentes accessions d'orge en fonctions de l'intensité du stress salin.

De même **Xue et al. (2004)** ; **Martinez et al. (2004)**, ont rajouté que L'absorption du NaCl par les graines provoque des effets toxiques sur la germination et par conséquent, empêche la croissance des racines.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction non significatif ($p>0.05$) (Annexe 06).

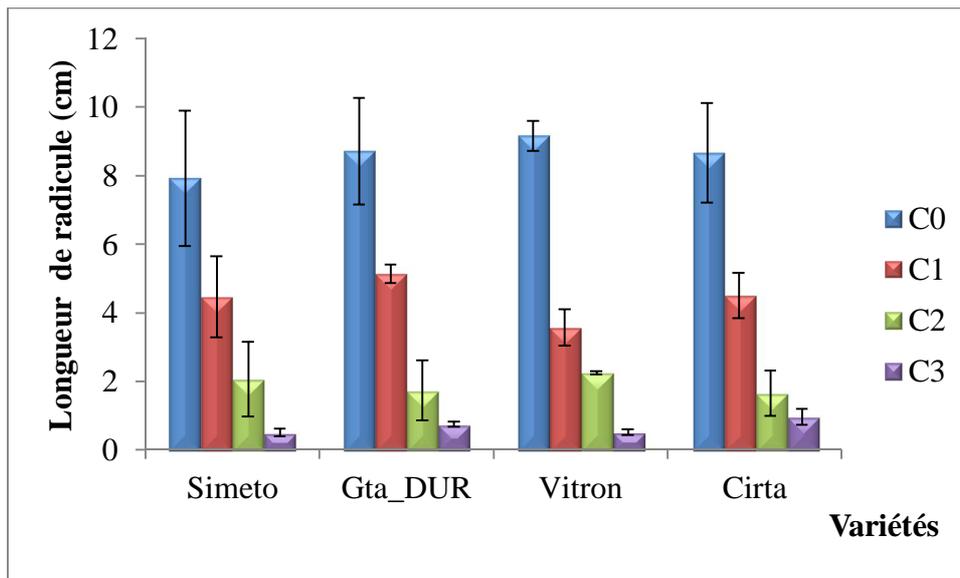


Figure 11: Longueur de la radicule (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations du NaCl (mM).

1.4. Longueur de la tige

D'après les résultats obtenus (Figure 12) il se démontre que la longueur de la tige est très influencée par l'application du stress salin et ce pour toutes les variétés étudiées.

Une diminution importante de la croissance de la tige a été enregistrée aux fortes concentrations du NaCl, notamment à la concentration 150mM d'où nous avons noté les valeurs moyennes 0.3 et 0.41cm chez les variétés Vitron et Cirta respectivement comparativement aux témoins non traités (11.15 et 9.27 cm).

Plusieurs études ont révélé l'effet nocif du sel sur la croissance de la tige dont celle de **Kadri et al. (2009)**, effectuée sur quelques variétés d'orge qui a montré que la longueur de l'épicotyle et de la racine est fortement influencée par le stress salin. De même **Ben Naceur et al. (2001)**, ont rapporté un effet variable de la salinité sur l'épicotyle de nombreuses variétés de blé.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction non significatif ($p>0.05$) (Annexe 11).

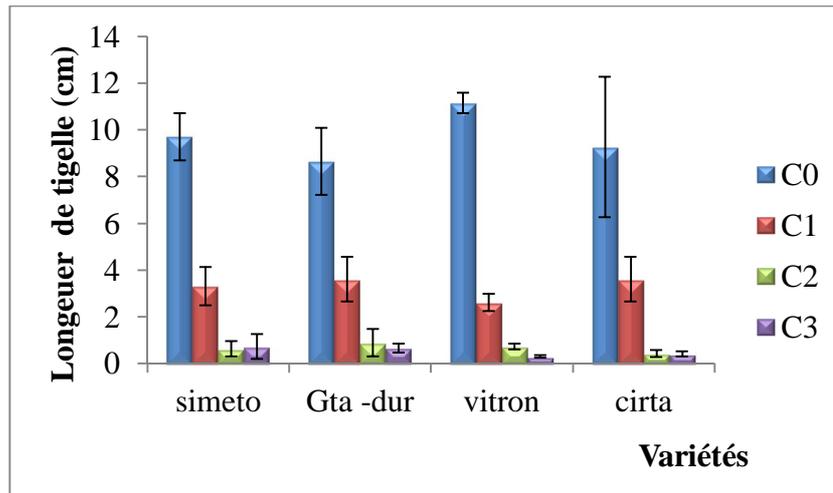


Figure 12: La longueur de la tige (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2. Essai de croissance et de développement des plantes dans les pots

2.1. Surface foliaire

La surface foliaire est également affectée par le stress salin. Les résultats de la Figure (13) montrent que toutes les variétés réagissent au stress salin par une réduction de leur surface foliaire. Ce pendant la variété Cirta présente une surface foliaire plus réduite que celle des autres variétés surtout à la concentration 200 mM avec une moyenne de 0.49 cm² contre 9.22 cm² en absence du stress salin.

La réduction de la surface foliaire observée dans notre étude a été également signalée par **Wang et Nil (2000)**. Ces mêmes auteurs soulignent que la réponse immédiate au stress salin est la réduction du taux d'expansion de la surface foliaire jusqu'à sa cessation avec l'augmentation des concentrations de sels. De même **Bennacer et al. (2001)**, ont rapporté une réduction de la surface foliaire chez quelques variétés de blé arrosées avec de l'eau salée.

Selon **Alem et al. (2002)**, la réduction de la surface foliaire, sous l'effet de la salinité, peut être également considérée comme étant une stratégie adaptative utilisée par les génotypes de blé dur et de blé tendre face à la contrainte saline.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction non significatif ($p>0.05$) (Annexe 46).

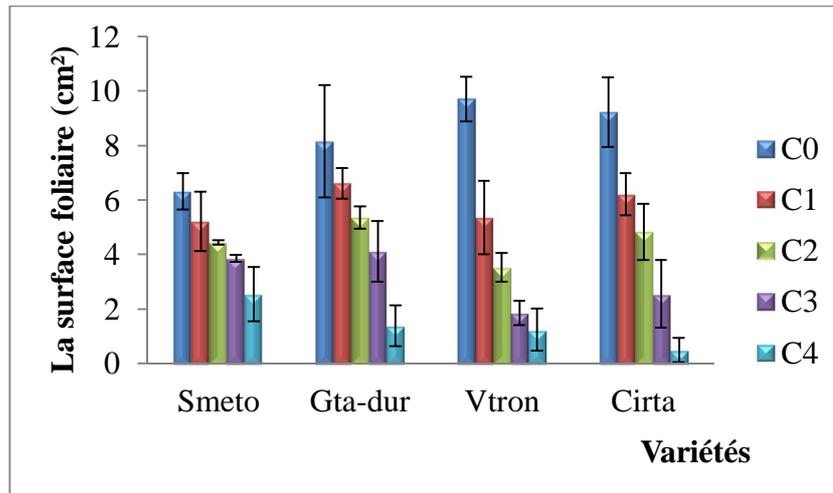


Figure 13: La surface foliaire (cm²) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.2. Nombre des feuilles

Globalement, le nombre des feuilles par plante (ensemble des thalles issus de même grain) se trouve réduit par la présence du sel dans le milieu notamment avec l'augmentation de la teneur en de NaCl. Cependant l'accroissement de la concentration en NaCl dans la solution d'arrosage provoque une augmentation du nombre des feuilles chez les deux variétés Gta-dur (150 mM) et Cirta (50 et 100mM), ceci peut être un caractère adaptatif chez certaines variétés de blé qui accélérerait la croissance pour la dilution du sel (Figure 14).

Selon **Neumann (1997)**, l'inhibition de l'expansion foliaire par le sel réduit le volume du tissu des feuilles et par conséquent limite la production de nouvelles feuilles. De ce fait, la réduction du nombre de feuilles est fortement liée à la réduction de la surface foliaire.

D'autres études rapportent aussi que le stress salin induit une réduction considérable du nombre de feuilles (**Kurban et al., 1999 ; Mehari et al., 2005 ; Silva et al., 2008**).

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration non significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction significatif ($p>0.05$) (Annexe 51).

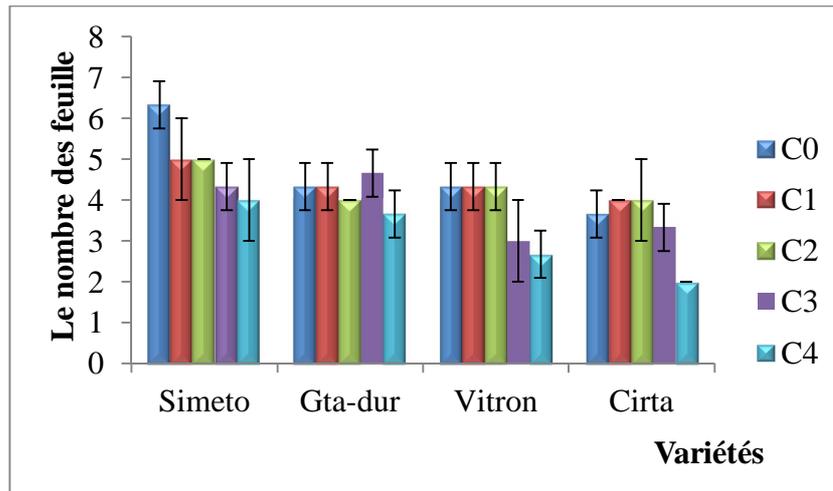


Figure 14: Le nombre des feuilles des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.3. La longueur de la racine principale

Les résultats relatifs à ce paramètre (Figure 15) ont montré que la longueur de la racine principale est diminuée chez les plantes stressées comparativement aux témoins.

Cette diminution est accentuée par l'augmentation de la concentration de NaCl notamment pour les variétés Vitron et Simeto d'où nous avons noté les moyennes de 5.6 et 6.33 cm respectivement à la concentration 200 mM contre 13.66 et 11.66 cm chez les témoins.

D'après **Mani et Hannachi (2015)**, la présence de chlorure de sodium dans le milieu de culture provoque une réduction de la longueur de la racine principale chez cinq variétés de piment (Tébourba, Korba, Somâa, Awlad Haffouz et Souk Jédid), cette réduction devient plus prononcée aux fortes concentrations de sel.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction non significatif ($p>0.05$) (Annexe 21).

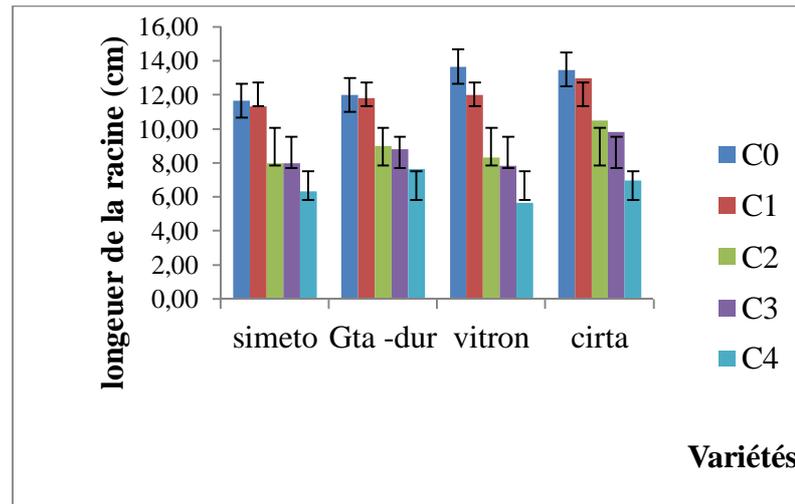


Figure 15: Longueur de la racine principale (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.4. Hauteur des plantes

L'examen des données concernant ce paramètre (Figure 16) montre que le stress salin influence fortement la croissance en hauteur des plantes. Une diminution de la hauteur des plantes a été enregistrée chez les plantes stressées comparativement aux témoins. Cette diminution varie selon la variété et l'intensité du stress. En effet les variétés Cirta et Vitron se montrent les plus affectées dont les valeurs enregistrées à la concentration 200mM sont de l'ordre de 6.66 et 8.16 cm contre (28.5 et 38.5cm) pour les témoins non traités.

Selon **Ashraf et Foolad (2007)**, la diminution de la longueur de la plante et de la surface foliaire serait la conséquence de la réduction de la taille des cellules exposées au stress salin. D'autres auteurs signalent que la hauteur de la plante diminue légèrement sous l'effet du stress salin pour atteindre sa valeur la plus faible à la plus forte concentration chez cinq variétés de piment (**Mani et Hannachi, 2015**).

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration non significatif ($p > 0.05$) et un effet variété et interaction non significatif ($p > 0.05$) (Annexe 16).

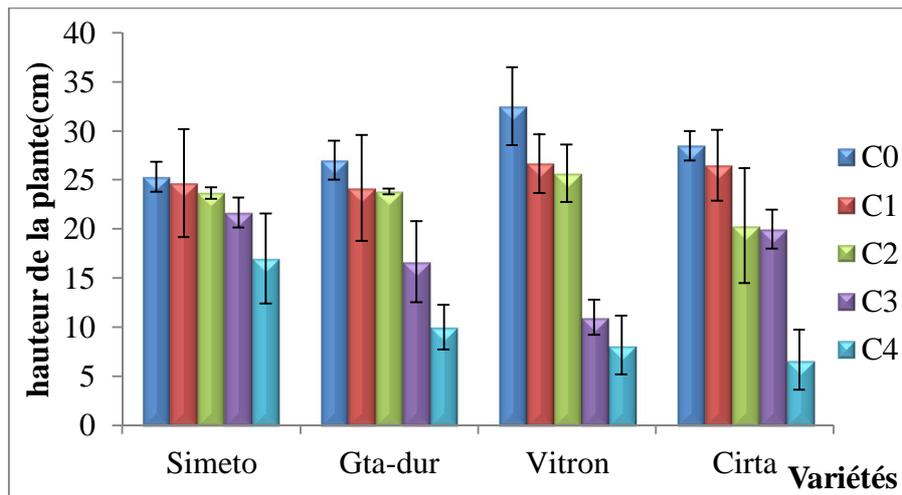


Figure 16: La hauteur de la plante (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.5. Le poids frais de la partie aérienne et souterraine

Concernant le poids frais de la partie aérienne et souterraine (Figure 17 et 18) le stress salin est à l'origine d'une diminution importante de ce paramètre chez les quatre variétés étudiées.

En effet, chez les deux variétés Gta-dur et Cirta, la réduction de la matière fraîche de la partie aérienne est plus prononcée aux concentrations élevées de NaCl d'où nous avons enregistré les valeurs moyennes de 0.05 et 0.06 g respectivement à la concentration 200mM par rapport aux témoins non traités(0.99 et 0.84 g).

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration non significatif ($p > 0.05$) et un effet variété et interaction significatif ($p = 0.000$) (Annexe 26).

De même, au niveau des racines, on note également des réductions similaires de la biomasse chez toutes les variétés. Cette réduction est d'autant plus importante que la contrainte saline est plus sévère. Ainsi les variétés Gta-dur et Vitron semblent les plus affectées à la concentration 200 mM dont la moyenne enregistrée est de 0.036 g chez les deux variétés en comparaison avec les témoins (0.59 et 0.70g).

Selon **Ferrara et al. (2011)**, la diminution de la matière fraîche sous stress salin est probablement due à une diminution de l'eau dans la feuille et du potentiel osmotique de la plante stressée.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration non significatif ($p > 0.05$) et un effet variété et interaction significatif ($p = 0.000$) (Annexe 31).

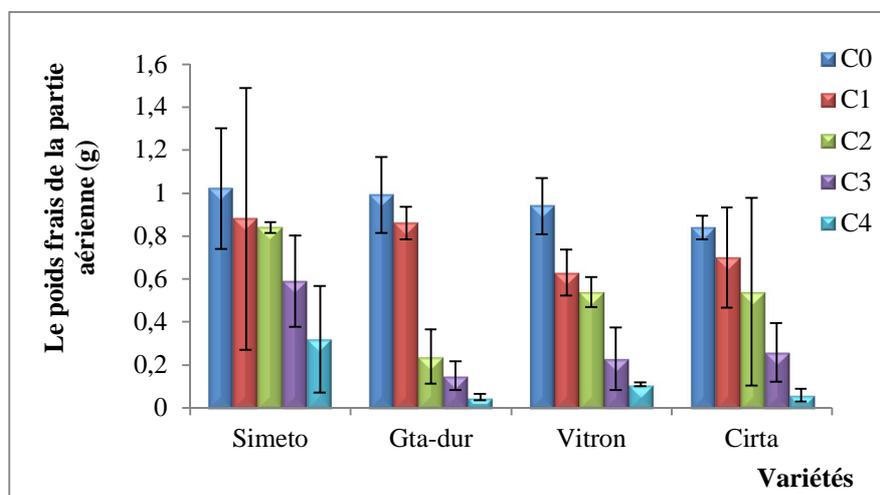


Figure 17: Le poids frais de la partie aérienne(g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

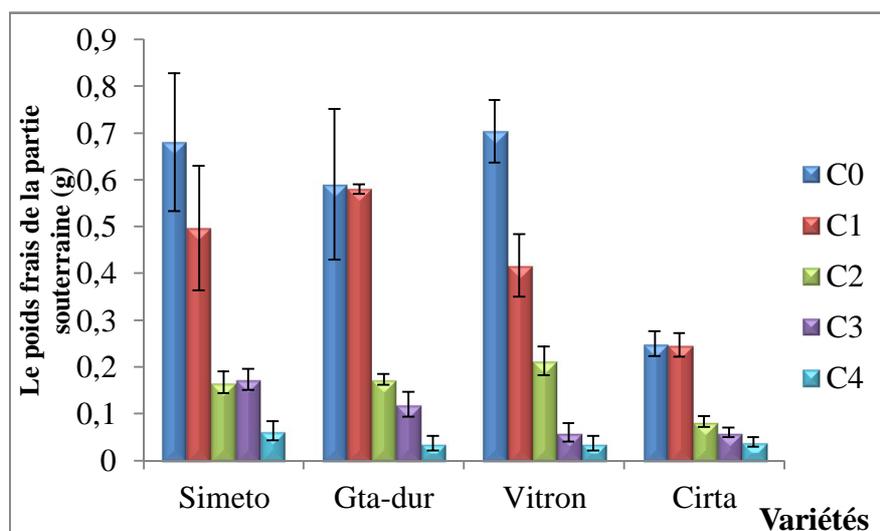


Figure 18: Le poids frais de la partie souterraine (g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.6. Le poids sec de la partie aérienne et souterraine

Les résultats de la (Figure 19 et 20)révèlent que la réduction de la matière sèche de la partie aérienne et souterraine augmente avec le traitement salin et cette réduction est plus importante aux fortes concentrations de NaCl. La valeur enregistrée pour ce paramètre à la

concentration 200 mM est de 0.006g de matière sèche de la partie aérienne chez la variété Cirta contre 0.15g pour le témoin non traité.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction non significatif ($p>0.05$) (Annexe 36).

Concernant la partie souterraine, les variétés Cirta et Gta-dur sont les plus affectées avec une moyenne de 0.007g (chez les deux variétés) en comparaison avec les témoins (0.10g pour les deux variétés).

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction non significatif ($p>0.05$) (Annexe 41).

Ce résultat est en accord avec celui de **Driouich et Rachidai (1995)**, sur deux variétés de blé dur cultivées au Maroc ("Kyperounda" et "Karim"). De même **Mguiset al. (2011)**, ont signalé une réduction de la matière sèche aérienne et racinaire sous l'effet du stress salin chez d'*Aegilops geniculata*Roth et blé dur.

Cette forte réduction de la biomasse (fraîche ou sèche) de la plante par exposition à NaCl a été notée également chez d'autres variétés de piment (**Khan et al., 2009**).

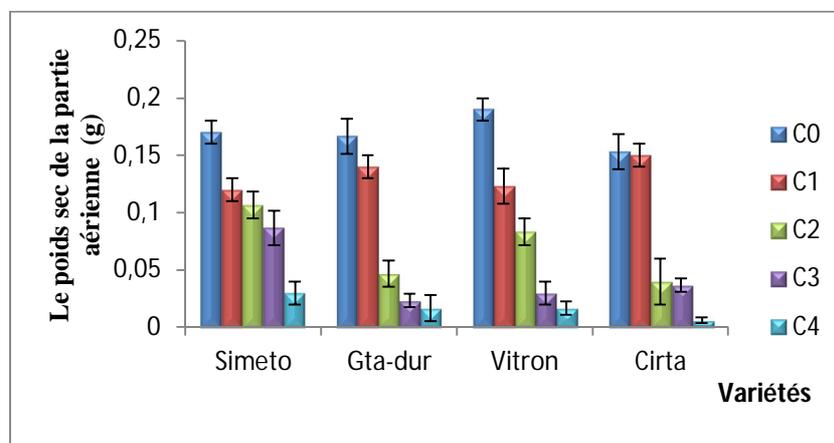


Figure 19: Le poids sec de la partie aérienne(g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

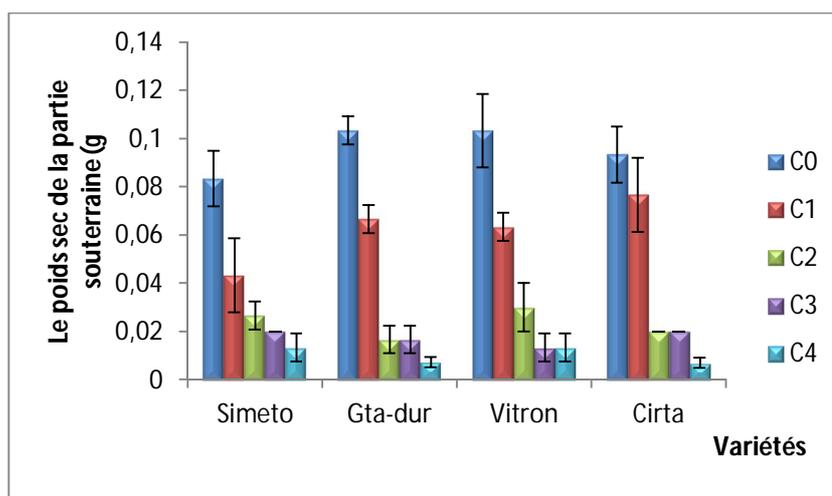


Figure 20: Le poids sec de la partie souterraine (g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.7. La teneur en Chlorophylle

Concernant la teneur en chlorophylle total, les résultats obtenus à l'issue de ce travail montrent que toutes les concentrations salines utilisées ont causé une diminution de la quantité des pigments chlorophylliens, et ce pour l'ensemble des variétés étudiées excepté la variété Simeto où une augmentation de la teneur chlorophyllienne a été enregistrée à la concentration 50 mM. Cette augmentation serait dans ce cas liée à l'accélération de la croissance, elle-même déterminée par les faibles concentrations de NaCl (**Lepengue et al., 2012**). L'effet du sel sur la teneur en pigments chlorophylliens est plus observé aux fortes doses de NaCl en particulier chez les variétés Cirta et Vitron pour lesquelles nous avons noté respectivement les moyennes de 15.40 et 22.30 $\mu\text{g/g}$ de MF à la concentration 200 mM par rapport aux témoins (17.63 et 22.53 $\mu\text{g/g}$ de MF) (Figure 21).

Ce résultat se concorde avec celui de **Elhousseine et al. (1998)**, qui ont obtenu une diminution des pigments chlorophylliens suite à un stress salin chez trois variétés de blé. De même **Shaheena et al. (2005)**, ont rapporté une diminution de la teneur en chlorophylle chez la moutarde soumise à un stress salin.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0.000$) et un effet variété et interaction significatif ($p=0.000$) (Annexe 56).

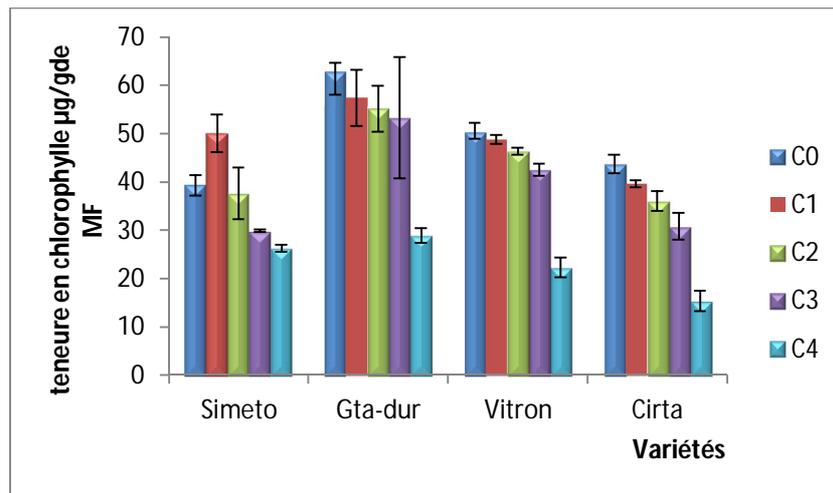


Figure 21: La teneur en chlorophylle des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Conclusion générale

Conclusion

Le but de notre travail consiste à étudier la germination et la croissance de quatre variétés de blé dur (Simeto, Gta -dur, Vitron, Cirta), en présence de différentes concentrations de NaCl afin d'évaluer leur tolérance vis-à-vis le stress salin.

L'étude expérimentale au laboratoire a mis en œuvre des tests de germination dans des conditions naturelles. Les principaux résultats obtenus montrent un effet peu marqué du stress salin sur le taux de germination pour des niveaux de salinité modérés, tandis que pour les niveaux élevés, le taux de germination pour les quatre variétés subit une diminution considérable notamment à la concentration 150 mM et au delà de ce seuil, une inhibition totale a été observée chez toutes les variétés étudiées.

De même, la présence du sel dans le milieu affecte également la longueur de la radicule et la longueur de la tigelle, et l'impact de la salinité était plus important lorsque la concentration en sel est plus élevée et ce pour l'ensemble des variétés étudiées.

Concernant l'essai de croissance, les résultats obtenus à l'issue de cette expérimentation ont révélé un effet dépressif du sel sur tous les paramètres morphologiques et physiologiques (la surface foliaire, le nombre de feuilles, la hauteur des plantes, la longueur de la racine principale, le poids frais et sec des parties aériennes et souterraines et la teneur en Chlorophylle). Ceci se traduit par une réduction de la croissance d'où nous avons enregistré une diminution en fonction de l'intensité du stress chez toutes les variétés étudiées, surtout aux fortes concentrations de NaCl.

D'une façon générale, et à partir des résultats obtenus des différents paramètres étudiés, nous pouvons admettre que l'application du stress salin à doses croissantes sur les différentes variétés de blé dur a montré une sensibilité vis-à-vis des concentrations du NaCl utilisées. Cependant, la variété Cirta semble la plus sensible que les autres variétés, pour laquelle la longueur de la tigelle, la surface foliaire, la teneur en chlorophylle et le poids frais et sec des parties aériennes et souterraines sont diminuées considérablement avec l'intensification du stress. Tandis que la variété Simeto présente le meilleur comportement et paraît la plus tolérante au stress salin avec des taux de réduction moins réduits par comparaison aux autres variétés, surtout pour la surface foliaire, la hauteur de la plante,

nombre de feuilles et poids frais et sec des parties aériennes et souterraines, ce qui lui permet d'être sélectionnée comme variété des zones contenant de fortes teneurs en NaCl.

En fin, ces résultats demeurent infimes et ne considèrent que comme des résultats préliminaires, pour cela il doivent être confirmé par d'autres essais en se basant sur les phénomènes de régulation osmotiques tels que le dosage des sucres solubles et de la proline et par des tests anatomiques pour bien cerner l'effet de la salinité sur les variétés étudiées.

Résumé

الملخص

تعتبر ملوحة التربة أحد العوامل الرئيسية التي تحد من نمو النباتات وتطورها.

الهدف من هذه الدراسة هو مراقبة سلوك أربعة أصناف من القمح الصلب (Simeto, Gta-dur, Vitron, Cirta) معاملة بتراكيز متزايدة من ملح كلوريد الصوديوم mM [0]، mM [50]، mM [100]، mM [150]، mM [200]، من اجل تحديد التأثير الضار للملوحة، وقد تم إجراء تجارب الإنبات داخل علب بيتري والنمو داخل أصص وتم اختيار العديد من المعايير المتعلقة بإنبات البذور ونمو النباتات.

بينت النتائج المتحصل عليها أن الإجهاد الملحي اثر سلبا على إنبات البذور ونمو النباتات. معظم المعايير المدروسة في الأصناف الأربعة تتناقص كلما زاد تركيز الملح في الوسط فيما يتعلق بإنبات البذور تسبب الإجهاد الملحي في انخفاض نسبة الإنبات، طول الجذير وطول السويق وكذلك في تجارب النمو طول النبات، طول الجذر الرئيسي، عدد الأوراق، المساحة الورقية، الوزن الطري والجاف للأجزاء الهوائية والترابية، وقد أظهر الصنف (Cirta) نوعا من الحساسية اتجاه الملوحة حيث انخفض بشكل ملحوظ طول السويق المساحة الورقية الوزن الطري والجاف للأجزاء الهوائية والترابية.

بينما يبدو الصنف (Simeto) هو الأكثر تحمل للملوحة وذلك من خلال النتائج المتحصل عليها لبعض المعايير المدروسة مقارنة مع الأصناف الأخرى وخاصة بالنسبة للمساحة الورقية، عدد الأوراق، وطول الجذر الرئيسي، والوزن الطري والجاف للأجزاء الهوائية والترابية والتي تم اختيارها لزرعتها وسط يحتوي على تركيز عالية من كلور الصديوم.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب، ملوحة، إنبات، نمو، NaCl.

Le Résumé

La salinisation des sols est considérée comme l'un des principaux facteurs limitant la croissance et le développement des plantes.

Cette étude a pour objectif de suivre le comportement de quatre variétés de blé dur (Simeto, Gta-dur, Vitron, Cirta) en milieu salin, en utilisant des doses croissantes de NaCl ([0] mM, [50] mM, [100] mM, [150] mM et [200] mM), afin d'évaluer leur tolérance vi-à-vis cette contrainte. Pour cela, des tests de germination dans les boîtes de pétri et de croissance dans les pots ont été effectués et plusieurs paramètres liés à la germination des graines et à la croissance des plantules ont été estimés.

Les résultats obtenus montrent que le stress salin affecte négativement la germination des graines et la croissance des plantules, d'où nous avons enregistré une réduction pour tous les paramètres mesurés et chez les quatre variétés étudiées, cette réduction s'accroît avec l'augmentation de la concentration en sel.

Concernant la germination des graines, le stress salin a provoqué une diminution du taux de germination, de la longueur de la tigelle et de la racine, on est de même pour les paramètres de croissance (hauteur des plantes, longueur de la racine, nombre de feuilles, surface foliaire et le poids frais et sec des parties aériennes et souterraines). Par ailleurs, la variété Cirta s'est montrée la plus sensible que les autres variétés, pour laquelle la longueur de la tigelle, la surface foliaire, la teneur en chlorophylle et le poids frais et sec des parties aériennes et souterraines sont diminués considérablement avec l'intensification du stress.

Tandis que la variété Simeto s'est montrée la plus tolérante au stress salin avec des taux de réduction moins réduits par comparaison aux autres variétés, surtout pour la surface foliaire, la hauteur de la plante, nombre de feuilles et poids frais et sec des parties aériennes et souterraines, ce qui lui permet d'être sélectionnée comme variété des zones contenant de fortes teneurs en NaCl.

Mots clé : *Triticum durum*, germination, croissance, stress salin, NaCl.

Abstract

Soil salinization is considered to be one of the main factors limiting plant growth and development.

The objective of this study is to track the behaviour of four saline durum varieties (Simeto, Gta-dur, Vitron, Cirta), using increasing doses of NaCl ([0] mM, [50] mM, [100] mM, [150] mM and [200] mM), to assess their tolerance for this constraint. For doing this, a germination tests in kneading, and growth cansin pots were carried out in which several parameters related to seed germination and seedling growth have been estimated.

The results obtained show that saline stress negatively affects seed germination and seedling growth, from which we recorded a reduction for all parameters measured, and in the four varieties studied, this reduction increases in salt concentration.

In regard to seed germination, saline stress has caused a decrease in the germination rate, the length of the shingle and the radical, the same is true for the growth parameters (plant height, root length, number of leaves, leaf surface and the cool, dry weight of the aerial and underground parts). In addition to, the Cirta variety has been the most sensitive than theother varieties, in which the length of the stool, leaf surface, chlorophyll content and the fresh, dry weight of the aerial and underground parts are significantly reduced the intensifying stress.

While the Simeto variety was the most tolerant of saline stress with reduced reduction rates compared to other varieties, especially for leaf surface, plant height, number of leaves and fresh, dry weight of the parts which allows it to be selected as a variety of areas containing high levels of NaCl.

Keywords: *Triticum durum*, germination, growth, saline stress, NaCl.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- **Adjabi, A. Bouzerzour, H. Lelarge, C. Benmahammed, A. Mekhlouf, A. and Hannachi, 2007.** A. Relationships between grain yield performance, temporal, stability and carbon isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under Mediterranean conditions. *Journal of Agronomy*, 6: 294-301.
- **Agastian, P. Kingsley, S.J. Vivekanandan, M. 2000.** Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica*, 38: 287-290.
- **Agence Canadienne d'Inspection des Aliments, 2006.** La biologie de *Triticum turgidum ssp. Durum* (Blé dur). Id, Bureau de la biosécurité végétale, 13p.
- **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.
- **Alem, C. M. Labhilili, K. Brahmi, M. Jlibene, N. Nasrallah, et Filali-Maltouf, A. 2002.** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C. R. Biologies*, 325: 1097-1109.
- **ANONYME, 2008.** L'Algérie a constitué des stocks stratégiques de blé pouvant couvrir la consommation nationale sur plusieurs mois. (<http://www.algerie-dz.com/article13807.html>).
- **Aouali, S. et douici-khalfi, A. 2009.** Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie, ITGC, El harrache, Alger, p 4-20.
- **Apse, M.P. and Blumwald, E. 2002.** Engineering salt tolerance in plants. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 13(2):146-150.
- **Ashraf, M. Foolad, M.R. 2007.** Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot.*, 59(2): 206-216.
- **Asloum H., 1990.** *Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, Lycopersicum 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.
- **Aubert, G. 1982.** les sols sodiques en Afrique du nord .Cahier O.R.S.T.O.M .Service Pédologie, 194-198.
- **Baize, D. 2000.** Guide des analyses en pédologie. 2ème édition. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris. 206-207.

- **Bartels, D. Sunkar, R. 2005.** Drought and salt tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 24(1): 23-58.
- **Belaid, D. 1987.** *Etude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé dur(Hedba3) en conditions de déficit hydrique*, Thèse de magistère. I.N.A. 108p.
- **Belaid, D. 1996.** Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. *Office des publications universitaires*, Ben-Aknoun. 1ère édition, 206 p.
- **Belkhodja, M. Bidai, Y. 2004.** Réponse des graines d'*Atriplex halimus* à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse*, 15(4): 331-335.
- **Ben Naceur, M. Rahmoune, C. Sdiri, H. Meddahi, M.L. Selmi, M. 2001.** Effet du stress salin sur la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse*, 12: 167-174.
- **Benderradji, L. Bouzerzour, H. Kellou, K. Ykhlef, N. Brini, F. Masmoudi, K et Djekoun, A. 2010.** Etude des mécanismes de tolérance a la salinité chez deux variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) soumises a un stress salin. *Sciences et Technologie*, 32:23-30.
- **Bendjama, A. Bouzerzour, H. and Benbelkacem, A. 2014.** Adaptability of durum wheat genotypes (*Triticum turgidum*L. var. *durum*) to contrasted locations. *Aust. J. Basic et Appl. Sci.* 8(6): 390 - 396.
- **Benidire, L. Daoui, K. Fatemi, Z.A. Achouak, W. Bouarab, L. Oufdou. K. 2015.** Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba*L. *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (3): 840-851.
- **Bennacer, R. Tobbal, A. Beji, H. Vasseur, P. 2001.** Double diffusive convection in a vertical enclosure filled with anisotropic porous media. *Int. J. Therm. Sci.* (40): 30-41.
- **Berthomieu, P. Conéjéro, G. Nublat, A. Brackenbury, W.J. Lambert, C. S avio, C. Uozumi, N. Oiki, S. Yamada, K. Cellier, F. Gosti, F. Simonneau, T. Essah, P.A. Tester, M. Véry, A.A. Sectenca, H. and Casse, F. 2003.** Functional analysis of AtHKT1 in *Arapidoopsis* shows that Na⁺ recirculation by the pkloem is crucial for salt tolerance. *EMBO J.*, 22(9): 2004-2214.
- **Binet, P. Brunel, J. 1999.** Physiologie végétale. Doin. 933-935.
- **Bizid, E. Zid, E. Grignon, C. 1988.** Tolérance à NaCl et sélectivité K⁺/Na⁺ chez les Triticales, *Agronomie*, 8(1): 23-27.
- **Bonjean, A.2000.** L'histoire des blés des Limagnes d'Auvergne. Ed. *Limagrain*, 98 p.
- **Bonjean, A.2001.** Les céréales à paille: origine, histoire, économie, Soft word - groupe ITM, paris: 208p.

- **Borsani, O. valpuesta, T. and Botella, M. 2003.** Developing salt tolerant plants in a new century: a molecular biology approach. *Plant cell tissue organ cult.*,73(2): 101-115.
- **Bouda, S. et Haddioui, A. 2011.** Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Revue de culture et technologie*. (5): 72-79.
- **Boukachabia, E. 1993.** Contribution à l'étude de quelques mécanismes morphologiques et biochimiques de tolérance à la salinité chez cinq génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Magistère production et physio Vég., Annaba, 108p.
- **Boulal, H. Zaghouane, O. EL Mourid, M. et Rezgui, 2007.** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. ITGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
- **Bozzini, A. 1988.** Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. Dans Fabriani G. et C. Lintas (éd). *Durum: Chemistry and Technology*. AACCC (Minnesota), États-Unis., p. 1-16.
- **Chadefaud, M. et Emberger, L. 1960.** Traité de botanique: Les végétaux vasculaires. Fasciculé Masson et Cie. Tome II, 753p.
- **Chaker, A. et Brinis, L. 2004.** Effet d'un stress thermique à la chaleur sur quelques traits biochimiques de quelque génotype de blé dur, 42:21-28.
- **Chen, T.H. Murata, N. 2002.** Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 5(3): 250-257.
- **Cherbuy, B. 1991.** Les sols salés et leur réhabilitation : Etude bibliographique. Cemagref, France: 170p.
- **Cheverry, C. Rbert, M. 1998.** La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau. *REVUE Etude et gestion des sols*, 5(4): 214-228.
- **Cheverry, C. Rbert, M. 1998.** La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau: une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement de pays au sud de la Méditerranée. *Étude et Gestion des Sols*, 5(4):217-226.
- **Clarke, J.M.Norvell, W.A. Clarke, F.R. et Buckley, T.W. 2002.** Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. *Can. J. Plant Sci. Revue canadienne de phytotechnie*, 82: 27-33.
- **Clement, G. et Prats, J. 1970.** Les céréales: Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed.351p.

- **Clement, M. et Prats. 1971.** Les céréales, collection d'enseignement agricole 2^{ème} Ed, Ballier France.360p.
- **Clerget, Y. 2011.** Biodiversité des céréales Origine et évolution: In La biodiversité des céréales et leur utilisation par l'homme. Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard. Extrait de la vidéoconférence du Service éducatif du Muséum Cuvier de la Ville de Montbéliard. La biodiversité des céréales et leur utilisation par l'homme, 1-16.
- **Creelman, R.A. Masan, H.S. Bensen, R.J. Boyer, J.S. Mullet, J.E. 1990.** Water deficit and abscisic acid cause differential inhibition of shoot versus root growth in soybean seedlings. *Plant Physiol.*, 92:205-214.
- **Dajoz, 1982.** Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquée Ed. Gauthier-Villiers paris. 503p.
- **Derkaoui, K. Mokhtar, 2011.** *Les réponses morphologiques, physiologiques et anatomiques des racines de la tomate (Solanum lycopersicum L.) vis-à-vis du stress salin.* Thèse de magister. Université d'Oran1, 80p
- **Dionísio and Paula, R. Silva, E.1992.** Growth of skipjack *Katsuwonus pelamis* from Mozambique. *Rev. Invest. Pesq. Maputo*, 21:98-105.
- **Djermoun, A. 2009.** La production céréalière en Algérie. Les principales caractéristiques. *Nature et Technologie*, 1: 45-53.
- **Douaoui, A. et hartani, T. 2008.** Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chellif. *Scientific commons*. 2(3): 9.
- **Driouich, A. et Rachidai, A. 1995.** Etude de l'effet du stress salin sur la croissance du blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Actes Inst. Agron.Vet.*, 16 (1): 33-40.
- **Duchauffour, P. 1979.** Pédologie tome 2, constituant et propriétés du sol, Ed. Masson. Paris, 459p
- **Duchauffour, P. 1983.** Pédologie pédogenèse et classification. Ed. Masson, 491 p.
- **El Houssine, T. Belabed, A. et Sadki, K. 1998.** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*), *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, 21: 81-87.
- **FAO.** Article publié le 06-04-2017.
- **Feillet, 2000.** Le grain de blé technique et documentation ITCF. Paris 429.

- **Feldman, M. 2001.** Origin of Cultivated Wheat. Dans Bonjean A.P. et W.J. Angus (éd.) *The World Wheat Book: à history of wheat breeding*. Intercept Limited, Andover, Angleterre, 3-58.
- **Ferrara, A.S. Lovelli, T. Di Tomasso, and Perniole, M. 2011.** Flowering, Growth and fruit setting in greenhouse Bell pepper under water stress. *Journal of Agronomy*, 10(1), 12-19.
- **Flowers, T. J. Troke, P.F. and Yeo, A.R. 1977.** The michanisms of salt tolerance in halophytes. *Annu. Rev. Plant.*, 28(1):89-121.
- **Gate, P. 1995.** Ecophysiologie du blé. Ed. ITCF. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris, 203:205-419.
- **Gilmour, S.J. Sebolt, A.M. Salazar, M.P. Everard, J.D. Thomashow, M.F. 2000.** Over expression of the Arabidopsis CBF3 transcriptional activator mimics multiple biochemical changes associated with cold acclimation. *Plant Physiol.*, 124(4): 1854-1865.
- **Girard, P. Prost, J. Bassereau, P. 2005.** Passive or Active Fluctuations in Membranes Containing Proteins *Phys. Rev. Lett.* 94: 60-64.
- **Glenn, S.J. Brown, J.J. and Blumwald, E. 1999.** Salt –tolerant mechanisms and crop potential of halophyte. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 18(2): 227-255.
- **Gupta, R.K. Abrol, I.P. 1990.** Salt-affected soil: Their reclamation and management for crop production. *Advances in Soil Science*. Springer-Verlag, New York. 11: 288.
- **Hachemi, M.M. Saidani, Bouattoura et Ait ameur, C. 1979.** Situation des céréales en Algerie. *céréaliculture*, 11:7-12.
- **Hajlaoui, H. Denden, M. et Bouslama, M. 2007.** Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum L.*) au stade germination. *Tropicultura*, 25 168-173.
- **Haltim, A. 1985.** *Contribution à l'étude des sols sales des zones arides (haute plaines steppique de l'Algérie), morohologie, distribution et rôledes sels dans la genése et le comportement des sols*, thèse doctorat Es.Sci. Univ. Reme., 384p
- **Hamadache, A. 2001.** Stades et variétés de blé, document de vulgarisation, ITGC, DFRV, alger, 22p.
- **Hamadache, A. 2002.** Evolution récente des principales ressources fourragères et possibilités d'amélioration en Algérie. *Céréaliculture*, 35: 13-20.

- **Hamadache, A. 2013.** Grande cultures: principaux itinéraires techniques des principales espèces de grandes cultures pluviales cultivées en Algérie et en Afrique du nord (agriculture conventionnelle), le blé, Tome 1, 1^{er} édition: 256p.
- **Harlan, J.R. 1975.** Our vanishing genetic resources. science, 188p.
- **Hauser, F. and Horie, T. 2010.** A Conserved primary salt tolerance mechanism mediated by HKT transporters: a mechanism for sodium exclusion and maintenance of high K⁺/ Na⁺ ratio in leaves during salinity stress. *plant cell Environ.* 33(4): 552-565.
- **Herve, Y. 1979.** Introduction à l'amélioration des plantes. Cours. École nationale supérieure agronomique de Rennes.
- **Hopkin, W.G. 2003.** Physiologie végétale traduction de la 2ed., américaine par serge rambour révision scientifique de Charles-Marie Evradr Boeck univ. Bruxelles .p 445-476.
- **Insid, 2008.**Caractérisation de l'état actuel de la salinité dans le périmètre irrigué de la Mina.
- **Iraida, A. Miguel, A.B, Mercedes, C. Maria, I.M. Antonio, H. Ray, A.B. Paul, M.H. Miguel, A.Q. et Victoriano, V. 1999.** Improved germination under osmotic stress of tobacco plants overexpressing a cell wall peroxidase. *FEBS Letters*, 457:80-84.
- **ITGC, 2016.** Institut Technique des Grandes culture.
- **Jabnoue, M. 2008.** Adaptation des plantes au Stress salin : caractérisation de transporteurs sodium et potassium de la famille HKT chez le riz.Thèse de doctorat, physiologie végétale et biologie moléculaire, France, 114p.
- **Jendoubi, S. 1997.** Contribution à la caractérisation physiologique et biochimique de parois racinaires chez 2 espèce de blé. *Triticum durum* (Ben Béchir) et *triticum aestivum* (Tanit) cultivées en milieu salin. Tunis. DEA de la faculté des sciences de Tunis. 86p.
- **Jones, R.A et Qualset, C.O. 1984.** Breeding crops for environmental stress tolerance. Application of Genitec Engineering to Corp Improvement. Nijhoff. Junk, 305-340.
- **Kadri, K. Maalam, S. Cheikh, M. H. Benabdallah, A. Rahmoun, C. et Ben naceur. M. 2009.** effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques accessions tunisiennes d'orge (*hordeum vulgare l.*). *Science and Technolog*, 29: 72-79.
- **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.

- **Karmous, C. 2007.** *Contribution à l'étude des mécanismes de tolérance à la salinité au stade juvénile chez le blé dur (Triticum durum Desf.): aspects physiologique, biochimique et moléculaire.* Thèse de doctorat en agronomie et science de la production végétale. INAT, Tunis: 211p.
- **Kefu, Z. Munns, R. King, R.W. 1991.** abscisic acid leirels in nacltreated barley, cotton, and saltbush. *Aust. J. Plant physiol*, 18: 17-24.
- **Khan, N.A. Nazar, R. and N.A. Anjum. 2009.** Growth, photosynthesis and antioxidant metabolism in mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars differing in ATP-sulfurylase activity under salinity stress. *Sci Hort.*, 122: 455-460.
- **Kurban, H.H. Saneoka, K. Nehira, R. Adila, G. Premachandra, S. and Fujita, K. 1999.** Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant alhagi pseudoalhagi (bieb.). *Soil Sci. Plant Nutr*, 45: 851-862.
- **Lachhab, I. Louahlia, S. Laamarti, M. and Hammani, k. 2013.** Effet d'un stress salin sur la germination et l'activité enzymatique chez deux génotypes de *Medicagosativa*. *International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN*, 3: 511-516.
- **Lallemand-Barrés, A. 1980.** Aménagement des sols salés irrigation avec des eaux salées étude documentaire. Bureau de recherches géologiques et minières service géologique national, 1-34.
- **Lamaze, T. 1994.** Résistance des plantes à la sécheresse. Mécanismes physiologiques. Le sélectionneur français, 45: 75-85
- **Lepengue, A.N. Mouaragadja, I. Ibrahim, B. Ake, S. M'Batchi, B. 2012.** Réponse du maïs (*Zea mays* var. LG 60) au stress salin: Etude de la synthèse de quelques composés biochimiques. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 14 (1): 1866-1872.
- **Levigneron, A. Lopez, F. Vansuyt, G. Berthomieu, P. Fourcroy, P. Casse-Delbart, F. 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*, 4 (4): 263-273.
- **Levitt, J. 1980.** Responses of plants to environmental stresses. Water radiation, salt and others stresses. Academic Press, New York, 2: 365- 406.
- **Levitt, J. 1972.** Responses of plants to environmental stresses (by) *J. levitt Academic press, New York.*
- **Maachi, L. 2005.** *Etude de comportement d'une céréale à grains sous centre pivot dans la région de Ouargla: Evaluation de l'efficience de l'irrigation et de la fertilisation azotée,* Thèse., Ing, agro, Sah. ITAS, Ouargla, 91p.

- **Maas, E .V. et Poss, J.A. 1989.** Salt sensitivity of wheat at different growth stages. *Irrig. Sci.* 29-40.
- **Machali, A. Suorez, D.L. Nabhan, H. et Rabindra, R. 2005.** Integrated management for sustainable use of Salt-affected Soils. Rom, FAO soils Bulletin.
- **Maillard, J. 2001.** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations. Handicap International, 35p.
- **Mani et Hannachi, 2015.** *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, 18(1): 639-647.
- **Martinez- Ballesta, M.C.Martinez, V. and Carvajal, 2004.** Osmotic adjustment, water relations and gas exchange in pepper plants grwn under NaCl or KCl. *Environ. Exp. Bot.*, 52: 161-174.
- **Mefti, M. Bouzerzour, H. Abdlguerfi, A. Nouar, H. 2008.** Morphological and growth characteristics of Perennial Grass, cultivars grown under semi-arid conditions of the Algerian high plateaus. *Journal of agronomy*, 7 (2): 138-147.
- **Mehari, A. Schulz, B. Depeweg, H. 2005.** Where indigenous water management practices overcome failures of structures. *Irrigation Drainage* 54: 1-14.
- **Mermoud, A. 2006** .Cours de physique du sol: Maîtrise de la salinité des sols. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 23p.
- **Mguis, K. Albouchi, A. Ouerghi, Z. Yakoubi-Tej, M. Mahjoub, A. Ben Brahim, N. 2011.**Influence d'une contrainte saline sur la croissance d'*Aegilops geniculata* Roth et du blé dur (*Triticum durum Desf.*). *Acta Botanica Gallica: Botany Letters*, vol. 158(4), 553-565.
- **Middleton, N.J. Thomoa, D.S.G. 1992.** World atlas of desertification. London: Edward Arnold.
- **Munns, R. 2008.** Sodium excluding genes from durum wheat and sea barleygrass improves sodium exclusion of bread wheat. 2nd International Salinity Forum Salinity, water and society-global issues, local action.
- **Munns, R. et Termaat, A. 1986.** Whole plant response to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13: 143-160.
- **Munns, R. 1993.** Physiological processes limiting plant grown in saline soils some dogmas and hypotheses. *Plant Cell. Environ.* (16): 15-24.
- **Munns, R. 2005.** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.*, 167(3): 645-663.

- **Munns, R. and Tester, M. 2008.** Mechanisms of salinity tolerance, *Annu. Rev. plant biol.*, 59: 651-681.
- **Munns, R. et Rawson, H.M. 1999.** Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.*, 459-464.
- **Munns, R. et Termaat, A. 1986.** Whole plant response to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13: 143-160.
- **Munns, R. 1993.** Physiological processes limiting plant growth in saline soils some dogmas and hypotheses. *Plant Cell. Environ.* (16) : 15 – 24.
- **Munns, R. 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant cell environ.* 25 (2): 239-250.
- **Munns, R. 2005.** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.*, 167(3): 645-663.
- **Munns, R. et Termaat, A. 1986.** Whole plant response to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13: 143-160.
- **Munns, R. Schachtman, d.P. and Condon, A.G. 1995.** The significance of atwo-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 22: 561–56.
- **Munns, R. Tester, M. 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59(1): 651-681.
- **Nanjo, T. Fujita, M. Seki, M. Kato, t. Tabata, S. and Shinozaki, K. 2003.** Toxicity of free proline revealed in an *Arabidopsis* T-DNA-tagged mutant deficient in proline dehydrogenase. *Plant Cell physiol.*, 44(5): 541-548.
- **Nanjo, T. Kabayashi, M. Yoshiba, Y. Kakubari, y. Yamaguchi-shinozaki, k. and Shinozaki, K. 1999.** Antisense suppression of proline degradation improves tolerance to freezing and salinity in *Arabidopsis thaliana*. *FEBS Lett.*, 461(3): 205-210.
- **Neumann, P. 1997.** Salinity resistance and plant growth revisited. *Plant, cell and Environment*, 20: 1193-1198.
- **Niu, X. Ressian, R.A. Hasegawa, P.M. Pardo, J.M. 1995.** Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*, 109 (3): 735-742.
- **Nouar, H. Haddad, L. Laala, Z. Oulmi, A. Zerargui, H. Benmahammed, A. and Bouzerzour, H. 2010.** Performances comparées des variétés de blé dur: Mohammed Ben Bachir, Waha et Bousselam dans la wilaya de Sétif. *Céréaliculture*, 54: 23-28.

- **Parida, A.K. and Das A.B. 2005.** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60: 324-349.
- **Pomeranz, Y. 1988.** Chemical composition of kernel structures. *Wheat: chemistry and technology*, 97-158.
- **Prado, F.E. Boero, C. Gallardo, M. Gonzalez, J.A. 2000.** Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds.
- **Ramade, F. 2003.** *Éléments d'écologie fondamentale*. Ed. Dunod, Paris, 690p.
- **Rao, D.N. Le Blanc, B.F. 1965.** Effects of sulfur dioxide on the lichen alga, with special reference to chlorophyll. *Bryologist*, 69: 69-75.
- **Rasanen, L.A. 2002.** Biotic and abiotic factors influencing the development of N₂-fixing symbioses between Rhizobium and the woody legumes. *Acacia and Prosopis*. Academic dissertation in microbiology. Helsinki-thesis. 80p.
- **Rejili, M. Neffati, N. Mouhamed, V. 2006.** Comportement germinatif de deux populations de *Lotus creticus*. L en présence du NaCl. *Revue des régions Arides*. 17:65.
- **Reynolds, M .P. Ortiz-Monasterio, J.I. Nab, A. 2001.** Application of Physiology in Wheat Breeding. D.F. CIMMYT, Mexico. 101-111.
- **Richards, L.A. 1954.** *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. United States Salinity Laboratory Staff. Agricultural Handbook. United States Department of Agriculture, 60:160p.
- **Robert, M. 1996.** *Le sol: interface dans l'environnement ressource pour le développement*. Ed. Masson, Paris. 96 p.
- **Said, B. Abdelmajid, H. 2011.** Effet de stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Revue Natures et Technologie*. 05p.
- **Salam, F. 2004.** *La salinité et la production végétale*. Tunisie. 163p.
- **Sayar, S. Turgut, S. Dogan, H. 2009.** Incidence of pressure ulcers in intensive care unit patients at risk according to the Waterlow scale and factors influencing the development of pressure ulcers, *J. Clin. Nurs*, 18 (5): 765-774.
- **Selmi, R. 2000.** Fin du mythe de l'autosuffisance alimentaire et place aux avantages comparatifs. *Revue Afrique Agriculture*, 280: 30-23.
- **Shaheena, A. Mohamed, F. Hayat, S. and Siddiqui, M.H. 2005.** Exogenous Application of gibberellic Acid counteracts the effect of Sodium Chloride in Mustard. *Turk.J. Biol.*, 29: 233-236.

- **Slama, A.D. Afifi, W.M. Mousa, A.Z. et Shams El Din. 1992.** Biochemical study on the effect of salinity on cucumber seedlings. *Annals Agric. Sci. Ain Shams Univ. Cairo.*, 37(2): 339-349.
- **Slama, F. 2004.** La salinité et la production végétale. Ed. Centre de publication universitaire Tunis. 163p.
- **Soltani, A. 1988.** *Analyse des effets de NaCl et de la source d'azote sur la nutrition minérale de l'orge.* Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté de Sciences de Tunis, 322 p.
- **Soltani, A. Hajji, M. et Grignon, C. 1990.** Recherche de facteurs limitant la nutrition minérale de l'orge en milieu salé. *Agronomie, EDP Sciences*, 10 (10) : 857-866.
- **Soltner, D. 1988.** La grande production végétale. La collection sciences et chimie agricole. Ed 16^{ème} édition, 464p.
- **Soltner, D. 1990.** Les grandes productions végétales: céréales, plantes sarclées, prairie. Coll. Sciences et techniques agricoles. 17^{ème} Ed. 464p
- **Soltner, D. 1998.** Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles. France, 25p..
- **Soltner, D. 1999.** Les grandes productions végétales, 19^{ème} éditions, sciences et techniques agricoles : 464p.
- **Stengel, P. Bruckler, L. Balesdent, J. 2009.** Le sol. Paris, France. 182.
- **Su, J. Chen, P.L. Wu, R. 1999.** Transgene expression of mannitol-1-phosphate dehydrogenase enhanced the salt stress tolerance of the transgenic rice seedlings. *Sci. Agric. Sin.*, 32: 101-103.
- **Surget, A. Barron, C. 2005.** Histologie du grain de blé. *Industrie des céréales* 145: 3-7.
- **Szablocks, I. 1989.** Salt affected Soils. Boca Raton, CRC press.
- **Szablocks, I. 1994.** Prospected of soil salinity for the 21st century trans. *Int cong of soil sc.*, 123-141.
- **Taiz, L. and Zeiger, E. 1998.** Plant physiology. Sinauer Associates. Sunderland. USA, 792p.
- **TREMBLIN, G. et COUDRET, A. 1986** Salinité, transpiration et échanges de CO₂ chez *Halopeplis amplexicaulis* (Vahl.) Ung. *Oecol. Plant.*, 7(21): 417-431.
- **Troncoso, A. Matte, C. Cantes, M. Lavee, S. 1999.** Evaluation of salt tolerance of in vitro-grown grapevine rootstock varie-ties, *Vitis* 38: 55-60.
- **Ungar, I.A. 1978.** Halophytes seed germination *Bot. Rev.*

- **Wall, A.M, R. Ripley et M.D. Gale. 1971.** The position of a locus on chromosome 5B of *Triticum aestivum* affecting homoeologous meiotic pairing. *Genet Res.*, 18: 329-339.
- **Wang, Y. et 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.
- **WRI, 2002.** Drylands, people, and ecosystem goods and services: a web-based geospatial analysis.
- **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.
- **Xue, Z.Y. Zhi, D.Y. Xue, G.P. Zhang, H. Zhao, Y.X. Xia, G.M. 2004.** Enhanced salt tolerance of transgenic wheat (*Triticum aestivum* L.) expressing a vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter gene with improved grain yields in saline soils in the field and a reduced level of leaf Na⁺. *Plant Science*. 167: 849-859.
- **Yancey, P.H. Clark, M.E. Hand, S.C. Bowlus, R.D. Somero, G.N. 1982.** Living with water stress: evolution of osmolyte systems. *Science*, 217(4566): 1214-1222.
- **Yoshida, Y. Nanjo, T. Miura, S. Yamaguchi-Shinozaki, K. Shinozaki, K. 1999.** Stress-responsive and developmental regulation of Delta (1)-pyrroline -5-carboxylate synthetase 1 (P5CS1) gene expression in *Arabidopsis thaliana*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 261: 766-772.
- **Yshida, k. 2002.** Plant biotechnology genetic engineering to enhance plant salt tolerance. *J. Biosci. Bioeng.*, 94: 585-590.
- **Zhu, J.K. 2003.** Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Curr. Opin. Plant*.

Annexes

Annexes

Tableau 01: pourcentage de germination (%) pour les différentes variétés de blé dur soumises aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM
Variété				
Simeto	83,33	53,33	50,00	46,67
Gta – dur	93,33	76,67	46,67	43,33
Vitron	93,33	80,00	66,67	54,44
Cirta	90,00	70 ,00	54,44	44,44

Tableau 02: La longueur de la racicule (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations du NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM
Variété				
Simeto	7,92	4,46	2,06	0,51
Gta – dur	8,71	5,13	1,73	0,75
Vitron	9,16	3,57	2,25	0,52
Cirta	8,66	4,50	1,65	0,96

Tableau 03:La longueur de la tigelle (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM
Variété				
Simeto	9 ,71	3,22	0,63	0,73
Gta – dur	8 ,65	3 ,61	0,88	0,66
Vitron	11,15	2,62	0,73	0,30
Cirta	9,227	3,61	0,43	0,41

Tableau 04: La surface foliaire (cm²) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	6,32	5,22	4,44	3,85	2,54
Gta – dur	8,15	6,61	5,36	4,11	1,39
Vitron	9,71	5,35	3,52	1,85	1,24
Cirta	9,22	6,20	4,83	2,55	0,49

Tableau 05: Le nombre des feuilles des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	6,33	5	5	4,33	4
Gta – dur	4,33	4,33	4	4,66	3,66
Vitron	4,33	4,33	4,33	3	2,67
Cirta	3,66	4	4	3,33	2

Tableau 06: Longueur de la racine principale (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	11,67	11,33	8,00	8,00	6,33
Gta-dur	12,00	11,83	9,00	8 ,83	7,67
Vitron	13,67	12,00	8,33	7,83	7,83
Cirta	13,50	13,00	10,50	9,83	7,00

Tableau 07: Hauteur de la plante (cm) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Simeto	25,33	24,67	23,67	21,67	17,00
Gta – dur	27,00	24,17	23,83	16,67	10,00
Vitron	32,50	26,67	25,67	11,00	8,17
Cirta	28,50	26,50	20,33	20,00	6,67

Tableau 08: Le poids frais de la partie aérienne des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	1,02	0,88	0,84	0,59	0,32
Gta – dur	0,99	0,86	0,24	0,15	0,05
Vitron	0,94	0,63	0,54	0,23	0,11
Cirta	0,84	0,7	0,54	0,26	0,06

Tableau 09: Le poids frais de la partie souterraine des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	0,68	0,50	0,17	0,17	0,06
Gta – dur	0,59	0,58	0,17	0,12	0,04
Vitron	0,70	0,42	0,21	0,06	0,04
Cirta	0,25	0,25	0,08	0,06	0,04

Tableau 10: Le poids sec de la partie aérienne des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	0,17	0,12	0,11	0,09	0,03
Gta – dur	0,17	0,14	0,05	0,02	0,02
Vitron	0,19	0,12	0,08	0,03	0,02
Cirta	0,15	0,15	0,04	0,04	0,01

Tableau 11: Le poids sec de la partie souterraine (g) des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	0,08	0,04	0,03	0,02	0,01
Gta – dur	0,10	0,07	0,02	0,02	0,01
Vitron	0,10	0,06	0,03	0,01	0,01
Cirta	0,09	0,08	0,02	0,02	0,01

Tableau 12: La teneur en chlorophylle des variétés du blé dur soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Simeto	39,5	50,09	37,67	29,88	26,31
Gta – dur	62,82	57,44	55,16	53,28	28,90
Vitron	50,30	48,80	46,36	42,51	22,30
Cirta	43,78	39,65	36,06	30,83	15,41

Annexe 01: Analyse de la variance de pourcentage de germination

Variétés	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	10733	2683,3	16,77	0.000
	Erreur	10	1600	160,0		
	Total	14	12333			
Gta-dur	Concentrations	4	15373	3843,3	30,34	0.000
	Erreur	10	1267	126,7		
	Total	14	16640			
Vitron	Concentrations	4	16133	4033.3	33.61	0.000
	Erreur	10	1200	120.0		
	TotalL	14	17333			
Cirta	Concentrations	4	21973	5493.3	39.24	0.000
	Erreur	10	1400	140.0		
	Total	14	23373			

Annexe 02: Résultat des tests de Dennet pour le pourcentage de germination (%) (variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	83,33	A
C1	3	53,33	
C2	3	50,0	
C3	3	46,67	
C4	3	0,000000	

Annexe03: Résultat des tests de Denet pour le pourcentage de germination (%) (variété Gtadur)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	93,33	A
C1	3	76,67	A
C2	3	46,67	
C3	3	43,3	
C4	3	0,000000	

Annexe 04: Résultat des tests de Denet pour le pourcentage de germination (%) (variété Vitron).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	93.33	A
C1	3	80.0	A
C2	3	66.67	
C3	3	43.33	
C4	3	0.000	

Annexe 05: Résultat des tests de Denet pour le pourcentage de germination (%) (variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	100.0	A
C1	3	73.33	A
C2	3	46.7	
C3	3	6.67	
C4	3	0.000	

Annexe 06: Analyse de la variance la longueur de la racine (cm)

Variétés	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	127,42	31,856	24,45	0.000
	Erreur	10	13,03	1,303		
	Total	14	13,03			
Gta dur	Concentrations	4	156,220	39,0550	59,74	0.000
	Erreur	10	6,538	0,6538		
	Total	14	162,758			
Vitro	Concentrations	4	161.914	40.4785	426.45	0.000
	Erreur	10	0.949	0.0949		
	Total	14	126.863			
Cirta	Concentrations	4	147.463	36.8657	60.63	0.000
	Erreur	10	0.071	0.6071		
	Total	14	153.533			

Annexe 07: Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine (cm) (variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	7,92	A
C1	3	4,463	
C2	3	2,063	
C3	3	0,5067	
C4	3	0,000000	

Annexe 08: Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine (cm) pour le pourcentage de germination (%) (variétéGta-dur).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	8,707	A
C1	3	5,130	
C2	3	1,733	
C3	3	0,8200	
C4	3	0,000000	

Annexe 09: Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine (cm) (variété Vitron)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	9.163	A
C1	3	3.573	
C2	3	2.2533	
C3	3	0.5200	
C4	3	0.000	

Annexe 10: Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine (cm) (variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	8.663	A
C1	3	4.497	
C2	3	1.653	
C3	3	0.963	
C4	3	0.000	

Annexe 11: Analyse de la variance de la longueur de la tigelle (cm)

Variété	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	193,993	48,4983	117,52	0.000
	Erreur	10	4,127	0,4127		
	Total	14	198,120			
Gta dur	Concentrations	4	153,068	38,2671	57,29	0.000
	Erreur	10	6,680	0,6680		
	Total	14	159,748			
Vitro	Concentrations	4	264.222	66.0556	965.54	0.000
	Erreur	10	0.684	0.0684		
	Total	14	264.907			
Cirta	Concentrations	4	147.463	36.8657	60.63	0.000
	Erreur	10	0.071	0.6071		
	Total	14	153.533			

Annexe 12: Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la tigelle (cm) (variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	9,707	A
C1	3	3,217	
C2	3	0,733	
C3	3	0,633	
C4	3	0,000000	

Annexe 13: Résultat des tests de Denet pour la longueur de la tigelle (cm) (variété Gta-dur)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	8,653	A
C1	3	3,607	
C2	3	3,607	
C3	3	0,660	
C4	3	0,000000	

Annexe 14: Résultat des test de Denet pour la longueur de la tigelle (cm) (variété Vitron).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	11.153	A
C1	3	2.620	
C2	3	0.7300	
C3	3	0.2967	
C4	3	0.000	

Annexe 15: Résultat des tests de Denet pour la longueur de la tigelle (cm) (variété Cirta)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	9.27	A
C1	3	9.27	A
C2	3	0.4333	
C3	3	0.4100	
C4	3	0.000	

Annexe 16: Analyse de la variance de la hauteur des plantes (cm)

Variété	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	135,1	33,77	3,00	0,072
	Erreur	10	112,7	11,27		
	Total	14	247,7			
Gta-dur	Concentrations	4	574,8	143,71	12,89	0,001
	Erreur	10	111,5	11,15		
	Total	14	686,3			
Vitron	Concentrations	4	1351,90	337,975	36,94	0.000
	Erreur	10	91,50	9,150		
	Total	14	1443,40			
Cirta	Concentrations	4	874,8	218,69	17,38	0.000
	Erreur	10	125,8	12,58		
	Total	14	1000,6			

Annexe 17 : Résultat des tests de Dennet pour la hauteur des plantes (cm) (variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	25,333	A
C1	3	24,67	A
C2	3	23,667	A
C3	3	21,667	A
C4	3	17,00	

Annexe 18: Résultat des tests de Denet pour la hauteur des plantes (cm) (variété Gta-dur).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	27,00	A
C1	3	24,17	A
C2	3	23,833	A
C3	3	16,67	
C4	3	10,00	

Annexe 19: Résultat des tests de Denet pour la hauteur des plantes (cm) (variété Vitron).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	32,50	A
C1	3	26,67	A
C2	3	25,67	A
C3	3	11,00	
C4	3	8,17	

Annexe 20: Résultat des test de Denet pour la hauteur des plantes (cm) (variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	28,500	A
C1	3	26,50	A
C2	3	20,33	A
C3	3	20,00	
C4	3	6,67	

Annexe 21: Analyse de la variance de la longueur de la racine principale (cm)

Variétés	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	64,93	16,233	11,60	0,001
	Erreur	10	14,00	1,400		
	Total	14	78,93			
Gta-dur	Concentrations	4	45,23	11,308	5,14	0,016
	Erreur	10	22,00	2,200		
	Total	14	67,23			
Vitron	Concentrations	4	127,33	31,833	9,46	0.002
	Erreur	10	33,67	3,367		
	Total	14	161,00			
Cirta	Concentrations	4	82,77	20,692	17,01	0.000
	Erreur	10	12,17	1,217		
	Total	14	94,93			

Annexe 22: Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine principale (cm) (variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	11,667	A
C1	3	11,33	A
C2	3	8,000	
C3	3	8,000	
C3	3	6,333	

Annexe 23:Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine principale (cm) (variété Gta-dur).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	12,00	A
C1	3	11,833	A
C2	3	9,00	A
C3	3	8,833	A
C4	3	7,667	

Annexe 24:Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine principale (cm) (variété Vitron).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	13,667	A
C1	3	12,00	A
C2	3	8,333	
C3	3	7,833	
C3	3	5,667	

Annexe 25: Résultat des tests de Dennet pour la longueur de la racine principale (cm) (variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	13,500	A
C1	3	13,00	A
C2	3	10,500	
C3	3	9,833	
C3	3	7,000	

Annexe 26: Analyse de la variance de le poids frais de la partie aérienne (g)

Variétés	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	0,9214	0,2303	2,07	0,160
	Erreur	10	1,1137	0,1114		
	Total	14	2,0350			
Gta-dur	Concentrations	4	2,2337	0,55842	48,22	0.000
	Erreur	10	0,1158	0,01158		
	Total	14	2,3495			
Vitron	Concentrations	4	1,3046	0,32616	29,85	0.000
	Erreur	10	0,1093	0,01093		
	Total	14	1,4139			
Cirta	Concentrations	4	1,2137	0,30342	5,66	0,012
	Erreur	10	0,5363	0,05363		
	Total	14	1,7500			

Annexe 27:Résultat des tests de Dennet pour le poids frais de la partie aérienne (g) (variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	1,020	A
C1	3	0,883	A
C2	3	0,8467	A
C3	3	0,587	A
C4	3	0,323	A

Annexe 28: Résultat des tests de Dennet pour le poids frais de la partie aérienne (g) (variété Gta-dur).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,990	A
C1	3	0,8600	A
C2	3	0,2433	
C3	3	0,1533	
C3	3	0,05667	

Annexe 29: Résultat des tests de Dennet pour le poids frais de la partie aérienne (g) (variété Vitron).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,9400	A
C1	3	0,6300	
C2	3	0,5400	
C3	3	0,2333	
C3	3	0,11000	

Annexe 30: Résultat des tests de Dennet pour le poids frais de la partie aérienne (g) (variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,8400	A
C1	3	0,700	A
C2	3	0,537	A
C3	3	0,2633	
C3	3	0,0600	

Annexe 31: Analyse de la variance de le poids frais de la partie souterraine (g)

Variété	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	0,81489	0,203723	24,88	0.000
	Erreur	10	0,08187	0,008187		
	Total	14	0,89676			
Gta-dur	Concentrations	4	0,84087	0,210217	38,83	0.000
	Erreur	10	0,05413	0,005413		
	Total	14	0,89500			
Vitro	Concentrations	4	0,92929	0,232323	111,34	0.000
	Erreur	10	0,02087	0,002087		
	Total	14	0,95016			
Cirta	Concentrations	4	0,129027	0,032257	96,77	0.000
	Erreur	10	0,003333	0,000333		
	Total	14	0,132360			

Annexe 32: Résultat des tests de Dennet pour le poids frais de la partie souterraine (g)
(variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,6800	A
C1	3	0,4967	A
C2	3	0,1733	
C3	3	0,1667	
C3	3	0,0633	

Annexe 33: Résultat des tests de Denet pour le poids frais de la partie souterraine (g)
(variété Gta-dur).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,5900	A
C1	3	0,58000	A
C2	3	0,17333	
C3	3	0,1200	
C3	3	0,03667	

Annexe 34: Résultat des tests de Denet pour le poids frais de la partie souterraine (g)
(variété Vitron).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,7033	A
C1	3	0,4167	
C2	3	0,2133	
C3	3	0,0600	
C3	3	0,03667	

Annexe 35: Résultat des tests de Denet pour le poids frais de la partie souterraine (g)
(variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,2500	A
C1	3	0,2467	A
C2	3	0,08333	
C3	3	0,06000	
C3	3	0,04000	

Annexe 36: Analyse de la variance le poids sec de la partie aérienne (g)

Variété	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
simeto	Concentrations	4	0,031160	0,007790	58,43	0.000
	Erreur	10	0,001333	0,000133		
	Total	14	0,032493			
Gta-dur	Concentrations	4	300,0587	0,014577	115,08	0.000
	Erreur	10	0,001267	0,000127		
	Total	14	0,059573			
Vitro	Concentrations	4	0,060373	0,015093	125,78	0.000
	Erreur	10	0,001200	0,000120		
	Total	14	0,061573			
Cirta	Concentrations	4	0,057577	0,014394	93,03	0.000
	Erreur	10	0,001547	0,000155		
	Total	14	0,059124			

Annexe 37: Résultat des tests de Dennet pour poids sec de la partie aérienne (g) (variété Simeto)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	58,43	A
C1	3	0,12000	
C2	3	0,10667	
C3	3	0,08667	
C3	3	0,03000	

Annexe 38: Résultat des tests de Dennet pour poids sec de la partie aérienne (g) (variété Gtadur)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	58,43	A
C1	3	0,12000	
C2	3	0,10667	
C3	3	0,08667	
C4	3	0,03000	

Annexe 39: Résultat des tests de Dennet pour poids sec de la partie aérienne (g) (variété Vitron)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,19000	A
C1	3	0,12333	
C2	3	0,08333	
C3	3	0,03000	
C3	3	0,01667	

Annexe 40: Résultat des tests de Dennet pour le poids sec de la partie aérienne (g) (variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,15333	A
C1	3	0,15000	A
C2	3	0,0400	
C3	3	0,03667	
C3	3	0,00600	

Annexe 41 : Analyse de la variance du poids sec de la partie souterraine (g)

Variété	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	0,009427	0,002357	27,19	0.000
	Erreur	10	0,000867	0,000087		
	Total	14				
Gta-dur	Concentrations	4	0,020566	0,005142	186,74	0.000
	Erreur	10	0,000275	0,000028		
	Total	14	0,020842			
Vitro	Concentrations	4	0,017907	0,004477	51,65	0.000
	Erreur	10	0,000867	0,000087		
	Total	14	0,018773			
Cirta	Concentrations	4	0,018060	0,004515	60,90	0.000
	Erreur	10	0,000741	0,000074		
	Total	14	0,018802			

Annexe 42: Résultat des tests de Dennet pour le poids sec de la partie souterraine (g) (variété Simeto).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,08333	A
C1	3	0,04333	
C2	3	0,02667	
C3	3	0,02000	
C3	3	0,01333	

Annexe 43: Résultat des tests de Dennet pour le poids sec de la partie souterraine (g) (variété Gta-dur).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,10333	A
C1	3	0,06667	
C2	3	0,01667	
C3	3	0,01667	
C3	3	0,00733	

Annexe 44: Résultat des tests de Dennet pour le poids sec de la partie souterraine (g) (variété Vitron).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,10333	A
C1	3	0,06333	
C2	3	0,03000	
C3	3	0,01333	
C3	3	0,01333	

Annexe 45: Résultat des tests de Dennet pour le poids sec de la partie souterraine (g) (variété Cirta).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,09333	A
C1	3	0,07667	A
C2	3	0,02000	
C3	3	0,02000	
C4	3	0,00700	

Annexe 46: Analyse de la variance de la surface foliaire (cm²)

Variétés	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	24,361	6,0903	11,46	0,001
	Erreur	10	5,316	0,5316		
	Total	14	29,677			
Gta-dur	Concentrations	4	79,20	19,801	15,03	0.000
	Erreur	10	13,18	1,318		
	Total	14	92,38			
Vitron	Concentrations	4	138,824	34,7061	48,45	0.000
	Erreur	10	7,163	0,7163		
	Total	14	145,988			
Cirta	Concentrations	4	134,92	33,730	33,57	0.000
	Erreur	10	10,05	1,005		
	Total	14	144,97			

Annexe 47: Résultat des tests de Dennet pour La surface foliaire (cm²) (variété Simeto)

Concentrations	N	Moyenne	Groupe ment
C0	3	6,323	A
C1	3	5,220	A
C2	3	4,4400	
C3	3	3,8500	
C3	3	2,537	

Annexe 48 : Résultat des tests de Dennet pour La surface foliaire (cm²) (variété Gta-dur)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	8,15	A
C1	3	6,613	A
C2	3	5,360	
C3	3	4,110	
C3	3	1,390	

Annexe 49: Résultat des tests de Dennet pour La surface foliaire (cm²) (variété Vitron)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	9,707	A
C1	3	5,347	
C2	3	3,523	
C3	3	1,853	
C3	3	1,240	

Annexe 50: Résultat des tests de Dennet pour La surface foliaire (cm²) (variété Cirta)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	9,217	A
C1	3	6,203	
C2	3	4,830	
C3	3	2,553	
C3	3	0,493	

Annexe 51: Analyse de la variance du nombre des feuilles

Variété	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	9,600	2,4000	4,50	0,024
	Erreur	10	5,333	0,5333		
	Total	14	14,933			
Gta – dur	Concentrations	4	1,733	0,4333	1,63	0,243
	Erreur	10	2,667	0,2667		
	Total	14	4,400			
Vitron	Concentrations	4	8,267	2,0667	4,43	0,026
	Erreur	10	4,667	0,4667		
	Total	14	12,933			
Cirta	Concentrations	4	8,267	2,0667	6,20	0,009
	Erreur	10	3,333	0,3333		
	Total	14	11,600			

Annexe 52: Résultat des tests de Dennet pour le nombre des feuilles en fonction de concentrations (variété Simeto)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	6,333	A
C1	3	5,000	A
C2	3	5,000	A
C3	3	4,333	
C3	3	4,000	

Annexe 53: Résultat des tests de Dennet pour Le nombre des feuilles en fonction de concentrations (variété Gta-dur)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	4,333	A
C1	3	4,667	A
C2	3	4,333	A
C3	3	4,000	A
C3	3	3,667	A

Annexe 54: Résultat des tests de Dennet pour Le nombre des feuilles en fonction de concentrations (variété Vitron)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	4,333	A
C1	3	4,333	A
C2	3	4,333	A
C3	3	3,000	A
C4	3	2,667	

Annexe 55: Résultat des tests de Dennet pour Le nombre des feuilles en fonction de concentrations (variété Cirta)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	3,667	A
C1	3	4,000	A
C2	3	4,000	A
C3	3	3,333	A
C4	3	2,000	

Annexe 56 : Analyse de la variance du la teneur en chlorophylle

Variété	Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Simeto	Concentrations	4	1027,72	256,931	25,76	0,000
	Erreur	10	99,74	9,974		
	Total	14	99,74			
Gta-dur	Concentrations	4	2072,6	518,14	10,88	0,001
	Erreur	10	476,3	47,63		
	Total	14	2548,9			
Vitro	Concentrations	4	1567,59	391,898		0,000
	Erreur	10	18,12	1,812		
	Total	14	1585,71			
Cirta	Concentrations	4	1451,92	362,981	88,67	0,000
	Erreur	10	40,94	4,094		
	Total	14	1492,86			

Annexe 57 : Résultat des tests de Dennet pour la teneur en chlorophylle en fonction de concentrations (variété Cirta)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	39,50	A
C1	3	50,09	
C2	3	37,67	A
C3	3	29,883	
C4	3	26,310	

Annexe 58: Résultat des tests de Dennet pour la teneur en chlorophylle en fonction de concentrations (variété Cirta)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	62,82	A
C1	3	57,44	A
C2	3	55,16	A
C3	3	53,28	A
C4	3	28,897	

Annexe 59: Résultat des tests de Dennet pour la teneur en chlorophylle en fonction de concentrations (variété Cirta)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	50,303	A
C1	3	48,800	A
C2	3	46,360	
C3	3	42,510	
C4	3	22,30	

Annexe 60: Résultat des tests de Dennet pour la teneur en chlorophylle en fonction de concentrations (variété Cirta)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	43,78	A
C1	3	39,650	A
C2	3	36,06	
C3	3	30,83	
C4	3	15,41	

Annexe 61: Analyse de la variance pour pourcentage de germination (%) en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	1218	406,1	0,33	0,806
Erreur	56	69680	1244,3		
Total	59	70898			

Annexe 63: Résultat des tests de Fisher pour pourcentage de germination (%) (Les variétés)

Variétés	N	Moyenne	Groupement
Gta-dur	15	56,67	A
Cirta	15	52,00	A
Vitron	15	46,67	A
Simeto	15	45,3	A

Annexe 64: Analyse de la variance pour la longueur de la racicule (cm) en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	0,638	0,2127	0,02	0.996
Erreur	56	619,606	11,0644		
Total	59	620,244			

Annexe 65: Résultat des tests de Fisher pour la longueur de la radicule (cm) (Les variétés)

Variétés	N	Moyenne	Groupement
Gta-dur	15	3,278	A
Cirta	15	3,155	A
Vitron	15	3,102	A
Simeto	15	2,991	A

Annexe 67: Analyse de la variance pour la longueur de la tigelle (cm) en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	11,98	3,994	0,24	0,871
Erreur	56	950,31	16,970		
Total	59	962,30			

Annexe 68: Résultat des test de Fisher pour la longueur de la tigelle (cm) (Les variétés)

Variétés	N	Moyenne	Groupement
Gta-dur	15	3,88	A
Cirta	15	2,96	A
Vitron	15	2,858	A
Simeto	15	2,759	A

Annexe 69: Analyse de la variance pour la hauteur des plantes (cm) en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	44,93	14,98	0,25	0,862
Erreur	56	3378,07	60,32		
Total	59	3423,00			

Annexe 70: Résultat des tests de Fisher pour la hauteur des plantes (cm) (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Simeto	15	22,47	A
Vitron	15	20,80	A
Cirta	15	20,40	A
Gta-dur	15	20,33	A

Annexe 71: Analyse de la variance pour la longueur de racine principal en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	23,50	7,833	1,09	0,361
Erreur	56	402,10	7,180		
Total	59	425,60			

Annexe 72: Résultat des tests de Fisher pour la longueur de racine principal (Les variétés).

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Cirta	15	10,767	A
Gta-dur	15	9,867	A
Vitron	15	9,500	A
Simeto	15	9,067	A

Annexe 73: Analyse de la variance pour le poids frais de la partie aérienne en fonction de concentrations (les variétés).

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	2974	991,3	6,10	0,001
Erreur	56	9101	162,5		
Total	59	12074			

Annexe 74: Résultat des tests de Fisher pour le poids frais de la partie aérienne de (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Cirta	15	54,10	A
Gta-dur	15	51,52	A
Vitron	15	42,05	B
Simeto	15	36,69	B

Annexe 75: Analyse de la variance pour le poids frais de la partie souterraine en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	0,3118	0,10394	2,02	0,121
Erreur	56	2,8743	0,05133		
Total	59	3,1861			

Annexe 76: Résultat des test de Fisher pour le poids frais de la partie souterraine (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Simeto	15	0,3160	A
Gta-dur	15	0,3000	AB
Vitron	15	0,2860	AB
Cirta	15	0,1360	B

Annexe 77: Analyse de la variance pour le poids sec de la partie aérienne en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	0,006203	0,002068	0,54	0,654
Erreur	56	0,212764	0,003799		
Total	59	0,218968			

Annexe 78:Résultat des tests de Fisher pour le poids sec de la partie aérienne (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Simeto	15	0,1027	A
Vitron	15	0,0887	A
Gta-dur	15	0,0787	A
Cirta	15	0,0772	A

Annexe 79: Analyse de la variance pour le poids sec de la partie souterraine en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	0,000462	0,000154	0,13	0,945
Erreur	56	0,068710	0,001227		
Total	59	0,069172			

Annexe 80: Résultat des tests de Fisher pour le poids sec de la partie souterraine (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Vitron	15	0,04467	A
Cirta	15	0,04340	A
Gta-dur	15	0,04213	A
Simeto	15	0,03733	A

Annexe 81: Analyse de la variance pour La surface foliaire (cm²) en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	5,343	1,781	0,24	0,867
Erreur	56	413,010	7,375		
Total	59	418,353			

Annexe 82: Résultat des tests de Fisher pour La surface foliaire (cm²) (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Gta-dur	15	5,125	A
Cirta	15	4,659	A
Simeto	15	4,474	A
Vitron	15	4,334	A

Annexe 83: Analyse de la variance pour le nombre des feuilles en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	19,87	6,6222	8,45	0,000
Erreur	56	43,87	0,7833		
Total	59	63,73			

Annexe 84: Résultat des tests de Fisher pour le nombre des feuilles (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Simeto	15		A
Gta-dur	15		B
Vitron	15		BC
Cirta	15		C

Annexe 85: Analyse de la variance pour la teneur en chlorophylle en fonction de concentrations (les variétés)

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur P
Concentrations	3	4683	1560,99	28,29	0,000
Erreur	56	3090	55,17		
Total	59	7773			

Annexe 86: Résultat des tests de Fisher pour la teneur en chlorophylle (Les variétés)

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
Gta-dur	15	55,05	A
Vitron	15	45,745	B
Simeto	15	34,96	C
Cirta	15	33,15	C