



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA



FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET DES SCIENCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en sciences agronomiques

Spécialité: Agriculture et environnement en régions arides

THEME



Présentée par : *M^{elle}. Tahraoui Souad.*

Devant le jury :

Président: *M. BENKHALED A.* Professeur Université Mohamed Khider - Biskra
Promoteur: *M. MASMOUDI A.* M.C.A Université Mohamed Khider - Biskra
Examineurs: *M. BENZIOUCHE S E.* M.C.A Université Mohamed Khider - Biskra
M. LAJADI Z. M.C.A Université Mohamed Khider - Biskra

Année universitaire: 2015 - 2016

REMERCIEMENTS



Ma profonde gratitude s'adresse en premier lieu à Dieu dont l'aide m'a permis de suivre ma formation, de m'avoir accordée le courage et la force de mener à bien ce modeste travail.

Ce travail n'aurait pas vu le jour sans la confiance, la patience et la générosité de mon encadreur, M. MASMOUDI A Maitre de conférences au département des sciences d'Agronomie Université Mohamed Kfider – Biskra.

Je tiens à exprimer mes remerciements aux membres du jury, qui ont accepté d'évaluer mon travail :

Je souhaite adresse mes remerciements à Monsieur : BENKHALED A Professeur au département d'hydraulique et Génie civil Université Mohamed Kfider – Biskra, pour l'intérêt porté à mon travail et pour avoir accepté de présider ce jury.

Mes remerciements s'adressent particulièrement à M. BENZIOUCHE S E Maitre de conférences au département des sciences d'Agronomie Université Mohamed Kfider – Biskra, et M. LAIADI Z Maitre de conférences au département de biologie Université Mohamed Kfider – Biskra, qui ont accepté de prendre le temps pour être les rapporteurs de cet humble travail et pour leurs remarques constructives.

Je voudrais remercier de façon particulière M. GUIMEURK, chef de département des sciences d'Agronomie Université Mohamed Kfider – Biskra, et je tiens également à remercier sincèrement à tous mes enseignant, je ne saurai vous remercier pour tout ce que j'ai appris avec vous.

En fin, merci à tous ceux qui ont rendu possible ce travail, et même s'ils ne se retrouvent pas dans cette petite liste, ils sont dans mes pensées.

Merci encore une fois



Résumé

Parmi les céréales, l'orge et le blé constituent les deux cultures stratégiques pour l'Algérie. Le problème principal pour le développement de ces deux cultures dans la région aride est la salinité, car la majorité des eaux d'irrigation dans cette région sont chargées en sels. Mais l'effet qualitatif et quantitatif des sels sur la plante n'est pas le même pour les différents types de sels. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail qui vise à étudier l'impact de différents types de sels avec différentes doses sur la germination et la croissance en présence de l'amendement calcique CaCl_2 ainsi que sur l'absorption des éléments nutritifs par les plantes de l'orge (variété saida) et le blé (variété Bousselam). Les sels utilisés sont : NaCl , KCl , MgSO_4 et Na_2SO_4 avec les doses (6, 8 et 10g/l) pour l'orge et (3, 6 et 9g/l) pour le blé dur, combinées avec des doses (0, 0.25, 0.5, 1, 1.5g/l) de l'amendement calcique CaCl_2 .

Nos résultats obtenus montrent que l'augmentation de la dose de sel est néfaste sur les paramètres étudiés: diminution de la rétention en eau des graines et le taux de germination, réduction de la croissance de la partie aérienne et racinaire et une chute de la production de la matière fraîche et sèche. Concernant l'effet du type de sel, il semble que les sels KCl , MgSO_4 et Na_2SO_4 apparaissent moins toxiques que NaCl sur la rétention en eau des graines, le taux de germination et la croissance de la partie aérienne, mais la partie racinaire et la production de la matière fraîche sont affectés particulièrement par MgSO_4 . Cependant l'amendement calcique a montré un effet remarquable sur la partie aérienne et la matière fraîche de l'orge et le blé, mais elle a un effet spécifique remarquable sur le taux de germination et la partie racinaire de l'orge d'une part et sur la rétention en eau des graines et la production de la matière sèche de blé d'autre part.

L'étude de l'effet de la contrainte saline sur la teneur en éléments minéraux a montré que le stress salin diminue la teneur des plantes de l'orge et de blé en Ca et K ainsi que le Na dans le cas des fortes doses de sel, par contre leur teneur en chlore augmente. La teneur de l'orge en SO_4 et la teneur de blé en Mg augmentent par l'augmentation de stress salin. La teneur des plantes de l'orge et de blé en éléments minéraux varie en fonction de type de sels. La présence de CaCl_2 dans le milieu a un effet important sur la teneur des plantes de l'orge et de blé en Ca, Na et Cl.

Mots clé :

L'orge, blé dur, dose de sel, type de sel, amendement calcique.

Abstract

Among cereals, barley and wheat are the two strategic crops for Algeria. The main problem for the development of these two crops in the arid region is the salinity, because the majority of irrigation water in this region is loaded with salts. But the qualitative and quantitative effect of salts on the plant is not the same for different types of salts. It is in this context that our work is to study the impact of different types of salts with different doses on germination, growth and the absorption of minerals elements by plants of barley (variety saida) and wheat (variety Bousselam) in presence of CaCl_2 calcic amendment . The used salts are: NaCl , KCl , MgSO_4 and Na_2SO_4 with doses (6, 8 and 10 g / l) for barley and (3, 6 and 9 g / l) for durum wheat, combined with doses (0, 0.25, 0.5, 1, 1.5g / l) of CaCl_2 .

Our results show that increasing the dose of salt is harmful to the studied parameters: reduction of water retention of the seeds, germination rate, growth of the shoot and root part and fall production of fresh and dry matter. Concerning the effect of the type of salt, it seems that the KCl , MgSO_4 and Na_2SO_4 salts appear less toxic than NaCl on water retention of seeds, germination and growth of the aerial part but the root part and the production of fresh matter are particularly affected by MgSO_4 . However the calcic amendment showed a remarkable effect on the aerial part and fresh matter of barley and wheat, but it has also a remarkable specific effect on the rate of germination and root of barley on the one hand and water retention of the seed and the production of the dry matter of wheat on the other hand.

The study of the effect of salt stress on the mineral elements content showed that the salt stress decreases the content of plants of barley and wheat in Ca and K as well as the Na in the case of high dose of salt, against their chlorine content increases. The contents of barley in SO_4 and the wheat in Mg increased with increasing salt stress. The content of plants of barley and wheat in minerals elements varied according to type of salts. The presence of CaCl_2 in the medium has a significant effect on the content of plants of barley and wheat in Ca, Na and Cl.

Keywords: Barley, durum wheat, salt dose, type of salt, calcic amendment.

ملخص

تعتبر زراعة القمح و الشعير من بين الاستراتيجيات الزراعية في الجزائر. المشكل الاساسي لتطور هذه الزراعة في المناطق الجافة هي الملوحة لأن غالبية مياه السقي مملوءة بأملاح. لكن التأثير الكمي و النوعي لنوعية الملح علي النبات غير متشابه. في هذا السياق قمنا بهذا العمل لدراسة تأثير نوع الملح مع مختلف التراكيز علي الانتاش و النمو في وجود محسن كالسيوم و علي امتصاص العناصر المعدنية من طرف نبات الشعير(صنف سعيدة) و القمح الصلب (صنف بوسلام), الأملاح المستعملة كلورورالصوديوم, سولفات الصوديوم, سولفات المغنزيوم و كلورور الكالسيوم مع التراكيز (0,8,6, 10 غ/ل) للشعير و (3, 6, 9 غ/ل) للقمح مضافة مع التراكيز (0, 0,25, 0,5, 1, 1,5 غ/ل) للمحسن الكالسيومي

النتائج المتحصل عليها تبين أن زيادة تراكيز الأملاح لها تأثير علي الانتاش, ضعف نمو الجزء الهوائي و الجذور, وكذلك وزن المادة الرطبة و الجافة, فيما يخص تأثير نوع الملح يظهر أنه سولفات الصوديوم, سولفات المغنزيوم و كلورور الكالسيوم أقل ضرر من كلورورالصوديوم علي قدرة الحبوب علي امتصاص الماء و علي الانتاش و كذلك نمو الجزء العلوي لكن الجذور و المادة الجافة تتأثر سلبا بوجود سولفات المغنزيوم في حين أن المحسن الكالسيومي له تأثير واضح علي الجزء الهوائي و المادة الرطبة لنبات الشعير و القمح, لكن له تأثير خاص علي انتاش و نمو الجزء الهوائي لشعير من جهة و علي قدرة حبوب القمح علي امتصاص الماء و علي المادة الجافة من جهة أخرى

للملوحة تأثير علي محتوى هذه النباتات للعناصر المعدنية و التي تؤدي الي نقص في محتواها من الكالسيوم و البوتاسيوم و كذلك الصوديوم في حالات التراكيز العالية لكن الكلور يزداد, و محتوى نبات الشعير من السولفات يزداد و كذلك محتوى القمح من المغنيزيوم يزداد بزيادة تركيز الملوحة, يتغير محتوى الشعير و القمح من العناصر المعدنية بتغير نوع الملح, تواجد المحسن الكالسيومي في الوسط له تأثير علي محتوى نبات الشعير و القمح من الكالسيوم و الصوديوم و الكلور.

الكلمات الرئيسية : الشعير، القمح الصلب، تركيز الاملاح, نوع الملح، محسن كالسيومي.

Liste des abréviations

CaCl₂ :	chlorure de calcium.
Cm:	Centimètre.
FAO:	Food Alimentary Organisation.
g /l :	Gramme par litre.
KCl :	chlorure de potassium.
mg/g:	milligramme par gramme.
MgSO₄ :	sulfate de magnésium.
Na₂SO₄ :	sulfate de sodium.
NaCl :	chlorure de sodium.
NS :	effet non significative
UNESCO :	United Nations Educational and Cultural Organization

Liste des figures

Figure 1 : Schéma représentatif du dispositif expérimental pour l'orge	48
Figure 2 : Schéma représentatif du dispositif expérimental pour le blé dur	49
Figure 3 : Evolution du taux de rétention en eau des graines de l'orge en fonction des doses des sels	58
Figure 4 : Evolution du taux de rétention en eau des graines en fonction de type des sels.....	59
Figure 5 : Evolution du taux de rétention en eau des graines de l'orge en fonction de l'amendement calcique.	60
Figure 6 : Evolution du taux de germination de l'orge en fonction des doses des sels ...	61
Figure 07 : Evolution du taux de germination de l'orge en fonction du type de sel.	61
Figure 08 : Evolution du taux de germination de l'orge en fonction de l'amendement calcique CaCl ₂	62
Figure 09: Evolution de la partie aérienne de l'orge en fonction des doses des sels.	63
Figure 10 : Evolution de la partie aérienne de l'orge en fonction du type de sel.	64
Figure 11 : Evolution de la partie aérienne de l'orge en fonction de l'amendement calcique CaCl ₂	64
Figure 12 : Evolution de la partie racinaire de l'orge en fonction des doses des sels.	65
Figure 13 : Evolution de la partie racinaire de l'orge en fonction de type de sel.....	66
Figure 14 : Evolution de la partie racinaire de l'orge en fonction de l'amendement calcique CaCl ₂	67
Figure 15 : Production de la matière fraîche de l'orge en fonction des doses des sels.....	68
Figure 16 : Production de la matière fraîche de l'orge en fonction du type de sel.....	68
Figure 17 : Production de la matière fraîche de l'orge en fonction de l'amendement ...	69
Figure 18 : Production de la matière sèche de l'orge en fonction de dose des sels	70
Figure 19 : Production de la matière sèche de l'orge en fonction de type des sels	71

Figure 20 : Production de la matière sèche de l'orge en fonction de l'amendement calcique CaCl₂.....	71
Figure 21 : la teneur des plantes de l'orge en (Ca⁺⁺) en fonction de Dose de sel, Type de sel et Amendement calcique CaCl₂.	80
Figure 22 : la teneur des plantes de l'orge en (Mg⁺⁺) en fonction de Type de sel.....	81
Figure 23 : la teneur des plantes de l'orge en (Na⁺) en fonction de Dose de sel, Type de sel et Amendement calcique CaCl₂.	82
Figure 24 : la teneur des plantes de l'orge en (K⁺) en fonction de Dose de sel, Type de sel.	83
Figure 25 : la teneur des plantes de l'orge en (Cl⁻) en fonction de Dose de sel, Type de sel et Amendement calcique CaCl₂.	84
Figure 26: la teneur des plantes de l'orge en (SO₄⁻) en fonction de Dose de sel, Type de sel.	85
Figure 27 : Evolution du taux de rétention en eau des graines de blé en fonction des doses des sels.	87
Figure 28: Evolution du taux de rétention en eau des graines de blé en fonction des l'amendement calcique CaCl₂.....	88
Figure 29: Evolution du taux de germination de blé en fonction des doses des sels.	89
Figure 30: Evolution du taux de germination de blé en fonction du type de sel.....	90
Figure 31: Evolution de la partie aérienne de blé en fonction des doses des sels.	91
Figure 32: Evolution de la partie aérienne de blé en fonction du type de sel.	92
Figure 33: Evolution de la partie aérienne de blé en fonction de l'amendement calcique CaCl₂.....	92
Figure 34: Evolution de la partie racinaire de blé en fonction des doses des sels.	93
Figure 35: Evolution de la partie racinaire de blé en fonction de type de sel.....	94
Figure 36: Production de la matière fraîche de blé en fonction des doses des sels	95

Figure 37: Production de la matière fraîche de blé en fonction du type de sel.....	95
Figure 38: Production de la matière fraîche de blé en fonction de l'amendement calcique CaCl₂.....	96
Figure 39: Production de la matière sèche de blé en fonction de dose des sels.....	97
Figure 40: Production de la matière sèche de blé en fonction de type des sels.....	97
Figure 41: Production de la matière sèche de blé en fonction de l'amendement calcique CaCl₂.....	98
Figure 42: la teneur des plantes de blé en (Ca⁺⁺) en fonction de Dose de sel, Type de sel et Amendement calcique CaCl₂.....	105
Figure 43: la teneur des plantes de blé en (Mg⁺⁺) en fonction de Dose de sel, Type de sel.	106
Figure 44: la teneur des plantes de l'orge en (Na⁺) en fonction de Dose de sel, Type de sel et Amendement calcique CaCl₂.....	107
Figure 45: la teneur des plantes de blé en (K⁺) en fonction de Dose de sel, Type de sel	108
Figure 46 : la teneur des plantes de blé en (Cl) en fonction de Dose de sel, Type de sel et Amendement calcique CaCl₂.....	109
Figure 47 : la teneur des plantes de blé en (SO₄⁻) en fonction de Type de sel... ..	110

Liste des photos

Photo 01 : les solutions préparées pour l'irrigation.....	46
Photo 02 : les grains préparée pour la germination.....	46
Photo 03 : dispositif expérimental pour le blé dur... ..	50
Photo 04 : dispositif expérimental pour l'orge.....	50
Photo 05 : Mesure de la longueur des tiges et les racines... ..	52
Photo 06 : Mesure de la matière fraîche... ..	52
Photo 07: Mesure de la matière sèche.	53

Liste des tableaux

Tableau 01 : Caractéristique des différentes catégories de sols salés	12
Tableau 02 : Caractéristiques principales des sols salins et sodiques	13
Tableau 03 : Distribution régionale des sols salés et sols sodiques en million d'hectares.	20
Tableau 04 : calcification de la qualité des eaux d'irrigation	21
Tableau 05 : Composition des solutions d'irrigation préparées pour l'orge	45
Tableau 06 : Composition des solutions d'irrigation préparées pour le blé dur	45
Tableau 07 Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl_2 sur les paramètres de la croissance de l'orge...	57
Tableau 08 : interaction Dose de sel-type de sel (taux de germination chez l'orge)	72
Tableau 09 : interaction Dose de sel-type de sel (La partie aérienne chez l'orge)	73
Tableau 10 : interaction type de sel-amendement (La partie aérienne chez l'orge)	74
Tableau 11 : interaction dose de sel-amendement (La partie racinaire chez l'orge)	75
Tableau 12 : interaction type de sel-amendement (La partie racinaire chez l'orge)	76
Tableau 13 : interaction dose de sel-type de sel (La production de la matière fraîche chez l'orge)	77
Tableau 14 : interaction type de sel-amendement (La production de la matière fraîche chez l'orge)	78
Tableau 15 : Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl_2 sur la teneur en éléments minéraux (Ca^{++}, Mg^{++}, Na^+, K^+, Cl^- et SO_4^{-}) chez l'orge.....	79
Tableau 16 : Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl_2 sur les paramètres de la croissance de blé	86
Tableau 17: interaction Dose de sel-type de sel (La partie aérienne chez le blé)	99
Tableau 18: interaction type de sel-amendement (La partie racinaire chez le blé).	100

Tableau 19: interaction type de sel-amendement (La Matière fraîche chez le blé).	101
Tableau 20 : interaction Dose de sel-type de sel (La matière sèche chez le blé).	102
Tableau 21 : : Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl_2 sur la teneur en éléments minéraux (Ca^{++}, Mg^{++}, Na^+, K^+, Cl^- et SO_4^{--}) chez le blé	103

Table des matières

Remerciements

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des photos

Liste des tableaux

INTRODUCTION GENERALE..... 2

PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I: Généralités sur la salinité 7

I- salinisation des sols..... 7

I-1- Principaux sels solubles 8

I-2- L'origine de la salinité 10

I-2-1-la roche mère 10

I-2-2-la nappe phréatique 10

I-2-3-la minéralisation de la matière organique 10

I-2-4-Les engrais minéraux..... ..10

I-2-5-Le sel apporté par l'eau d'irrigation.....10

I-3-Les différents types de salinisation 10

I-3-1-La salinisation..... 11

I-3-2-La sodisation 11

I-3-3-L'alcalinisation 11

I-4-les caractéristiques des sols sales..... 12

I-5-Les moyens de lutte contre la salinisation des sols. 14

I-5-1-Le drainage profond 14

I-5-2-La lutte contre les remontées capillaires 14

I-5-3-Eviter les apports d'eau excessifs..... 14

I-5-4-La pré germination et irrigations continues pendant la levée 14

I-5-5-L'utilisation de variétés tolérantes à la salinité 14

II- SALINISATION DES EAUX 14

II- 1-Définition d'une eau saline..... 14

II-2-les principaux sels dissous 16

II-3- l'origine des eaux salines 17

II-3-1- Le domaine marin..... 17

II-3-2- Le domaine continental	17
II-4-Classification des eaux saline	18
II-4-1- Conductivité électrique (CE)	18
II-4-2- Sodium Adsorption Ratio (SAR)	18
III- La salinité dans le monde et en Algérie	19
III-1- Dans le monde.....	19
III-2- En Algérie	20
CHAPITRE II : Physiologie des plantes en milieu salin.....	23
I- Effet des sels sur la plante	23
I-1- Effet de la salinité sur la germination.....	24
I-2 - L'effet de la salinité sur la croissance et le développement	24
I-3-Effet des sels sur les principales fonctions chez les plantes	25
I-3-1-Effet sur l'absorption de l'eau	25
I-3-2-Effet sur la Transpiration	25
I-3-3-Effet sur la photosynthèse	25
I-3-4-Effet sur la nutrition minérale	26
II-Tolérance des plantes a la salinité	26
CHAPITRE III: La nutrition minérale des plantes.....	29
I-Constituants minéraux : Absorption, Rôles, Excès, Carences	30
I-1-Les éléments majeurs	30
I-1-1-L'azote (N)	30
I-1-2-Le phosphore (P)	31
I-1-3-Le potassium (K)	32
I-1-4-Le calcium (Ca)	33
I-1-5-Le magnésium (Mg)	34
I-1-6-Le sodium (Na)	34
I-1-7-Le soufre (S)	35
I-1-8-Le chlore (Cl)	35
I-2-Les éléments mineurs	36
I-2-1-Le fer (Fe).....	36
I-2-2-Le bore (B)	36
I-2-3-Le molybdène (Mo)	37
I-2-4-Cuivre (Cu)	37

I-2-5-Le zinc (Zn)	37
I-2-6-Le manganèse (Mn)	38
II-Les facteurs influençant l'absorption minérale	38
 <i>PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE</i>	
CHAPITRE I: MATERIEL ET METHODES.....	43
I- Objectif de travail.....	43
II- Matériel d'étude.....	43
III -Méthodes d'étude	44
III -1- Protocole expérimentale	44
III -2-Dispositif expérimental.....	47
III-3-Paramètres étudiés	51
III-4-Dosage des éléments minéraux (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO ₄)	53
VI-Analyse statistique	54
CHAPITRE II: RESULTATS ET DISCUSSION.....	57
I-Résultats de l'orge	57
I-1- les paramètres des croissances	57
I-2- La teneur des plantes de l'orge en éléments minéraux (Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , CL ⁻ et SO ₄ ⁻)	79
II-Résultat de Blé Dur	86
II -1- les paramètres des croissances.....	86
II -2- La teneur des plantes de l'orge en éléments minéraux (Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , CL ⁻ et SO ₄ ⁻)	103

Conclusion

Référence bibliographique

Annexe

Introduction

INTRODUCCIÓN

Introduction

Le sol est actuellement considéré comme une interface dans l'environnement et une ressource pour le développement. Naturellement, le sol est une ressource lentement renouvelable. Or, du fait des activités humaines et des mauvaises relations actuelles entre les sols et les sociétés humaines, les sols sont soumis à différentes formes de dégradation, le plus souvent irréversibles. (BOUALLA et *al.*, 2012).

D'après le même auteur BOUALLA et *al.* (2012). La dégradation de la qualité des sols et des eaux suite à l'irrigation constitue un danger sérieux pour la durabilité de ce système d'exploitation des terres. Il est bien connu que la mise en valeur agricole sous irrigation dans les zones semi-arides, et arides conduit le plus souvent à la dégradation de la qualité des sols.

Les écosystèmes arides et semi arides constituent environ 2/3 de la surface du globe terrestre (BOUDA et *al.*, 2010). Ces écosystèmes sont caractérisés par une forte irrégularité des précipitations associés à une importante évaporation favorisant l'accumulation des sels dans le sol ce qui explique la qualité médiocre (saumâtres) des ressources hydriques disponibles dans ces zones (MRANI ALAOUI et *al.*, 2013).

Les processus de dégradation des régions aride et semi aride sont l'appauvrissement des sols en éléments minéraux et la salinisation. L'extension des surfaces irriguées entraîne l'augmentation des superficies salées. Les fortes doses de sel peuvent causer un déséquilibre ionique et une toxicité chez les plantes, ce qui peut affecter certains processus métaboliques vitaux (TAFFOUO et *al.*, 2008).

Le problème de la salinité de sol et de l'eau est un facteur majeur limitant les rendements céréaliers. Physiologiquement, l'impact néfaste de la salinité se traduit par la conjonction d'un effet indirect sur le potentiel hydrique se traduisant par une réduction de la disponibilité de l'eau pour la plante et également par la toxicité et les perturbations de la nutrition minérale (BEN KHALED et *al.*, 2006).

En Algérie, les périmètres irrigués, surtout au sud où les apports en eau sont importants à cause du déficit hydrique (ETP : +2000 mm/an), sont largement affectés par la salinisation secondaire. Cette dernière participe aux chutes des rendements agricoles La rareté de la pluie (<100 mm /an) a contraint les agriculteurs à utiliser les eaux des nappes

phréatiques qui sont fortement minéralisées, défavorable à son utilisation direct pour l'irrigation (DEKHINAT *et al.*, 2010).

D'après HALITIM (1988). La salinisation est un processus pédogénétique fréquent dans les sols d'Algérie. Les sels les plus fréquent dans cette région sont le chlorures et les sulfates de sodium, les sulfates de magnésium et à moindre degré les carbonates de sodium.

De nombreux travaux (SUTCLIFF, 1962 ; RAINS, 1972 ; SLAMA, 1982 ; HAJJI, 1983; WORLD RESOURCES, 1987; BIZID *et al.*, 1988 ; SLAMA 1991 in SNOUSSI *et HALITIM*, 1998.) ont porté sur les effets propres au chlorure de sodium en raison de son importance dans les environnements salins. Pourtant, l'analyse des sols et des eaux d'irrigation a révélé la présence fréquente de nombreux sels autre que NaCl ($MgSO_4$, $CaSO_4$, $MgCl_2$, KCl, Na_2SO_4) susceptibles d'influencer la réaction d'un végétal face à un milieu donné.

La tolérance des plants cultivés vis-à-vis de la salinité varie largement en fonction de l'espèce, de la variété, du stade végétatif et des facteurs liés au milieu (température, humidité, intensité de la lumière, et fertilité) (DAOUD *et HALITIM*, 1994). D'une manière générale, elles sont beaucoup plus sensibles aux premières phases de la végétation en particulier la germination et l'émergence (MASMOUDI *et al.*, 2014). D'après OUHADDACH *et al* (2015) la germination et les premiers stades de croissance sont cruciaux pour l'établissement des espèces se développant dans des environnements salins, le stade plantule est le plus vulnérable 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 germination est souvent limitée par la salinité du sol et se montre plus sensible que les autres stades. La tolérance des végétaux aux sels est un phénomène complexe qui implique des particularités morphologiques et développementales avec des mécanismes physiologiques et biochimiques variés (TAZI *et al.*, 2001). Les céréales font face à la salinité en excluant les ions du Na^+ à partir des pousses. Généralement, le blé tendre est plus tolérant au sel que le blé dur (*Triticum durum* Desf.) alors que l'orge (*Hordeum vulgare* L.) est plus tolérant que les deux précédentes espèces (OUHADDACH *et al.*, 2015).

Dans le cas de stress salin, une double problématique se pose à l'organisme végétal : d'un côté, la présence de sel, en abaissant le potentiel hydrique du sol, menace l'approvisionnement en eau de la plante. De l'autre, l'absorption de sel dans les tissus, menace le bon fonctionnement physiologique des cellules (ANNOU *et OULD EL-HADJ KHELIL*, 2012). D'après KACI *et al* (2012) Le développement d'une plante met en jeu

plusieurs processus physiologiques dont l'absorption des éléments minéraux. Cette absorption demeure la résultante de deux mécanismes, l'un de la pénétration des ions par les racines, l'autre lié au métabolisme de la plante. Des travaux sur l'action de la salinité sur la physiologie des plantes indiquent que le métabolisme est plus ou moins perturbé dans les milieux enrichis en sels; les sels sont susceptibles entre autre de modifier le potentiel minéral.

L'entrée de l'eau dans les tissus du cortex racinaire est assurée par capillarité et osmose. Elle est donc d'autant plus aisée que la solution de sol est à une pression osmotique plus faible. Au fur et à mesure que la salinité de la solution du sol augmente, son potentiel osmotique augmente, ce qui réduit la disponibilité de l'eau par la plante (SNOUSSI et HALITIM, 1998). En réponse à la salinité, la plante réagit de, différentes manières; pour cela les paramètres et les fonctions physiologiques étudiés sont divers (DRIOUICH et RACHIDAI, 1995).

Dans ce cadre s'inscrit notre travail qui vise à déterminer l'influence spécifique quantitatif et qualitatif de la salinité représentée par la concentration, le type de sels et l'amendement calcique sur la germination et la croissance ainsi que sur l'absorption des éléments nutritifs par les plants de deux espèces céréalières : orge (*Triticum vulgare. L*) la variété « Saaida» et de blé dur (*Triticum durum. L*), la variété « Bousselam ».

Le travail sera présenté un trois grands chapitres

Dans une première partie nous abordons un aperçu bibliographique qui contient trois chapitres. La première chapitre sur la salinisation et la deuxième sur leur effet sur les plants et la troisième sur la nutrition minéral des plantes.

Dans la deuxième partie de ce mémoire décrit le matériel biologique et l'ensemble des méthodes utilisées dans notre étude. Les étapes suivies dans l'exploitation de nos résultats ainsi que leur discussion sont présentées dans le troisième partie. Et enfin une conclusion et perspectives.

PARTIE I

SYNTHESE

BIBLIOGRAPHIQUE

BIBLIOGRAPHIQUE

SYNTHESE

Chapitre I

Срѣбѣ I

CHAPITRE I : Généralités sur la salinité

Comme dans tous les pays à climat aride et semis aride, l'évaporation rapide de l'eau pendant la saison sèche a pour conséquence une augmentation de la concentration de divers sels dans l'horizon superficiel des sols. Ainsi, l'accumulation de ces sels peut modifier l'environnement immédiat des cultures ; le développement de la végétation en est alors perturbé. Ces accumulations transforment profondément les propriétés physique et chimique du sol, avec pour conséquence principale, un milieu qui devient non productif (DROUHIN, 1961 in SNOUSSI, 2001).

I- salinisation des sols

La salinisation joue un rôle majeur dans la dégradation des sols et elle menace à court terme une partie non négligeable des superficies cultivables du globe. Ce phénomène correspond à l'accumulation excessive des sels très solubles dans la parties superficielle des sols ce qui se traduit par une diminution de la fertilité du sol (SOUGUIR et al ., 2013).

La salinisation peut aussi être défini comme un processus d'accumulation des sels solubles à la surface du sol et dans la zones racinaires en quantité suffisante pour affecter ses aptitudes agronomiques (MARMOUD, 2006).

La salinité des sols a été mesurée par la résistivité des extraits de sol, qui permet de calculer leur teneur en sels solubles. Cette salinité s'exprime en conductibilité spécifique à 25C⁰, de la solution obtenue à partir du sol en siemens S ou mhoms/m sachant que 1 S/m = 1 rnhos/m (LALLEMAND, 1980).

La salinisation des sols se manifeste par deux voies, qui sont :

1- la salinisation primaire

Tout d'abord, la salinisation implique une accumulation de sel par des processus naturels du fait d'une forte teneur en sel du matériau parent ou des nappes souterraines (ANONYME, 2009).

La salinité primaire elle est d'origine naturelle, due principalement aux sels qui ont pour origine le processus d'altération des roches. La migration puis le dépôt de ces sels solubles dépendent de l'intensité et de la répartition des précipitations et d'autre caractéristique de milieu naturel.

Dans les régions arides et semi-arides, le lessivage et le transport en profondeur des sels dissous n'existent plus et l'évapotranspiration importante favorise la concentration des sels dans le sol (LALLEMAND, 1980).

2- la salinisation secondaire

La dégradation de la qualité des sols et des eaux suite à l'irrigation constitue un danger sérieux pour la durabilité d'exploitation des terres. Il est bien connu que la mise en valeur agricole sous irrigation dans les zones semi-arides et arides conduit le plus souvent à la dégradation de la qualité des sols. Le principal impact est La salinisation secondaire des sols (BADRAOUI *et al.*, 2000).

ANTIPOLIS (2003) la salinité secondaire due à des processus de salinisation liés à des activités anthropiques, cette salinisation concerne des surfaces plus réduites que la salinité primaire mais a des conséquences économiques plus importantes car elle peut dégrader gravement la fertilité de zones cultivées.

Les principales causes de la salinisation secondaire sont:

- Le mauvais fonctionnement des systèmes de drainage/assainissement ;
- La remontée de la nappe phréatique salée et la forte évapotranspiration;
- L'irrigation avec des eaux à forts risques de salinisation et de sodification et l'absence d'exutoire naturel pour l'évacuation des excès d'eau de drainage et d'assainissement (BADRAOUI *et al.*, 2000).

I-1-Principaux sels solubles

Nous distinguons trois grands groupes de sels solubles ; les chlorures, les carbonates et les sulfates (HULIN, 1983 in BOUTELLI, 2012 ; AUBERT, 1982)

I-1-1- chlorures : le chlorure est un sel principal responsable de la formation des sols salés. Il a une solubilité très élevée et une forte toxicité pour les végétaux

Parmi ces sels nous avons :

- Chlorure de sodium (NaCl) : c'est le sel le plus répandu, très soluble et hautement toxique.

- Chlorure de potassium (KCl) : c'est un sel voisin du NaCl : mais peu trouvé dans la nature.
- Chlorure de calcium (CaCl₂) : c'est un sel relativement rare dans les sols, Car il réagit avec Na₂SO₄ ou Na₂CO₃ pour former du CaSO₄ ou CaCO₃



I-1-2- sulfates : les sels sulfatés se trouvent en quantités variables dans les sols, parmi ces sels nous avons :

- Les sulfates de calcium (Ca SO₄) : le gypse (CaSO₄ 2H₂O) est la forme la plus répandue, de point de vue toxicité il est peu dangereux de fait de sa faible solubilité. Mais il peut freiner le développement du système racinaire dans le cas d'une forte accumulation dans le sol.
- Le sulfate de magnésium (MgSO₄) : c'est un composant typique des sols salés, on le trouve souvent dans les eaux souterraines, sa solubilité est très élevée ce qui le rend un sel toxique
- Le sulfate de sodium (Na₂SO₄) ; Composant typique des sols, sa solubilité de l'ordre de 300 g/l, fait de lui un sel hautement toxique.
- Le sulfate de potassium (K₂SO₄) : il se trouve en faible quantité

I-1-3- Carbonates : D'après FAO et UNESCO, 1967 in BOUTELL, (2012)

Les sels carbonatés sont très répandus dans les sols, parmi ces sels nous avons :

- Le carbonate de magnésium : (MgCO₃) sa solubilité est plus élevée, il donne du Mg (HCO₃) en présence de H₂CO₃
- Le carbonate de sodium : (NaCO₃) : C'est un sel très toxique par sa solubilité et son pouvoir alcalinisant.
- Le carbonate de potassium : (K₂CO₃) : Il est extrêmement rare de la trouve en grande quantité, car il est pratiquement comparable à celui de NaCO₃

I-2-L'origine de la salinité

La salinité a plusieurs origines, nous citons les suivantes :

I-2-1-la roche mère : Le sel peut s'être formé pendant la désagrégation de la roche mère (HAJ NAJIB, 2007); l'altération de la roche mère peut libérer les éléments nécessaires à la formation des sels solubles (altération de minéraux primaires riches en sodium, de roches volcaniques, des produits de l'hydrothermalisme riches en soufre et en chlore) (BOUALLA *et al.*, 2012).

I-2-2-la nappe phréatique : D'après SLAMA (2004), la nappe phréatique salée et peu profonde provoque une salinisation de l'horizon de surface du sol par la remontée capillaire. L'aptitude du sol à transmettre l'eau et les solutés vers la surface dépend de la texture, l'homogénéité verticale du profil et de l'horizon de surface s'il est travaillé ou non. Le fort pouvoir évaporescent de climats semi-aride, en été, influence sensiblement l'ampleur de la remontée capillaire.

I-2-3-la minéralisation de la matière organique : comme tout amendement organique, le fumier, lors de son application, peut augmenter la salinité du sol. La quantité de fumier et son pouvoir salinisant varient avec l'espèce animale (SLAMA ,2004).

I-2-4-Les engrais minéraux : utilisation des engrais minéraux, en particulier quand les terres soumises à une agriculture intensive ont une faible perméabilité et des possibilités limitées de lessivage influencent la salinité du sol par l'action spécifique de chacun de leurs ions, ainsi que par les quantités solubilisées (ANONYME ,2009 ; SLAMA, 2004).

I-2-5-Le sel apporté par l'eau d'irrigation : L'eau d'irrigation contient toujours une certaine quantité de sel et des méthodes incorrectes d'irrigation peuvent mener à l'accumulation de ce sel. Pendant l'envahissement par l'eau s'évapore encore en profondeur et le sel transporté se précipite (HAJ NAJIB, 2007).

I-3-Les différents types de salinisation

D'après LACHARME (2001) Ce qu'on appelle en général salinisation regroupe plusieurs mécanismes de dégradation : la salinisation, la sodisation et l'alcalinisation qui sont trois phénomènes différents. Ces mécanismes sont à la base des principales dégradations de sol.

I-3-1-La salinisation : Il s'agit de la concentration de sels neutres dans le profil de sol, en quantité suffisante pour affecter ses aptitudes agronomiques (augmentation de la pression osmotique provoquant un stress hydrique de la plante). Ils ont en général un PH inférieur à 8,5. Leur perméabilité est similaire à un sol non salin. Ces sols ne nécessitent que des nettoyages et un système de drainage efficient (LACHARME, 2001).

I-3-2-La sodisation : La capacité du sol d'échanger des cations est appelée capacité d'échange cationique CEC. La sodisation est mesurée en pourcentage de la CEC occupée par le sodium. Ce pourcentage est nommé ESP ou PSE pourcentage de sodium échangeable. Lorsque la garniture cationique des argiles dépasse un seuil de teneur en sodium (NaH) généralement situé aux environs de 10% (ESP > 10%) et plus, les argiles ont tendance à défloculer (se disperser). Le sol perd alors sa structure et sa perméabilité, il s'effondre. A un stade plus poussé, la sodisation s'accompagne d'une hausse du PH qui se traduit par une régression sévère des aptitudes agronomiques du sol, due en particulier à des carences. Un sol est considéré comme sodique si ESP est supérieur à 15 %. Le PH est seulement supérieur à 8,5 (LACHARME, 2001).

I-3-3-L'alcalinisation : il s'agit d'une élévation du PH du sol sous l'effet de l'accumulation de bases. En simplifiant le phénomène, il est utile de rappeler ceci:

- En milieu aride, et en cas de drainage limité ou nul, la forte évaporation conduit à concentrer les eaux de surface et du sol.
- Lorsqu'une eau même faiblement minéralisée se concentre, sa composition évolue: la teneur en ions augmente. A la limite une évaporation poussée conduira à des eaux concentrées et donc salées.
- Toutes les espèces minérales ne se maintiennent pas en solution au cours de l'évaporation: lorsque le seuil de solubilité du minéral est atteint, il précipite et les ions correspondants cessent donc de se concentrer.
- Le premier minéral qui précipite est la calcite CaCO_3 . Cette précipitation intervient pour une valeur constante du produit des concentrations en calcium et en carbonate. Or l'eau du fleuve est relativement plus riche en carbonate (base faible) qu'en calcium. La précipitation laisse donc des carbonates résiduels en solution. Sa concentration a donc tendance à continuer à augmenter. Ceci entraîne l'accroissement du PH de la solution (LACHARME, 2001).

I-4-les caractéristiques des sols sales

Les sols salés sont des sols dont leur évolution est due à la présence excessive de sels solubles, c'est à dire ceux qui sont plus solubles que le gypse et/ou un fort taux de sodium échangeable. Ce qui leur confère des propriétés physiques, chimiques et biologiques défavorable à la croissance des végétaux (CPCS, 1967).

Les caractéristique chimiques des sols salins sont les suivantes :

- les éléments dominants sont les sels solubles neutres, principalement des chlorures et des sulfates de sodium, calcium et magnésium (HALITIM , 1988);
- le pH du sol est généralement ($7,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$) (DAOUD et HALITIM , 1994);
- une conductivité électrique de plus de 4 dS /m est généralement une limite acceptable au-delà de laquelle les sols sont classifiés comme salins . l'ESP est supérieur à 10 ou 15% (CPCS, 1967);

Tableau 01: Caractéristique des différentes catégories de sols salés (MARMOUD, 2006)

	CE à 25C ⁰ (mS – cm ⁻¹)	ESP
Sol salins	>4	<15
Sols alcalins (sodiques)	<4	>15
Sols alcalino-sains	>4	>15

ce qui fait qu'au niveau physique : l'accumulation de sodium peut avoir une action néfaste sur la structure du sol. En présence de quantité importantes du sodium, le gonflement des terres tel qu'il adoutit à la séparation des particules d'argiles et de la matière organique ; le résultat en est un tassement serré des particules du sol.ce tassage des particules réduit le volume et le nombre des espaces poreux , et de ce fait l'eau et l'air ne peuvent plus circuler dans le sol (DONAHUE , 1965 in SINOUSSE , 2001). La capacité de rétention en eau est très faible (DAOUD et HALITIM, 1994).

Tableau 02: Caractéristiques principales des sols salins et sodiques (MAILLARD, 2001)

Caractéristiques des Sols sal-sodiques (alcalins)	Sols salins	Sols sodiques (alcalins)
Chimiques	- Dominés par des sels solubles neutres : chlorures et sulfates de sodium, calcium et magnésium	- Peu de sels solubles neutres mais généralement des quantités appréciables de sels capables d'hydrolyse alcaline tel que les carbonates de sodium (Na_2CO_3)
	- Le pH de l'extrait de sol saturé généralement de moins de 8,2 (8,7 dans d'autres ouvrages)	- Le pH de l'extrait de sol saturé de plus de 8,2 (ou 8,7) et atteignant souvent 9 ou 10.
	- Conductivité électrique à 25°C ; CE >4Ms/cm	- Conductivité électrique à 25°C CE <4Ms/cm
Physiques	En présence excessive de sels solubles neutres, la fraction argileuse est floculée et le sol est stable.	Un excès en sodium échangeable couplé à des valeurs de pH élevées rend l'argile dispersée et une instabilité structurale du sol.
	La perméabilité à l'eau et à l'air de ces sols est généralement comparable à ceux des sols « normaux ».	La perméabilité à l'eau et à l'air est restreinte. Les propriétés physiques de ces sols s'aggravent avec l'augmentation du pH et du sodium échangeable.
Distribution Géographique	Les sols salins dominent dans les régions arides à semi-arides.	Les sols alcalins se trouvent principalement dans les régions semi-arides et sub-humides.

I-5-Les moyens de lutte contre la salinisation des sols :

Selon LACHARME (2001) Les moyens de lutte contre la salinisation des sols sont :

I-5-1-Le drainage profond : La principale méthode et la plus adaptée pour lutter contre la salinité est la réalisation de systèmes de drainage adaptés pour permettre:

1. un rabattement de la nappe phréatique en dessous d'une cote telle que les remontées capillaires soient très limitées.
2. la création de flux souterrain permettant d'évacuer les sels en excès hors de la parcelle.
3. de couper les flux souterrains d'eau chargée en sels d'une parcelle à un autre.

I-5-2-La lutte contre les remontées capillaires : La première méthode est le rabattement de la nappe phréatique salée par des drains. Autre méthode: il est conseillé rapidement après la récolte de faire un léger travail du sol superficiel pour créer en surface du sol une couche de terre pulvérisée.

I-5-3-Eviter les apports d'eau excessifs : Il faut essayer de trouver un équilibre entre les besoins de la culture et les apports en eau. Tout apport supplémentaire correspondra à un apport de sels supplémentaire, surtout si la culture ne bénéficie pas de systèmes de drainage.

I-5-4-La pré germination et irrigations continues pendant la levée

Dans les zones à risques de salinité moyens et importants, la méthode de pré germination des semences limitera fortement la mortalité due aux sels dans la phase de germination. Il conviendra pendant la phase de levée (période de forte sensibilité du plant

I-5-5-L'utilisation de variétés tolérantes à la salinité : Les problèmes de salinité peuvent être contre balancés par l'utilisation de variétés tolérantes.

II- SALINISATION DES EAUX

Toutes les eaux naturelles utilisées pour l'irrigation contiennent des sels minéraux en solution qui proviennent des roches ou des matières solides à travers lesquelles elles ont filtré. Les matières dissoutes les plus communes sont les chlorures, les sulfates, les bicarbonates de calcium, de magnésium, de sodium, et c'est la concentration et la proportion de ces sels qui déterminent la possibilité d'utiliser une eau pour l'irrigation. D'autres constituants comme le bore, qui a un effet toxique sur les végétaux, peuvent se trouver en moindres quantités dans

l'eau d'irrigation. Si l'eau utilisée pour l'irrigation contient les constituants désignés ci-dessus en quantités excessives, la croissance des végétaux peut affectée (HAYWA, 1957).

II- 1-Définition d'une eau saline

La salinité peut être déterminée directement par la somme des concentrations mesurées en éléments dissous et indirectement, à partir de la conductivité électrique (mS/cm). Toutefois, le terme de salinité est souvent utilisé comme synonyme de chlorinité qui désigne la concentration en chlore dissous sous forme de chlorures (mg/l ou g/l) (KLOPMAN et *al.*, 2011).

La teneur en sels est le critère le plus important pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation . La concentration totale est plus importante car la plupart des cultures répondent à la concentration ionique totale du milieu de croissance (effet osmotique) plutôt qu'à un ion spécifique. Généralement, une augmentation de la teneur en sels dans l'eau d'irrigation résultera dans une augmentation de la salinité de la solution du sol (ANTIPOLIS, 2003).

Usuellement, on considère en fonction de leur salinité, les eaux douces, saumâtres, salines et les saumures (KHARAKA et HANOR, 2005).

- Eau douce: eau dont la salinité est inférieure à 1g/l.
- Eau saline: eau dont la salinité est comprise entre 1 g/l et 35 g/l.
- Saumure: eau dont la valeur de salinité est supérieure à la valeur moyenne de celle de l'eau de mer, c'est-à-dire plus de 35 g/l TDS (3.5×10^4 mg/l TDS).

La salinité d'une eau d'irrigation est plus facilement accessible par la mesure directe de la conductivité électrique (CEi) à l'aide d'un conductimètre électrique dans des conditions standard de température (25°C). La conductivité, inverse d'une résistivité (en ohms), a longtemps été exprimée en mhos (en inversant l'ordre des lettres). Dans le système international on se réfère désormais au Siemens (S), et à ses subdivisions (milli = m et micro = μ), pour exprimer une conductivité électrique :

1dS/m= 1mS/cm= 1 mmhos/cm=0,1S/m=1000 μ S/cm.(MARLET et JOB, 2006).

II-2-les principaux sels dissous : (MORIN, 2009 ; HAYWA, 1957)**II-2-1-Le sodium**

Parmi les sels dissous dans l'eau, le sodium (Na). On utilise le SAR pour classifier les risques reliés au sodium dans les sources d'eau d'irrigation. L'eau caractérisée par un SAR supérieur à 10 aura tendance à produire une accumulation de sodium dans le sol. Le sodium agit au niveau de la défloculation du sol argileux ce qui entraîne une diminution de la macroporosité (air) et du taux d'infiltration de l'eau.

II-2-2-Les chlorures et les sulfates

Lorsqu'ils sont présents dans l'eau d'irrigation, ces éléments contribuent à augmenter la concentration des sels solubles. Des concentrations excessives de chlorures et de sulfates peuvent causer des brûlures sur le bout des feuilles et voire même entraîner la mort des plants. Des concentrations de 250 à 400 ppm sont considérées comme indésirables pour l'irrigation des plantes sensibles aux sels. Heureusement, les sels de chlorure et de sulfate sont rapidement solubles. Ils peuvent donc être lessivés dans les sols qui se drainent bien.

II-2-3-Le bore

Le bore (B) est un élément mineur essentiel à la croissance de la plante mais il n'est requis qu'en minime quantité. Le bore est soluble dans l'eau et on le retrouve dans plusieurs sources d'eau utilisées pour l'irrigation. Lorsque sa concentration dans l'eau excède 1 à 2 ppm, le bore peut être toxique pour le plant. De plus, le bore a tendance à s'accumuler dans le sol en formant des complexes chimiques qui sont difficiles à lessiver.

II-2-4Le bicarbonate

L'abondance des ions bicarbonates (HCO_3^-) dans l'eau d'irrigation mérite aussi d'être évaluée. Dans le cas où l'eau d'irrigation contient un taux élevé de bicarbonates, on constate une tendance à la précipitation du calcium et du magnésium ce qui fait augmenter le SAR. On considère que l'eau d'irrigation est inadéquate pour l'irrigation lorsque la concentration résiduelle de NaHCO_3 est supérieure à 2,5 méq / L. Par contre, si la concentration est en dessous de 1,25 méq / L, l'eau est probablement sécuritaire.

II-2-5 Autres éléments à considérer

D'autres éléments mineurs comme le chrome, le nickel, le mercure et le sélénium peuvent être potentiellement toxiques. Pour la plupart, ils se retrouvent principalement dans les effluents municipaux et industriels.

II-3- l'origine des eaux salines

Le cycle de la salinité dans les eaux continentales peut être subdivisé en deux grands domaines, le domaine « marin » lié directement ou indirectement à l'eau de mer et le domaine « continental » pour lequel les sels dissous sont issus essentiellement de l'interaction avec des roches sédimentaires (hors évaporites marines) et concentrées par l'évaporation (KHARAKA et HANOR, 2005).

II-3-1- Le domaine marin

L'intrusion marine représente l'un des mécanismes de salinisation les plus répandus impactant la qualité de l'eau côtière. Ce phénomène entraîne des niveaux de salinité qui peuvent dépasser les normes de potabilité de l'eau mais également compromettre son aptitude à l'irrigation (JONES et *al.*, 1999 in FEKRACHE, 2014).

Le phénomène d'invasion marine, qui peut s'étendre sur plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres est d'un grand risque pour les régions côtières tributaires des eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau. Sous certaines conditions, l'eau salée se propage à l'intérieur des terres et contamine les eaux de la nappe située à proximité de la mer. Par ailleurs, l'invasion des eaux douces par les eaux salées aura pour effet une dégradation des sols et une salinisation par suite des irrigations avec ces eaux (BOUTKHIL, 2007).

II-3-2- Le domaine continental

Les eaux, initialement faiblement minéralisées, peuvent par interaction avec les roches du bassin versant et par évaporation successive, devenir salines.

Dans le domaine continental / interaction les eaux-roches, les eaux de surface, initialement faiblement minéralisées, peuvent par l'interaction avec les roches du bassin versant et par évaporations successives, devenir salins. Les concentrations en sels peuvent augmenter jusqu'à la précipitation d'évaporites. Notamment dans les zones arides ou semi-arides, les lieux principaux de la formation de sels solides sont les sols agricoles irrigués et les

basins endoréiques où l'évaporation attient ou excède l'influx d'eaux continentales (KLOPMAN et *al.*, 2011).

La répartition des sels dans les milieux continentaux est ensuite la conséquence du fonctionnement hydrologique et de la capacité du milieu à évacuer les sels vers les zones avales et vers les océans. L'accumulation locale de sels suppose alors l'existence d'un mécanisme de concentration lié à l'aridité du climat. C'est donc dans les bassins endoréiques et sous climat aride que les risques d'accumulation de sels sont les plus élevés (MARLET et JOB, 2006).

II-4-Classification des eaux saline

D'après MORIN (2009), les principaux critères utilisés pour décrire une eau saline sont :

II-4-1- Conductivité électrique : (CE)

Le degré de salinité y est indiqué en termes de conductivité électrique qui est une mesure facile à obtenir à l'aide d'appareils peu dispendieux (plus y a de sels dans l'eau plus la conductivité est grande). Cette classification des eaux d'irrigation proposée par l'United States Department of Agriculture (USDA).

Classe Conductivité électrique(CE) Indice de salinité

Classe 1 (C1) 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ basse salinité

Classe 2 (C2) 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ salinité modéré

Classe 3 (C3) 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ haute salinité

Classe 4 (C4) au-dessus de 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ très haute salinité

II-4-2- Sodium Adsorption Ratio: (SAR)

À l'aide du SAR, on divise les eaux d'irrigation en quatre classes. La classification est basée principalement sur l'effet du sodium sur les conditions physiques du sol.

Classe SAR Indice

Classe S1 SAR de 10 et moins bas taux de sodium

Classe S2 SAR de 10,1 à 18 taux moyen de sodium

Classe S3 SAR de 18,1 à 26 haut taux de sodium

Classe S4 SAR au-dessus de 26,1 très haut taux de sodium

Classe S1 - l'eau peut être utilisée sur pratiquement n'importe quel type de sol avec un risque minimal d'accumuler du sodium à un niveau dommageable.

Classe S2 - l'eau présente un danger appréciable d'accumuler du sodium à un niveau dommageable pour les sols ayant une texture fine et une capacité d'échange cationique (CEC) élevée. Par contre, l'eau peut être utilisée dans les sols sableux ayant une bonne perméabilité

Classe S3 - peut produire des niveaux dommageables de sodium dans pratiquement tous les types de sols. L'utilisation d'amendements tels que le gypse pourraient être nécessaires pour échanger les ions sodium. De plus, les pratiques culturales augmentant le drainage seront requises plus fréquemment.

Classe S4 - cette eau est généralement inadéquate pour l'irrigation.

III- La salinité dans le monde et en Algérie

III-1- Dans le monde

Les zones arides et semi-arides constituent environ les deux tiers de la surface du globe terrestre. Dans ces zones souvent marquées par des périodes sévères de sécheresse, la salinisation des sols est considérée comme l'un des principaux facteurs limitant le développement des plantes. A l'échelle mondiale, il est estimé que presque 800 millions d'hectares de terres sont affectés par le sel, que ce soit par la salinité (397 millions d'ha) ou par les conditions de sodisation associées aux teneurs en sodium (434 millions ha). En effet, la salinité s'étend sur plus de 6 % de la superficie totale de la planète, dont 3.8 % sont situés en Afrique. Ce phénomène devient de plus en plus inquiétant car la salinité réduit la superficie des terres cultivables et menace la sécurité alimentaire dans ces régions (BENIDIRE et *al.*, 2015).

La salinisation des terres doit être considérée comme un risque majeur susceptible d'affecter environ 25% des superficies irriguées ou 10% de la production alimentaire mondiale. Au-delà du processus de dégradation des ressources en sol et en eau, il met plus généralement en péril la viabilité des exploitations agricoles et la durabilité des systèmes d'irrigation. Ce risque est particulièrement élevé dans certains pays arides pour lesquels

l'irrigation représente la principale source de développement agricole et de satisfaction des besoins alimentaires (MARLET et JOB, 2006).

Tableau 03 : Distribution régionale des sols salés et sols sodiques en million d'hectares (MARLET et JOB, 2006).

Régions	Superficie totale (10 ⁶ ha)	Sols salés (10 ⁶ ha)	%	Sols sodiques (10 ⁶ ha)	%
Afrique	1899.1	38.7	2.0	33.5	1.8
Asie, Pacifique et Australie	3107.2	195.1	6.3	248.6	8.0
Europe	2010.8	6.7	0.3	72.7	3.6
Amérique latine	2038.6	60.5	3.0	50.9	2.5
Proche orient	1801.9	91.5	5.1	14.1	0.8
Amérique du Nord	1923.7	4.6	0.2	14.5	0.8
Total	12781.3	397.1	3.1	434.3	3.4

III-2- En Algérie

Les sols salins, qui contiennent ou ont contenu aux premiers stades de leur évolution un excès de sels solubles, sont très répandus dans le Tell algérien (où la salinité des sols est le principal problème de la mise en valeur) et dans les Hautes Plaines où ils forment de vastes placages aux alentours des chotts. Ce sont surtout des solontchak où les chlorures de sodium sont en quantités telles (plus de 0,2 %) que la végétation naturelle de la région laisse place à une végétation halophile qui disparaît elle-même lorsque la proportion de sels augmente trop (BENCHETRIT, 1956)

Les sols d'Algérie sont caractérisés en général par une conductivité électrique supérieure à 7dS/m et un pourcentage de sodium échangeable qui varie de 5 à 60 % de la C.E.C (AUBERT, 1975)

DAOUD et HALITIM (1994) notent qu'en Algérie la salinisation secondaire à la suite de l'irrigation avec des eaux diversement minéralisées a entraîné une extension de la salure dans de nombreux périmètre irrigués.

Tableau 04: Classification de la qualité des eaux d'irrigation (DAOUD et HALITIM ,1994) :

Conductivité électriques (dS/m)	Concentration (g/l)	Evolution américaine	Evolution russe	Evolution de Durand pour l'Algérie
$CE < 0.25$	< 0.2	Faiblement salée	Bonne qualité	Non salin
$0.25 < CE < 0.75$	0.2-0.5	Moyennement salée		Salinité moyenne
$0.75 < CE < 2.25$	0.5-1.05	Fortement salée	Risque de salinisation	Forte salinité
$2.25 < CE < 5$	1.5-3	Très Fortement salée		Très forte salinité
$5 < CE < 20$	3-7	Salinité excessive	Ne peut être utilisée sans lessivage	Salinité excessive

Chapitre II

Срѣбѣ II

CHAPITRE II : Physiologie des plantes en milieu salin

I- Effet des sels sur la plante

La présence de sels solubles en forte concentration dans le sol, affecte les mécanismes physiologiques de la plante, et constitue un facteur limitant majeur de la production végétale . Ainsi, la tolérance des plantes cultivées demeure limitée, compte tenu de la complexité des mécanismes impliqués dans la tolérance des plantes au sel (BISSATI, 2011).

PARIDA et DAS (2005) Les conséquences d'un stress salin peuvent résulter de trois types d'effets que le sel provoque chez les plantes :

-Le stress hydrique : 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.

D'après XIONG et al (2002). Le stress osmotique dans les racines se produit quand il y a une forte pression osmotique de la solution autour des racines, en menant à une baisse du potentiel hydrique externe, dans ce cas , l'effet du stress hydrique résultant est attribuable aux fortes concentrations de sel à l'extérieur de la plante plutôt que dans la plante elle-même, qui peut inhiber l'alimentation en eau ou même , en causant la déshydratation de la plante et finalement une réduction de la turgescence et la croissance . Donc limitation de la disponibilité de l'eau cause la réduction du niveau photosynthétique.

- Le stress ionique : en dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique (PARIDA et DAS, 2005).

- Le stress nutritionnel : des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale. En particulier, vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires, le Sodium entre en compétition avec le Potassium et le Calcium, les chlorures avec le nitrate, le phosphate et le sulfate (PARIDA et DAS, 2005).

I-1- Effet de la salinité sur la germination

La germination est considérée comme une étape critique dans le cycle de développement de la plante. En effet, elle conditionne l'installation de la plantule, son branchement sur le milieu, et probablement sa productivité ultérieure. La salinité diminue la vitesse de germination et réduit le pouvoir germinatif. Cet effet dépend de la nature de l'espèce, de l'intensité du stress salin. La réduction du pouvoir germinatif est due à l'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 (HAJLAOUI et *al.*, 2007).

Le stade germination est souvent limité par la salinité du sol et se montre le plus sensible que les autres stades (BOUDA et HADDIOUI, 2011).

La réaction des plantes à la salinité est très différente selon que l'on s'intéresse à la phase de la germination ou à celle du développement. La germination devient un facteur déterminant pour la réussite de la croissance des plantes dans les milieux salés. 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).

I-2 - L'effet de la salinité sur la croissance et le développement

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (BOUAOUINA et *al.*, 2000).

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente. Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines (CHARTZOULAKIS et KLAPAKI, 2000). De même le sel diminue la croissance de l'appareil végétatif par la réduction du nombre des feuilles, réduit la surface foliaire (BEN KHALED et *al.*, 2007).

La salinité diminue la croissance des glycophytes en modifiant l'équilibre hydrique et ionique des tissus, Au niveau des feuilles, ce phénomène est associé à une baisse de turgescence, suite à une diminution du gradient de potentiel hydrique entre la plante et le milieu. La compartimentation des ions entre les organes (racines/parties aériennes), les tissus

(épiderme/mésophylle), ou encore entre les compartiments cellulaires (vacuole/cytoplasme) est l'un des mécanismes d'adaptation à la contrainte saline (OUERGHI *et al.*, 2000).

La salinité accrue est accompagnée par une réduction dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire (MOHAMMAD *et al.*, 1998).

Les effets de la salinité sur la croissance des plantes varient en fonction du type de salinité, de la concentration du sel, de l'espèce, de la variété, de l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif (LEVIGNERON *et al.*, 1995).

I-3-Effet des sels sur les principales fonctions chez les plantes

I-3-1-Effet sur l'absorption de l'eau

La présence de quantités importantes de sels dans la solution du sol abaisse le potentiel hydrique et réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes et ne peuvent développer (TROMBLIN, 2000).

En général. L'activité physiologique est maximale à la pleine turgescence des cellules. La concentration en sels dissous dans la solution du sol accroît, selon son degré, la pression osmotique dans l'environnement racinaire. Ceci se traduit pour la plante par une diminution de la disponibilité de l'eau, donc par une plus grande difficulté pour l'absorption (SLAMA, 2004).

I-3-2-Effet sur la Transpiration

Un sol chargé en ion possède une pression osmotique plus élevée, ce qui nécessite une augmentation de la succion des plantes concernées et ainsi de la transpiration, l'extraction y étant plus difficile. Au bout d'un certain seuil, lorsque la plante est soumise à un stress hydrique trop important les stomates se ferment diminuant la transpiration afin de se préserver (SLAMA, 2004).

I-3-3-Effet sur la photosynthèse

Selon PARIDA et DAS (2005) Le développement des plantes est le résultat de l'intégration et la régulation des processus physiologiques dont le plus dominant est la photosynthèse. La croissance du végétal autant que la production de biomasse est une mesure

de la photosynthèse nette et comme les stress environnementaux affectent la croissance donc affectent la photosynthèse.

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.

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, aussi on a rapporté qu'il y a suppression de la photosynthèse sous les conditions d'un stress salin et qu'elle ne diminue pas mais plutôt stimulée par de petites concentrations de sel. La diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs : (1) la déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO₂, (2) la toxicité du sel, (3) la réduction de l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture hydro active des stomates, (4) la sénescence accrue induite par la salinité et (5) le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique.

I-3-4-Effet sur la nutrition minérale

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 (HAOUALA et *al.*, 2007).

II-Tolérance des plantes a la salinité

Quand les plantes sont exposées à la concentration élevée de sel, elles peuvent développer divers mécanismes pour leur survie.

La réponse au sel des espèces végétales dépend de l'espèce même, de sa variété, de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante (MAALEJ et *al.*, 1998).

La tolérance de la salinité est l'habilité des plantes à croître et compléter leur cycle de vie sur un substrat contenant la forte concentration de sel soluble. Les plantes qui peuvent survivre sur des concentrations élevées de sel dans la rhizosphère et croître normalement sont appelées halophytes. Dépendant de leur capacité à tolérer le sel (PARIDA et DAS, 2005).

Il existe deux principales stratégies que les plantes utilisent pour faire face à la salinité: la compartimentation des ions toxiques au sein de la vacuole et leur exclusion hors de la cellule

D' autre part, les plantes modifient la composition de leur sève; elles peuvent accumuler les ions $[Na^+]$ et $[Cl^-]$ pour ajuster le potentiel hydrique des tissus, nécessaire pour maintenir la croissance. La concentration résultante ou avec une compartimentation entre les divers composants de la cellule ou de la plante (HANANA *et al.*, 2011).

Une plante cultivée sur sol riche en sel doit faire face à sa pénétration dans ses tissus celui-là est rejeté ou accumulé par les différents organes, tissus, cellules et compartiments cellulaires. Les ions chlorure (Cl^-) et sodium (Na^+) pénètrent via les racines, transportés par la sève xylémique jusqu'aux tiges et feuilles. Là ils se trouvent soit stockés (plantes de type incluser), les feuilles sont riche en (Na^+) que les tiges et les racines et le mécanisme de tolérance au sel est dû à la compartimentation des ions toxiques en particulier l'ion sodium dans la vacuole ; soit au contraire ils sont très peu retenus dans leurs feuilles (plantes de type excluser) et cette accumulation décroît selon la séquence racines-tiges feuilles et ces ions sont alors revéhiculés par la sève phloèmeique jusqu'aux racines (LEVIGNEON *et al.*, 1995).

Chapitre III

Срѣбѣ III

CHAPITRE III : La nutrition minérale des plantes

La nutrition minérale de la plante concerne l'ensemble des mécanismes impliqués dans le prélèvement, le transport, le stockage et l'utilisation des ions minéraux nécessaire au métabolisme et à la croissance de la plante (FRANÇOIS et GAUDRY, 2013).

Les principaux éléments qu'ils absorbent sont l'azote (N), le potassium (K), le phosphore (P), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S). D'un point de vue chimique, certains éléments sont directement absorbés sous leurs formes minérales (K^+ , Mg^{++} et Ca^{++}), d'autres, tel que l'azote, sont absorbés le plus souvent sous une forme moléculaire ionisée (nitrate : NO_3^- et ammonium : NH_4^+) (DELAIRE, 2005).

D'après FAO (1999) Les plantes bâtissent leur biomasse en utilisant de l'eau, du bioxyde de carbone de l'air, de l'énergie solaire et des éléments nutritifs puisés dans le sol et dans l'eau.

Pour une croissance optimale de la plante, des éléments nutritifs doivent être disponibles:

- En solution dans l'eau du sol;
- En quantités adéquates et équilibrées, correspondant à la demande immédiate de la culture;
- Sous une forme qui soit accessible au système racinaire (sauf si absorbés à travers le feuillage).

L'absorption minérale s'effectue principalement par le système racinaire qui possède trois fonctions principales : ancrage, absorption hydrominérale et stockage.

La fonction d'absorption est assurée par des transporteurs membranaires et dépend à la fois des caractéristiques édaphiques du milieu (disponibilité en eau, éléments minéraux, température, pH, ...), de la force de puits des parties aériennes (photosynthèse, croissance,...) et enfin du statut minéral du système racinaire lui-même (stockage et remobilisation de réserves). (DELAIRE, 2005).

Les besoins de la plante évoluent au cours de son développement. Aux stades où ils sont nécessaires, les éléments minéraux doivent pouvoir être prélevés par la plante dans le sol. Ils doivent être disponibles en quantités suffisantes et sous une forme disponible. Si les éléments ne sont pas disponibles au moment nécessaire, la croissance de la plante sera limitée et le rendement final plus faible (FAO, 2005)

D'après HELLER (1977) in SNOUSSI (2001) La vitesse de franchissement des membranes des cellules se fait dans l'ordre de facilité décroissante suivant :

-pour les cations(+): $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{Na}^+$

-pour les anions (-): $\text{NO}_3^- > \text{CL}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{PO}_4^{3-} > \text{H}^+$

Les cations s'échangent à égalité de charge électrique: un cation bivalent comme Ca^{++} est remplacé par le cation bivalent Mg^{++} ou par deux cations monovalents: K^+ , Na^+ , NH_4^+ . Mais le pouvoir adsorbant du sol ne s'exerce pas de manière identique vis-à-vis de tous les cations, une affinité spécifique existe. Les cations les plus fortement retenus sont difficiles à adsorber.

D'après LAMRANI (2010) La force de rétention d'un cation est d'autant plus élevée que sa taille est faible et sa charge élevée. Par exemple le Na^+ est beaucoup moins fortement retenu que le K^+ de même charge mais moins hydraté.

L'adsorption et l'échange des anions sont moins bien connus que pour les cations.

La capacité d'échange anionique (C.E.A) est toujours assez faible. Tous les anions sont théoriquement adsorbables. Certains, comme Cl^- , NO_3^- sont tellement faiblement retenus qu'ils sont considérés comme restant libres. Seuls les ions phosphates, les sulfates et quelques anions organiques (oxalique, citrique) sont échangeables.

I-Constituants minéraux : Absorption, Rôles, Excès, Carences :

I-1-Les éléments majeurs

I-1-1-L'azote : (N)

L'azote est un élément fondamental des composés organiques azotés comme les protéines, les vitamines, la chlorophylle, etc. De plus, l'azote a une certaine action gonflante sur les colloïdes: il augmente la pression dans les cellules (KALI et POTASSE, 2004).

La teneur en azote varie le plus souvent entre 1 et 5% de la matière sèche. En général l'absorption d'azote sous forme d'ion nitrate (NO_3^-) ou ammonium (NH_4^+). On peut prétendre que l'azote est le plus indispensable des éléments minéraux, car sa présence est essentielle dans les deux fractions fondamentales de la matière vivante:

-entré dans la synthèse des protéines.

-L'azote nécessaire à la multiplication cellulaire et au développement des organes végétatifs (LAMRANI, 2010).

L'excès d'azote provoque un développement végétatif intense, les feuilles sont vert-foncée, les plantes sont succulentes et très digestibles et il y a réduction des parties ligneuses. La maturité et par conséquent la récolte sont retardées car l'azote stimule la croissance végétative au déterminent des organes de reproduction. En cas d'excès d'azote, les céréales sont sujettes à la verse (ELALAOUI, 2007 a)

Lorsque l'alimentation azotée est perturbée, les différents organes des plantes sont plus petits, et les rendements diminués. La carence azotée conduit à une plus faible densité des peuplements (tallage), à une fructification précoce et à une teneur réduite en protéines. Un approvisionnement médiocre ou excessif en N diminue la qualité (KALI et POTASSE, 2004).

I-1-2-Le phosphore (P) :

Le phosphore (P) est le nutriment intervenant dans les transferts d'énergie de la plante, d'une importance vitale pour la synthèse des protéines, la photosynthèse et la transformation de sucres. Le P est un composant intégral de composés importants des cellules végétales, incluant les sucres phosphates, les intermédiaires de la respiration et la photosynthèse ainsi que les phospholipides composant les membranes végétales. Il est également un composant des nucléotides utilisés dans le métabolisme énergétique des plantes (comme ATP) et dans l'ADN et l'ARN (BORIN et *al.*, 2013).

Les teneurs les plus fréquentes se situent entre 0,1 et 0,5% de la matière sèche (LAMRANI, 2010). Le phosphore de la solution du sol qui peut être utilisé immédiatement par la plantes. Trois ions phosphore existent : H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} . Ce dernier ne se rencontre en quantité notable qu'aux valeurs élevées du pH. La plantes absorbe le phosphore sous forme H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , selon le pH du sol (ELALAOUI, 2007 a).

Les plantes carencées en P ont une croissance ralentie; le développement des racines et la densité des populations (le tallage) sont réduits; la floraison et la maturation sont retardées. Une carence en P provoque une diminution de la production de protéines et de vitamines (KALI et POTASSE, 2004). Chez les céréales, les carences se manifestent parfois par des colorations pourpres ou violacées sur les bords du limbe, sur la pétiole, sur l'ensemble des feuilles ou sur la tige (ELALAOUI, 2007 a).

Bien qu'on observe rarement des symptômes d'excès en phosphore dans la nature, cet excès se manifeste par une croissance limitée et un jaunissement chlorotique général. En présence de très hautes teneurs foliaires en phosphore (de l'ordre de 1 à 3% dans la matière sèche). On observe pour le blé un flétrissement progressant de la pointe vers la base des feuilles. Pour l'orge des nécroses blanc-gris à la pointe et à la périphérie des feuilles (ELALAOUI, 2007 a).

I-1-3-Le potassium (K) :

Le potassium (K) est le cation le plus abondant que l'on trouve sur la planète et a une fonction importante dans l'état énergétique de la plante, dans la translocation et le stockage des assimilant (produits de la photosynthèse) (BORIN et *al.*, 2013). Les teneurs du potassium sont assez variables. La matière sèche en renferme de 0.3% à 5% (LAMRANI, 2010).

Selon KALI et POTASSE (2004) Le potassium joue le rôle d'activateur de différents enzymes. Il est l'élément le plus important qui permettant l'augmentation de la pression cellulaire. Le potassium régularise l'économie de l'eau dans la plante et réduit l'évaporation; il en accroît donc la résistance à la sécheresse. Les plantes bien alimentées en K ont des parois cellulaires plus épaisses, ce qui augmente leur résistance à la verse ainsi qu'aux attaques de champignons et d'insectes. Le potassium améliore le rendement de l'assimilation chlorophyllienne et la résistance au gel. Les légumineuses, la pomme de terre, les betteraves, le maïs et l'avoine ont des besoins élevés en K.

Le potassium est absorbé par la plante sous sa forme ionique (K^+) (ELALAOUI, 2007 a).

Les plantes carencées en potassium ont une production de matière sèche restreinte ; Les feuilles sont d'abord vert brunâtre, puis peuvent prendre une coloration rouge brunâtre. Une chlorose apparaît et se développe à partir du bord des feuilles âgées, qui rapidement finissent par dépérir. Les plantes manquent de turgescence et se flétrissent. Les feuilles se recourbent ou s'enroule (KALI et POTASSE, 2004). Sur céréales, les symptômes de carence se remarquent par un jaunissement de la pointe des feuilles (ELALAOUI, 2007 a).

L'excès de potassium provoque une absorption insuffisante de calcium et magnésium (YASH, 1998 ; ELALAOUI, 2007 a).

I-1-4-Le calcium (Ca) :

Le calcium fait partie des éléments minéraux essentiels à la croissance d'une plante. Avec l'azote et le potassium, il est un des éléments dont les teneurs sont les plus élevées dans les tissus végétaux (LACROIX, 1999). La teneur en calcium est assez variables de 0.2 à 1 % de la plante. Absorbé sous forme (Ca^{++}) (YASH, 1998).

Le calcium (Ca) a beaucoup d'effets sur la croissance et le développement de la plante, lui étant attribué le rôle de messenger secondaire dans de nombreuses réponses de la plante. Il est essentiel au maintien de l'intégrité structurelle des membranes et des parois cellulaires lors du processus de division cellulaire, durant l'absorption ionique, la germination du grain de pollen et pendant la croissance du tube pollinique. Sa présence dans la solution du sol est fondamentale pour le développement des racines (BORIN et *al.*, 2013). Par son rôle structural, le calcium contribue à maintenir la qualité des fleurs, des fruits et des légumes à la suite de la récolte (LACROIX, 1999).

Un manque de calcium implique une perte de cohésion entre les cellules, qui se traduit par une brûlure de l'apex ou de la marge des jeunes feuilles. Avec l'expansion foliaire, du mal formations et du gaufrage apparaissent sur les feuilles affectées. Sur les fruits les dommages apparaissent à leur apex. Ils se caractérisent par une lésion affaissée brune ou noire (LACROIX, 1999).

Le calcium n'est pas un élément toxique pour la plante, même à des concentrations élevées. Les effets sont indirects. Dans le sol, des teneurs élevées en calcium engendrent une augmentation du pH, ce qui diminue l'absorption de certains éléments, comme le bore (B), le fer (Fe), le manganèse (Mn) et le zinc (Zn). La faible absorption de ces éléments peut induire l'apparition de symptômes sur la plante. Tel qu'indiqué précédemment, le calcium entre en compétition avec l'absorption d'autres cations, comme le magnésium (Mg) et le potassium (K), ce qui peut provoquer une carence en ces éléments.

Des quantités élevées de calcium dans les fruits peuvent conduire à l'apparition de symptômes à la suite de la neutralisation d'acides (LACROIX, 1999).

I-1-5-Le magnésium (Mg) :

Le magnésium est un constituant primordial de la chlorophylle, il joue donc un rôle important dans la photosynthèse. Il favorise la mobilité des sucres et du phosphore dans la plante et est aussi un activateur important d'enzymes (FAO, 2005). La teneur de la matière sèche en magnésium est 0,2% à 1% (YASH, 1998). La chlorophylle riche en magnésium 5 %à 15% du magnésium total de la plante (ELALAOUI, 2007 a).

Le Mg est activateur de nombreuses enzymes. Toutes les enzymes, phosphorylases (incorporation et transfert de phosphore inorganique – Pi) dépendent de la présence du Mg, qui forme un pont entre l'ATP ou l'ADP et la molécule de l'enzyme. Le transfert de l'énergie de ces composés est fondamental lors des processus de photosynthèse, la respiration (glycolyse et le cycle des acides tricarboxyliques), réaction de synthèse de composés organiques (hydrates de carbones, lipides et protéines), absorption ionique (principalement de P) et le travail mécanique exécuté par la plante (BORIN *et al.*, 2013).

Les symptômes de carence en magnésium se caractérisent par une croissance lente, La carence se manifeste par une chlorose, les feuilles se décolorent mais les nervures restent vertes. La carence est assez fréquente dans les sols artificiels et lorsqu'il y a excès de potassium (KALI et POTASSE, 2004).

D'après CHOUARD (1952), HELLER (1977) in SNOUSSI (2001) l'excès de magnésium provoque un déséquilibre, avec absorption insuffisante du potassium. La croissance des tiges et des racines est souvent exagérée. La floraison et la fructification sont diminuées.

I-1-6-Le sodium (Na)

Le sodium n'est pas un élément essentiel pour les plantes, mais il peut être utilisé en petites quantités, comme les micronutriments, afin d'aider au métabolisme et à la synthèse de la chlorophylle. Chez certaines plantes, il peut être utilisé comme substitut partiel du potassium; il aide à l'ouverture et à la fermeture des stomates, ce qui contribue à réguler l'équilibre hydrique interne (LAMRANI, 2010).

Le sodium est présent dans tous les végétaux en quantité très variable 0,001 à 0,1% de la matière sèche, mais toujours inférieure au potassium (DIEHIL, 1975 in SNOUSSI, 2001)

Il n'y a pas de symptômes de carence en sodium, puisqu'il ne s'agit pas d'un élément essentiel (LAMRANI, 2010).

Le sodium diminuée la croissance des plantes, provoque une chlorose (jaunissement) et une nécrose (tissus mort) des feuilles (WILLIAM et HOPKINS, 2003)

I-1-7-Le soufre (S) :

Le soufre se trouve chez tous les végétaux à un taux souvent comparable à celui du phosphore de 0.1 à 0.5 % de la matière sèche (GRILL, 1957). Le soufre est absorbé à partir du sol sous forme d'ion SO_4^{2-} . Il peut être absorbé à partir de l'air sous forme d'oxyde SO_2 quand l'atmosphère est riche en soufre provenant des sources industrielles (ELALAOUI, 2007 a). Le soufre est nécessaire à la croissance des plantes. Il est un constituant des acides aminés sulfurés et joue un rôle essentiel dans le métabolisme des vitamines (FAO, 2005).

Le soufre est considéré comme un élément peu mobile dans la plante. Les effets de sa carence se manifestent d'abord sur les jeunes organes qui présentent une chlorose liée à une diminution de la teneur en chlorophylle. Les symptômes de carence se manifestent par une couleur vert-pale ou jaunâtre des jeunes feuilles. Les nervures sont souvent plus claires que le reste de la feuille et la plante est d'un vert clair. On observe aussi un dessèchement comme pour une carence en azote. Les plantes sont chétives, petite et à croissance retardée (ELALAOUI, 2007 a).

L'excès en soufre se traduit par une sénescence prématurée des feuilles et un durcissement des tiges (YASH, 1998).

I-1-8-Le chlore (Cl) :

La plante absorbe le chlore sous sa forme ionique Cl^- , qui est très répandue dans la nature, est très soluble (ELALAOUI, 2007 a). La teneur des plantes en chlore est 0.2 à 2 % de la matière sèche (YASH, 1998). Le chlore est indispensable dans les réactions photosynthétiques productrices d'oxygène. Cl^- est un anion très mobile qui remplit deux fonctions principales : il est à la fois un contre ion qui maintient la neutralité électrique à travers les membranes et il est l'un des principaux solutés osmotiquement actifs dans la vacuole. L'ion de chlorure semble également nécessaire à la division cellulaire dans les feuilles et les pousses feuillées. Le chlore est facilement absorbé et la plupart des plantes l'accumulent à des concentrations largement supérieures à leurs besoins minimaux (WILLIAM et HOPKINS, 2003).

Les plantes carencées en chlore présentent une croissance réduite, le flétrissement des extrémités des feuilles, les plantes peu affectées par les maladies (YASH, 1998).

L'excès en chlorure provoque un jaunissement prématuré des feuilles inférieures avec une brûlure des marges des feuilles et la chute des feuilles. Les plantes se flétrissent facilement (YASH, 1998).

I-2-Les éléments mineurs

Les oligo-éléments ou les micronutriments sont des éléments essentiels à la croissance des plantes et se distinguent par le fait d'être absorbés en petites quantités. La carence ou l'excès d'approvisionnement en microéléments induit des désordres physiologiques (BORIN et al., 2013).

I-2-1-Le fer (Fe) :

De tous les microéléments, le fer est celui dont les plantes ont le besoin le plus important. Le fer peut être absorbé sous la forme de l'ion ferrique (Fe^{3+}) ou ferreux (Fe^{2+}) bien que ce dernier plus soluble, (WILLIAM et HOPKINS, 2003). Le fer est nécessaire à la synthèse de la chlorophylle; de plus, il entre dans la composition de certains enzymes (KALI et POTASSE, 2004).

Les carences en fer provoquent invariablement à la fois, une perte en chlorophylle et une dégénérescence de la structure du chloroplaste. Les signes de chlorose apparaissent d'abord dans les régions comprises entre les nervures des feuilles les plus jeunes. Les feuilles peuvent devenir blanches (WILLIAM et HOPKINS, 2003).

L'excès en fer provoque des chloroses et des nécroses racinaires (YASH, 1998).

I-2-2-Le bore (B) :

Les fonctions du bore (B) dans la plante sont associées à celles du calcium au niveau de la régulation du fonctionnement de la membrane et de la paroi cellulaire, à la division et à l'augmentation des cellules, à la lignification de la paroi cellulaire, essentiel à la formation des tissus méristématiques. Il influence le développement des racines, l'absorption des nutriments et la germination du grain de pollen, participe au métabolisme et au transport des hydrates de carbone à travers la formation de complexes borate-sucres, important dans la synthèse des protéines ; il agit sur le métabolisme des acides nucléiques et également sur le

métabolisme et le transport des auxines (BORIN et al, 2013). Les plantes prélèvent le bore sous forme d'acide borique (H_3BO_3) (ELALAOUI, 2007 b).

La carence en bore se caractérise par une croissance ralentie; les organes les plus jeunes et particulièrement les bourgeons terminaux sont endommagés (pourriture). Des fentes liégeuses apparaissent sur les tiges et les racines (KALI et POTASSE, 2004).

L'excès en bore provoque un enroulement des feuilles et nécroses des limbes (CAHUREL, 2008).

I-2-3-Le molybdène (Mo) :

Le molybdène (Mo) est un composant de différentes enzymes, comprenant du nitrate réductase, favorisant donc le métabolisme de l'azote dans la plante (BORIN et al., 2013), Mo joue un rôle important dans la fixation biologique de l'azote par les bactéries des nodosités des légumineuses et intervient dans le métabolisme du phosphore (KALI et POTASSE, 2004).

La croissance ainsi que la photosynthèse sont diminuées en cas de carence en molybdène; on peut constater une accumulation d'azote nitrique dans la plante (KALI et POTASSE, 2004).

I-2-4-Cuivre (Cu) :

Le cuivre entre dans la composition de différents enzymes responsables de certains processus métaboliques dans la plante. Le cuivre favorise la synthèse des hydrates de carbone et des protéines. Il évite également une dégradation précoce de la chlorophylle: les plantes gardent plus longtemps un aspect vert et juvénile (KALI et POTASSE, 2004).

Le carence en cuivre provoque une Diminution de la synthèse des hydrates de carbone et des protéines. Chlorose (décoloration) et blanchissement de la pointe des feuilles (KALI et POTASSE, 2004). Son excès a des effets toxiques. système racinaire extrêmement réduit, plus ou moins remontant (CAHUREL, 2008).

I-2-5-Le zinc (Zn) :

Le zinc joue un rôle important dans des processus biochimiques dans la plante, entre autres pour la production de chlorophylle et des hormones de croissance. Le zinc est l'activateur de l'enzyme anhydrase carbonique, enzyme essentielle pour l'utilisation de l'acide carbonique (ELALAOUI, 2007 b).

Le Carence en Zn provoque un Réduction de la synthèse des hydrates de carbone et des protéines, Chlorose des jeunes feuilles (YASH, 1998).

I-2-6-Le manganèse (Mn) :

Le manganèse (Mn) est essentiel à la synthèse de la chlorophylle et sa fonction principale est liée à l'activation d'enzymes; Parmi ces autres fonctions, le manganèse est nécessaire afin de rompre la molécule d'eau, à l'évolution de l'O₂ et afin de permettre le débit du flux d'électrons dans la photosynthèse (BORIN et *al.*, 2013).

La carence en manganèse se manifeste par une croissance diminuée et un ralentissement de la synthèse des hydrates de carbone et des protéines (KALI et POTASSE, 2004).

II-Les factures influençant l'absorption minérale

La composition minérale de chaque organe ou tissu change durant son développement sous l'influence de plusieurs facteurs.

L'irrégularité plus ou moins grande des conditions climatiques entraîne des fluctuations annuelles parfois considérables sur la nutrition des plantes (LAMRANI, 2010).

RYSER et HELLER (1997), signalent que le climat peut jouer un rôle déterminant dans la disponibilité du manganèse pour les plantes, en effet, une déficience en manganèse peut être aggravée quand le climat est froid et humide, ou lors des étés secs. TREMBLAY et *al* (2001), indique qu'un temps ensoleillé et chaud améliore l'absorption de l'azote puisque la vitesse de la photosynthèse est plus élevée dans de telles conditions.

Les déficiences en certains éléments dans la plante, peuvent être en relation directe avec leur disponibilité dans le sol, c'est par l'intermédiaire des racines que s'établissent les relations entre la plante et le sol, ainsi les racines jouent elles un rôle essentiel dans l'alimentation en eau et en élément minéraux des plantes. Encore faut-il qu'elles soient en mesure de remplir leurs fonctions. Cette possibilité dépend en effet des propriétés du milieu: conditions physico-chimiques du sol, température et régime hydrique qui vont conditionner le développement et l'absorption racinaires, mais aussi la disponibilité plus ou moins grande des divers éléments minéraux, et de l'état sanitaire des racines (LAMRANI, 2010).

Selon le même auteur le pH du sol exerce également une influence sur la disponibilité, l'assimilation des éléments minéraux et la composition minérale de la plante. Par exemple,

une acidité trop accusée risque d'entraîner des carences (ex: Molybdène) ou la libération excessive dans le sol de certains éléments comme le Manganèse ou l'Aluminium ($\text{pH} < 5$) engendrant des phénomènes de toxicité tels que brûlures sur feuilles ou nécroses foliaires. A l'inverse, un pH trop alcalin peut engendrer des carences en certains éléments minéraux tels que le Manganèse ou le Fer.

Partie II

Etude expérimentales

Etude expérimentales

Partie II

Chapitre I

Срѣбѣ I

Matériel et Méthode

Matériel et Méthode

CHAPITRE I: MATERIEL ET METHODES

I- Objectif de travail

L'objectif de ce travail est de déterminer l'effet spécifique quantitatif et qualitatif de la salinité représentée par la concentration et le type de sels en présence de l'amendement calcique CaCl_2 sur la germination et la croissance ainsi que sur l'absorption des éléments minéraux par les plants de l'orge et de blé dur.

Les sels utilisés sont : NaCl , MgSO_4 , Na_2SO_4 et KCl avec les concentrations (6, 8 et 10 g/l) pour l'orge et (3, 6 et 9 g/l) pour le blé dur, combinées avec des doses (0, 0.25, 0.5 ,1 ,1.5 g/l) d'un amendement calcique représenté par CaCl_2 .

L'expérimentation est effectuée au laboratoire dans des conditions ambiantes, au département d'agronomie à l'université de Biskra.

II- Matériel d'étude

II -1- Matériel végétal

La présente étude a porté sur deux variétés, la variété saïda pour l'orge et la variété Bousselam pour le blé dur.

Caractéristiques des variétés étudiées :

II-1-1- Saïda : orge à 6 rangs d'origine locale, variété de bonne valeur agronomique, et de rendement moyen mais très sensible aux maladie cryptogamique (BENMAHAMMED et *al.*, 2004).

II-1-2-Bousselam : C'est une variété haute de paille, présentant des épis blancs. Elle se caractérise par une forte capacité de tallage herbacé. Elle montre aussi une performance de rendement plus élevée que celles de Waha et Mohamed Ben bachir (ANNICHIARICO et *al.*, 2005 in TOUAHRIYA, 2012).

II -2 matériel utilisés :

II-2-1-Boite de pétri : L'essai est réalisé dans des boites de pétri en plastique de 4.5cm de diamètre, un papier filtre est posé sur la base de chaque boite.

II-2-2- Les sels utilisés : les sels utilisés dans cette expérimentation pour préparer les solutions d'irrigation sont : NaCl , MgSO_4 , Na_2SO_4 , KCl et CaCl_2 (amendement calcique).

III -Méthodes d'étude

III -1- Protocole expérimentale

Le travail a déroulé en laboratoire en deux parties, la première partie sur :

- la germination et la croissance de l'orge
- la germination et la croissance de blé dur.

La deuxième partie sur :

-Les analyses chimiques des plants de l'orge et le blé dur pour déterminer la teneur de ses plantes en Ca, Mg, Na, K, Cl et SO₄.

III -1-1-Préparation de solutions d'irrigations :

Les solutions d'irrigation sont préparées par la dissolution des sels (NaCl (NC), MgSO₄ (MS), Na₂SO₄ (NS) et KCl (KC)) dans l'eau distillée.

Les doses sont (6, 8, et 10 g/l) pour l'orge, et (3, 6 et 9 g/l) pour le blé dur de chaque sel ci-dessus combinées avec différentes doses de CaCl₂ comme amendement calcique : (0, 0.25, 0.5, 1 et 1.5g /l), donc l'essai comporte 60 solutions d'irrigation. Les solutions sont mises dans des bouteilles en plastique avec étiquettes bien lavées et rincées avec l'eau distillée.

L'usage de CaCl₂ dans cette composition s'impose en raison du rôle physique du calcium chez les végétaux dans la régulation de la croissance et le développement. Le chlorure de calcium est un sel soluble moins toxique que le NaCl; il joue le rôle d'un catalyseur de croissance, permet la fixation d'azote et possède la capacité de précipiter les substances toxiques que les plantes sécrètent (KREIMER *et al.*, 1985).

Tableau 05: Composition des solutions d'irrigation préparées pour l'orge

	6 g/l				8 g/l				10g/l			
CaCl ₂ (g/l)	NC	MS	NS	KC	NC	MS	NS	KC	NC	MS	NS	KC
0	6g/l	6g/l	6g/l	6g/l	8g/l	8g/l	8g/l	8g/l	10g/l	10g/l	10g/l	10g/l
0.25	6,25 g/l	6,25 g/l	6,25 g/l	6,25 g/l	8,25 g/l	8,25 g/l	8,25 g/l	8,25 g/l	10,25 g/l	10,25 g/l	10,25 g/l	10,25 g/l
0.5	6,5 g/l	6,5 g/l	6,5 g/l	6,5 g/l	8,5 g/l	8,5g/ 1	8,5 g/l	8,5 g/l	10,5 g/l	10,5 g/l	10,5 g/l	10,5 g/l
1	7g/l	7g/l	7g/l	7g/l	9g/l	9g/l	9g/l	9g/l	11g/l	11g/l	11g/l	11g/l
1.5	7,5 g/l	7,5 g/l	7,5 g/l	7,5 g/l	9,5 g/l	9,5 g/l	9,5 g/l	9,5 g/l	11,5 g/l	11,5 g/l	11,5 g/l	11,5 g/l

Tableau 06: Composition des solutions d'irrigation préparées pour le blé dur

	3g/l				6g/l				9g/l			
CaCl ₂ (g/l)	NC	MS	NS	KC	NC	MS	NS	KC	NC	MS	NS	KC
0	3g/l	3g/l	3g/l	3g/l	6g/l	6g/l	6g/l	6g/l	9g/l	9g/l	9g/l	9g/l
0.25	3,25 g/l	3,25 g/l	3,25 g/l	3,25 g/l	6,25 g/l	6,25 g/l	6,25 g/l	6,25 g/l	9,25 g/l	9,25 g/l	9,25 g/l	9,25 g/l
0.5	3,5 g/l	3,5 g/l	3,5 g/l	3,5 g/l	6,5 g/l	6,5 g/l	6,5 g/l	6,5 g/l	9,5 g/l	9,5 g/l	9,5 g/l	9,5 g/l
1	4 g/l	4 g/l	4 g/l	4 g/l	7 g/l	7 g/l	7 g/l	7 g/l	10 g/l	10 g/l	10 g/l	10 g/l
1.5	4,5 g/l	4,5 g/l	4,5 g/l	4,5 g/l	7,5 g/l	7,5 g/l	7,5 g/l	7,5 g/l	10,5 g/l	10,5 g/l	10,5 g/l	10,5 g/l



**Photos 01 : les solutions préparées pour l'irrigation
(Photos original)**

III -1-2-Préparation des graines :

Les graines sont nettoyées dans une solution aqueuse de l'eau de javel à 1 % pendant 10 minutes de façon à éliminer les bactéries et les spores de champignons adhérant à leur surface Elles ont ensuite été rincées par l'eau distillée. nous avons compté 40 graines que nous avons placées sur le papier filtre dans les boîtes de Pétri.



**Photo 02 : les grains préparée pour la germination
(photo originale)**

III -2-Dispositif expérimental :

Les dispositifs expérimentaux utilisés est de type split plot comprend 60 traitements avec 03 répétitions, Les boîtes sont disposées aléatoirement. Les traitements sont quatre types des sels (NaCl, MgSO₄, Na₂SO₄ et KCl) avec 3 concentrations (6, 8,10 g/l pour l'orge et 3, 6,9 g/l pour le blé dur), chaque concentration de chaque sel et combinée avec les différente doses de l'amendement calcique CaCl₂ (0, 0.25, 0.5, 1et 1. 5 g/l).

L'arrosage se fait chaque jour, avec une dose de 5 ml de solution spécifique d'irrigations pour chaque traitement.

Le dispositif est subdivisé en trois blocs comme suite :

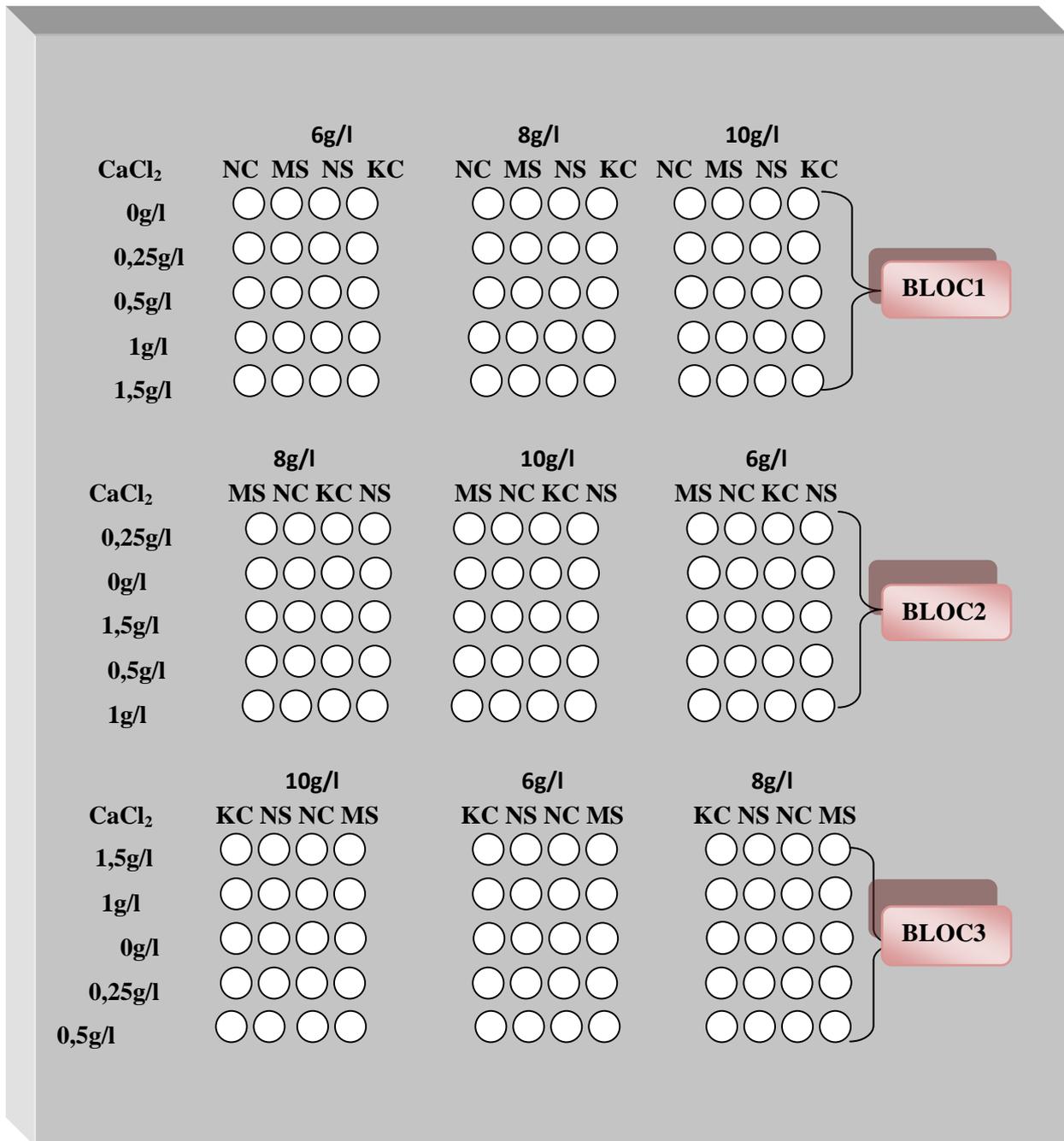


Figure 01: Schéma représentatif du dispositif expérimental pour l'orge

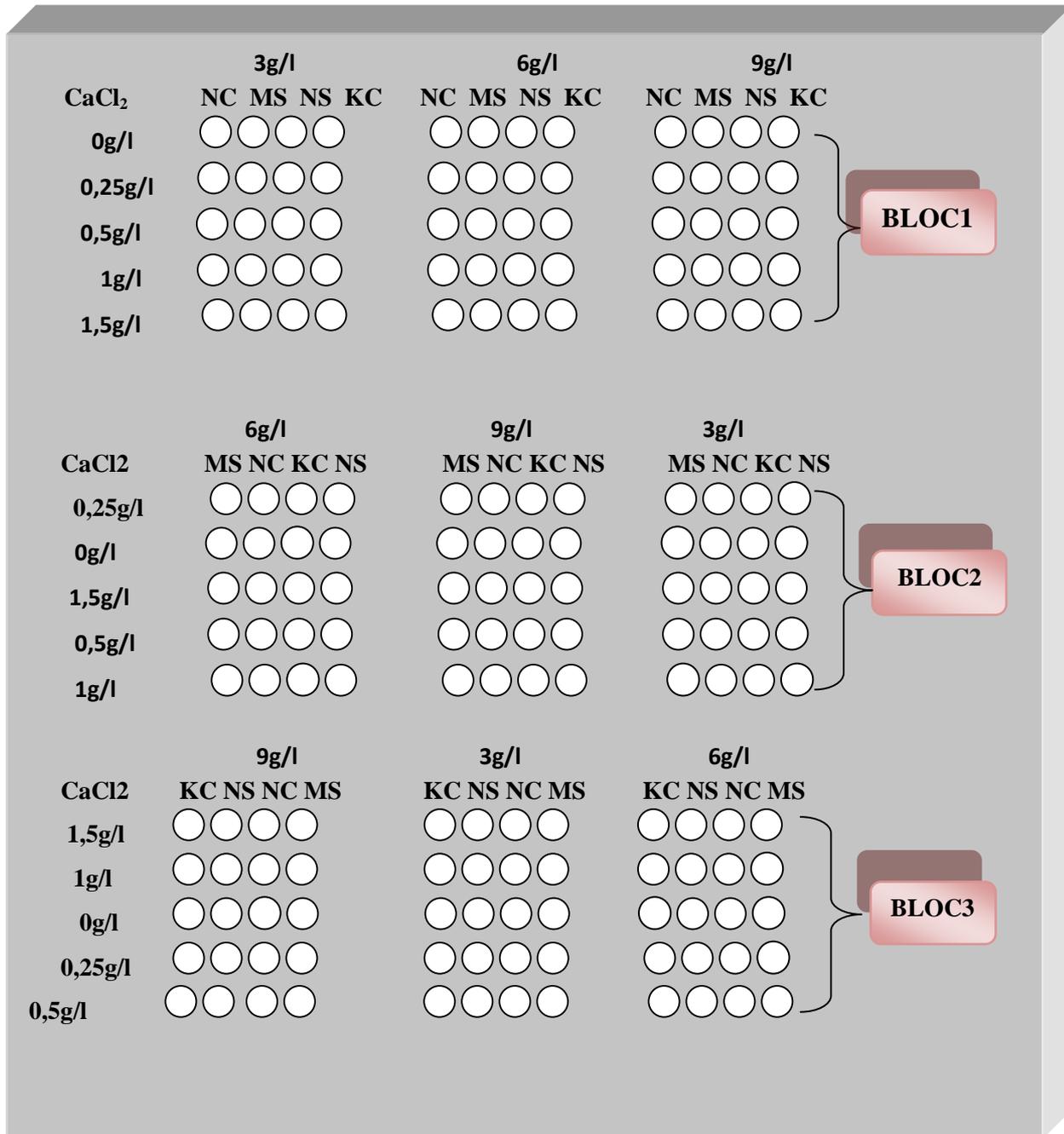


Figure 02: Schéma représentatif du dispositif expérimental pour le blé dur.

Photos 03 : dispositif expérimental pour le blé dur (Photos original)



Dose : 3g/l



Dose : 6g/l



Dose : 9g/l

Photos 04 : dispositif expérimental pour l'orge (Photos original)



Dose : 6g/l



Dose : 8g/l



Dose : 10g/l

III-3-Paramètres étudiés

III -3-1-Les paramètres physiologiques

III -3-1-1- la rétention en eau des graines

La teneur relative en eau caractérise l'état hydrique de la graine, la rétention en eau est réalisée après 24 heures de l'irrigation. Elle est calculée par la formule suivante :

$$\text{La rétention en eau \%} = (p_2 - p_1)/p_1 * 100$$

P1=poids initial des grains

P2=poids des grains après l'absorption de l'eau

III -3-1-2- Le taux de germination

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

Le taux de germination final a été déterminé à la fin des 15 jours d'après la formule suivante

$$\text{Le taux de germination \%} = (\text{Nombre de graines germées} / 40) * 100$$

III -3-2-Les paramètres morphologique

III -3-2-1- La longueur des tiges et des racines

Pour déterminer l'effet du stress salin sur la croissance nous avons mesuré la hauteur de la tige et les racines. Avant prélèvement de matériel végétal nous avons mesuré la hauteur de la tige et racine en centimètres (cm) à l'aide d'une règle graduée. On a choisi cinq plantules représentatives de chaque traitement. Les valeurs données sont les moyennes obtenues des cinq plantes parmi trois répétitions.



Photo 05 : Mesure de la longueur des tiges et les racines.

(Photo original)

III-3-2-2-Matière fraîche

Après 15 jours de l'expérience où les plants arrivent au stade deuxième feuille, on a pesé les plantules de chaque traitement, avec élimination des graines non germées.



Photos 06 : Mesure de la matière fraîche

(Photos original)

III -3-2-3-Matière sèche

Les plantes ont été mises dans une étuve réglée à 105 °C durant 24 heures. Après séchage les échantillons sont pesés pour déterminer le poids sec de chaque traitement, exprimé en (g).



Photo 07: Mesure de la matière sèche
(Photos original)

III -4-Dosage des éléments minéraux (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄)

Les analyses des éléments minéraux ont été effectuées sur les plantules de l'orge et de blé ont porté sur la détermination des teneurs en calcium, magnésium, sodium, potassium, chlore et le sulfate.

Après dessiccation, les échantillons (tiges et racines) sont réduits en poudre fine au moyen d'un broyeur, Le broyage assure une homogénéité des échantillons qui feront l'objet des différentes analyses.

500 mg du matériel végétal sont introduits dans des capsules en porcelaines. Les capsules sont placées dans un four dont la température est augmentée progressivement jusqu'à 200°C et qui est ainsi maintenue jusqu'à la fin du dégagement de fumées puis on l'augmente la température jusqu'à 500°C et on la maintient pendant 3 heures.

Ouvrir la porte de four à moufle avec précaution pour un refroidissement rapide. Faire sortir les porcelaines avec précaution.

Dissoudre le contenu dans 5 ml de HCl (2N), agiter avec un barreau plastique.

Après 15-20 min rajouter au volume de l'eau distillé compléter jusqu'à 50ml. agité énergiquement pendant 30 minute, puis filtrer dans une fiole de 50 ml à l'aide d'un papier filtre (GEORGE E et *al.*, 2013).

Dosage de potassium et sodium se fait par photométrie à flamme.

Le dosage des ions Ca^{++} et Mg^{++} se fait par complexométrie avec l'EDTA (0,01 N) (acide éthylène diamine tétra acétique).

Le sulfate a été dosé par colorimétrie et le dosage de chlore se fait par la titration avec AgNO_3 (0,01 N).

VI-Analyse statistique :

L'analyse de variance (ANOVA) est effectuée par STATBOX et la comparaison des moyennes est faite par le test Newman-Keuls au seuil de probabilité de 5 %.

Chapitre II

Срѣбѣ II

Résultats et discussion

RÉSULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE II: RESULTATS ET DISCUSSION**I-Résultats de l'orge****I-1- les paramètres des croissances**

Les résultats de comportement physiologique et morphologique de l'orge dans le milieu salin (la rétention en eau des grains (REG), le taux de germination (TG), la longueur des tiges (LT), la longueur des racines (LR) et la production de la matière fraîche (PF) et sèche (PS)) obtenus ont fait l'objet d'une analyse ANOVA pour déterminer l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ dans le milieu salin.

Tableau 07 : Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur les paramètres de la croissance de l'orge.

		REG(%)	TG (%)	LT (cm)	LR (cm)	MF (g)	MS (g)
Facteurs	Niveaux						
Dose de sel (g/l)	D6	74,04 a	93,86a	12,93a	8,74a	9,19a	1,46a
	D8	57b	88,67b	10,63b	6,94b	7,52b	1,29b
	D10	48,19c	83,54c	8,44c	5,38c	6,49c	1,18c
Type de sel	KCl	59,70a	90,5a	11,37a	10,45a	9,01a	1,35a
	Na ₂ SO ₄	60,73a	89,61a	10,57b	7,31b	8,14b	1,3b
	MgSO ₄	61,71a	91,72a	11,19a	3,25c	6,77c	1,31b
	NaCl	56,83b	82,92b	9,54c	7,31b	6,97c	1,28b
Amendement (g/l)	0	67,29a	87,29b	10,92ab	6,06d	7,39b	1,36a
	0,25	59,89b	89,18ab	10,91ab	7,78a	7,99a	1,27b
	0,5	56,47b	90,97a	11,17a	7,13b	7,53b	1,3ab
	1	58,39b	88,83ab	10,58b	7,53ab	7,94a	1,31ab
	1,5	56,69b	87,18b	9,75c	6,59c	7,77ab	1,31ab

I-1-1- la rétention en eau des graines

➤ Effet de dose des sels

D'après les résultats obtenus (figure 03) on observe généralement que la rétention en eau des graines est diminuée avec l'augmentation de doses des sels du milieu.

L'analyse de la variance indique qu'il y a un effet significatif moyen exprimé par trois groupes homogènes (tab 07). La dose 6g/l constitue le premier groupe (74,04 %), la troisième groupe est la dose 10g/l qui présente le taux de rétention en eau des graines la plus faible (48,19%).

Selon RAHMAN *et al* (2008) la rétention en eau des graines est en relation directe avec l'augmentation de la salinité du milieu. L'augmentation de la pression osmotique provoque une diminution de l'absorption en eau des grains.

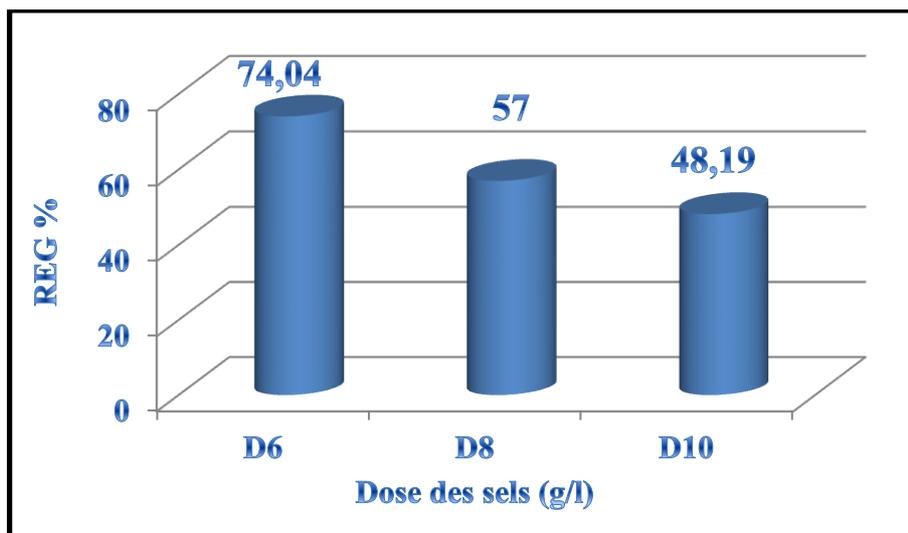


Figure 03: Evolution du taux de rétention en eau des graines de l'orge en fonction des doses des sels.

➤ -Effet de types des sels

La figure 04 : représente le taux de rétention en eau des graines en fonction de type des sels. Elle indique que le meilleur taux en eau des grains est observé chez le traitement de $MgSO_4$, et le taux la plus faible chez le traitement $NaCl$.

D'après le tableau (07) Les résultats obtenus montrent qu'il y a un effet significatif moyenne exprimé par deux groupes homogènes. $MgSO_4$, Na_2SO_4 et KCl constituent le

premier groupe avec des moyennes (61,713%, 60,73% et 59,702% respectivement). Le deuxième groupe représenté par NaCl avec une moyenne de 56,83% donc le taux de rétention en eau des graines influe négativement par la présence de NaCl dans le milieu.

L'effet dépressif de l' NaCl peut être de nature osmotique ou toxique. Les effets osmotiques se traduisent par l'inaptitude des graines à absorber des quantités suffisantes en eau (BENREBIHA, 1987 in BABA SIDI-KACI, 2010)

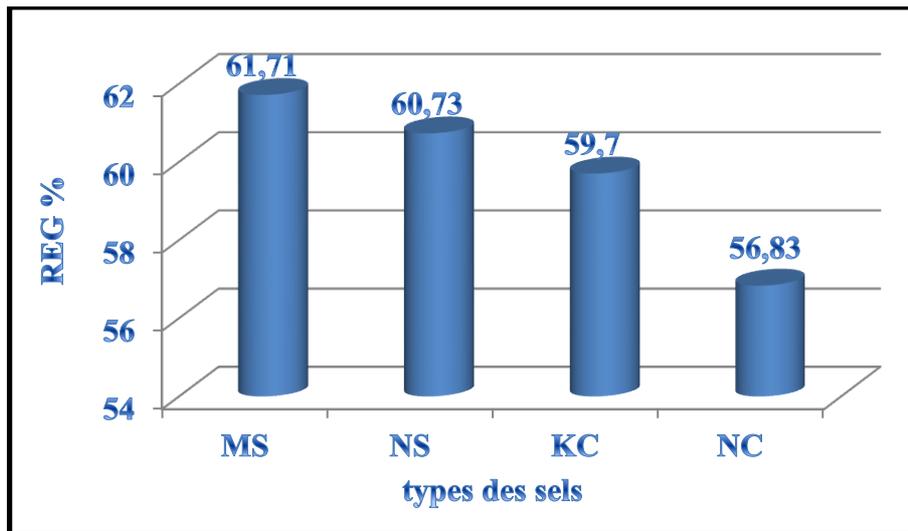


Figure 04: Evolution du taux de rétention en eau des graines en fonction de type des sels.

➤ -Effet d'amendement

L'examen de la figure (05) relative à la rétention en eau des graines en présence de l'amendement calcique CaCl_2 montre que l'absorption des graines en eau est plus élevée chez le traitement non amendé (0 g/l CaCl_2) (67,29%). Le tableau (07) montre que tous le traitement amendé par le CaCl_2 (0.25, 0.5, 1 et 1.5 g/l CaCl_2) regroupés dans le même groupe. En effet il n'y a pas de différence significative entre les traitements amendé sur la rétention en eau des graines. Donc l'addition de CaCl_2 augmente la salinité du milieu qui influe sur l'absorption en eau des graines de l'orge. C'est probablement l'augmentation de la pression osmotique provoqué par l'addition de sel de Ca qui fait diminuer l'absorption d'eau des traitements amendés.

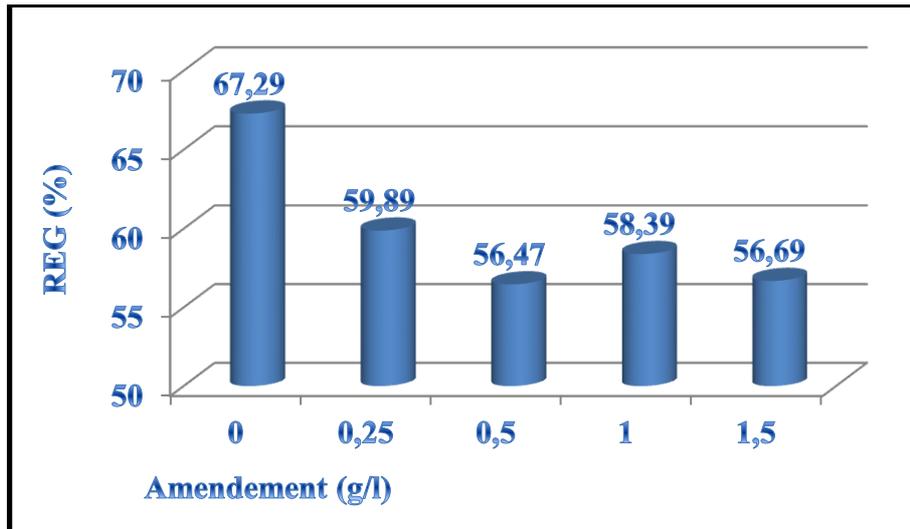


Figure 05: Evolution du taux de rétention en eau des graines de l'orge en fonction de l'amendement calcique.

I-1-2- Taux de germination

➤ Effet de dose des sels

A travers l'analyse statistique, on observe que la dose des sels a un effet moyen significatif. Elle a donné trois groupes homogènes (tab 07, fig 06). La dose 6g/l présente le taux de germination la plus élevée (93,86%), cependant la dose 10g/l présente le taux la plus faible (83,54%) en effet le taux de germination des graine de l'orge diminue avec l'augmentation des dose des sels dans le milieu.

La réduction du pouvoir germinatif est due à l'augmentation de la pression osmotique, qui ralentit l'imbibition et limite l'absorption de l'eau nécessaire au déclenchement des processus métaboliques impliqués dans la germination (HAJLAOUI *et al.*, 2007). Donc L'augmentation de dose des sels a un effet négatif sur le taux de germination.

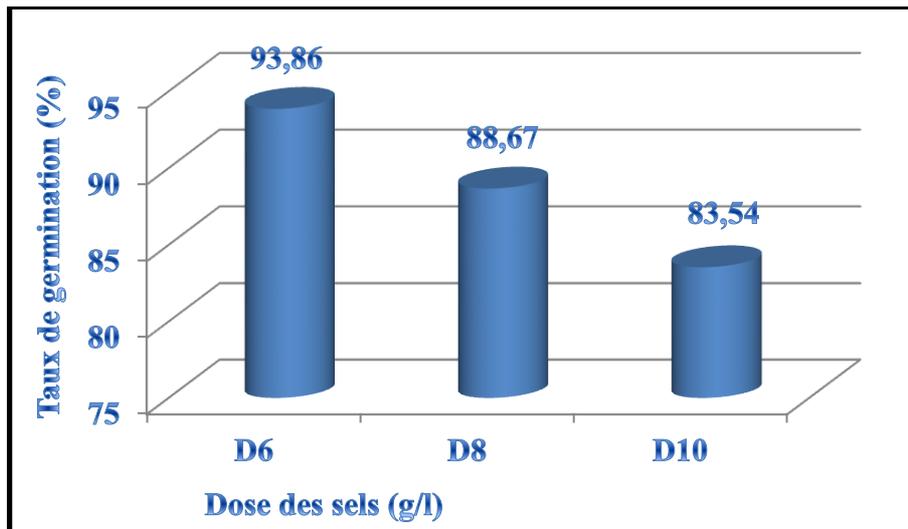


Figure 06: Evolution du taux de germination de l'orge en fonction des doses des sels

➤ -Effet de types des sels

La figure (07) représente le taux de germination des graines de l'orge en fonction de type de sel. Les résultats obtenus montrent qu'il y a un effet significatif moyen exprimé par deux groupes homogènes (tableau 07). $MgSO_4$, KCl et Na_2SO_4 constituent le premier groupe qui possèdent le taux de germination les plus élevés (91,72%, 90,5%, 89,61% respectivement), par contre NaCl présente le taux la plus faible avec une moyenne (82,92%).

D'après TAFFOUO *et al* (2008) NaCl a un effet inhibiteur sur la germination.

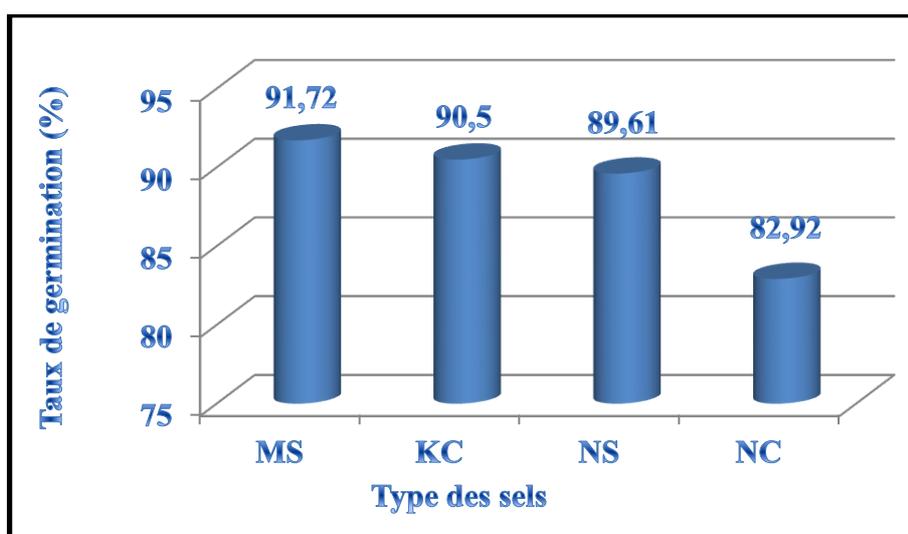


Figure 07: Evolution du taux de germination de l'orge en fonction du type de sel.

➤ -Effet de l'amendement

L'amendement calcique CaCl_2 a un effet significatif moyen caractérisé par deux groupes homogènes (tableau 07). Le taux de germination la plus élevée est observé chez le traitement (0,5g/l CaCl_2) avec une moyenne de (90,97%) et le taux la plus faible chez les traitements 0g/l et 1,5g/l CaCl_2 (fig 08) donc la présence de l'amendement calcique dans le milieu a un effet positif sur le taux de germination de l'orge par contre son absence ou sa concentration diminue le taux de germination.

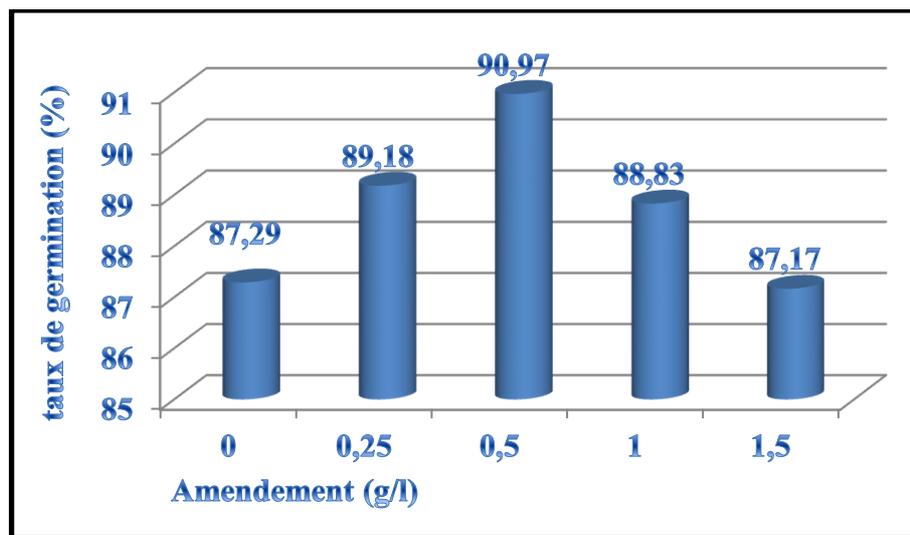


Figure 08 : Evolution du taux de germination de l'orge en fonction de l'amendement calcique CaCl_2 .

I-1-3- Partie aérienne

➤ Effet de dose des sels

La dose des sels a un effet significatif moyen caractérisé par trois groupes homogènes (tab 07). La dose 6g/l présente la plus longue partie aérienne (12,93 cm), cependant la dose 10 g/l présente la longueur la plus courte (8,44 cm). Donc l'augmentation de la dose des sels a un effet destructeur sur la croissance de l'orge.

D'après SNOUSSI *et al* (2014) la réduction de la partie aérienne est la première réponse à l'effet destructeur le plus significatif en cas d'une exposition prolongée à la salinité. Cette réduction est due à l'augmentation de quantité de sel dans le milieu alimentaire provoquant ainsi une réduction de la division et l'allongement cellulaire, et par conséquent une réduction de la croissance des plantes.

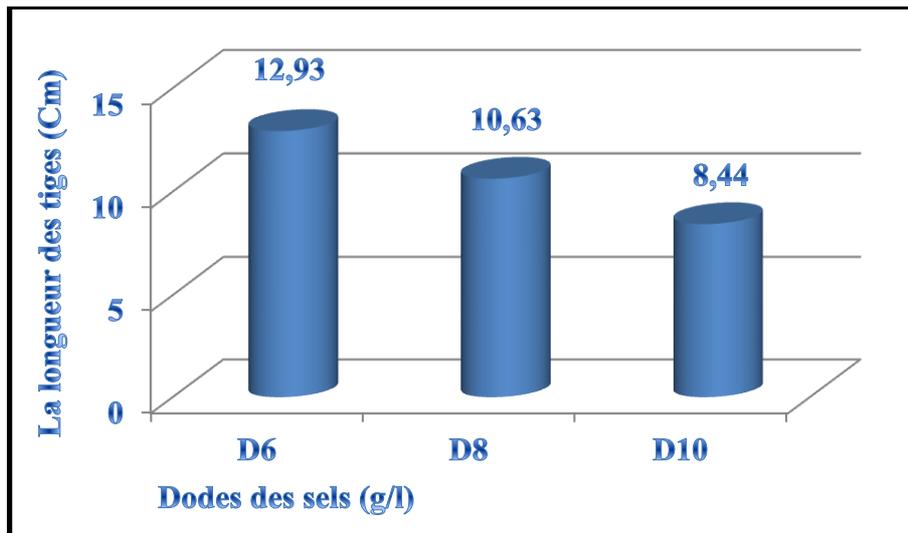


Figure 09: Evolution de la partie aérienne de l'orge en fonction des doses des sels.

➤ -Effet de types des sels

Le test de NEWMAN et KEULS indique qu'il y a trois groupes homogènes (tab 07). KCl et $MgSO_4$ constituent le premier groupe, Na_2SO_4 le deuxième groupe et NaCl le dernier groupe, le KCl possède la plus longue partie aérienne (11,37cm) suivi de $MgSO_4$ (11,19 cm), par contre NaCl présente la partie aérienne la plus courte (9,54 cm) (Fig 10). En effet l'addition de KCl dans le milieu stimuler la croissance des plantes (HADDAD et COUDRET, 1991).

Les effets dépressifs des ions Na^+ et Cl^- sur la croissance et le développement des plantes ont deux origines possibles : soit la présence de ces ions dans le milieu de culture entraînant des perturbations de l'alimentation de la plante en eau et en éléments nutritifs essentiels, soit l'accumulation excessive des ions Na^+ et Cl^- dans la plante conduisant à des phénomènes de toxicité (RADHOUANE, 2013).

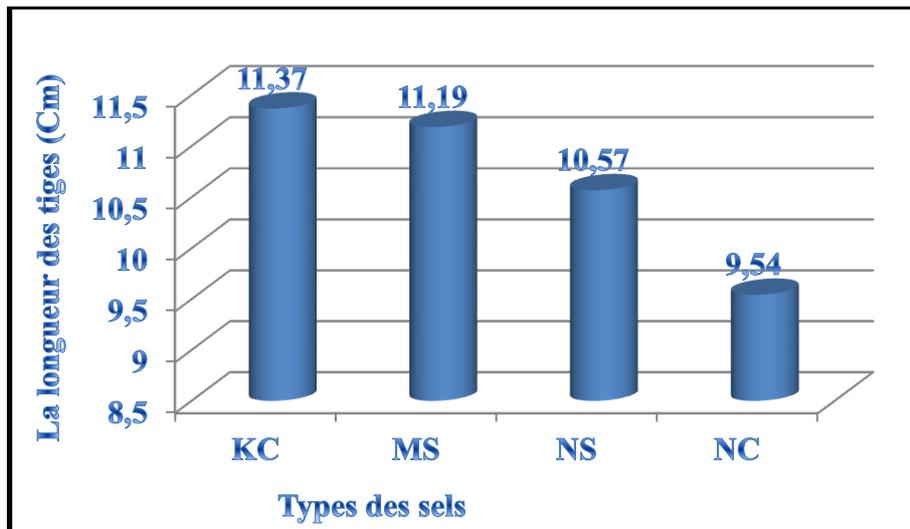


Figure 10: Evolution de la partie aérienne de l'orge en fonction du type de sel.

➤ -Effet d'amendement

La figure (11) représenté la longueur de la partie aérienne de l'orge en présence des différentes doses de l'amendement calcique CaCl_2 . L'amendement calcique a un effet significatif moyen caractérisé par trois groupes homogènes (tab 07). La concentration 0,5g/l présente la plus longue partie aérienne avec une moyenne de (11,17cm), cependant la concentration 1,5g/l CaCl_2 présente la longueur la plus courte (9,75cm).

En effet, l'addition de Ca améliore la croissance des plantes sous stress salin (CRAMER *et al.*, 1990).

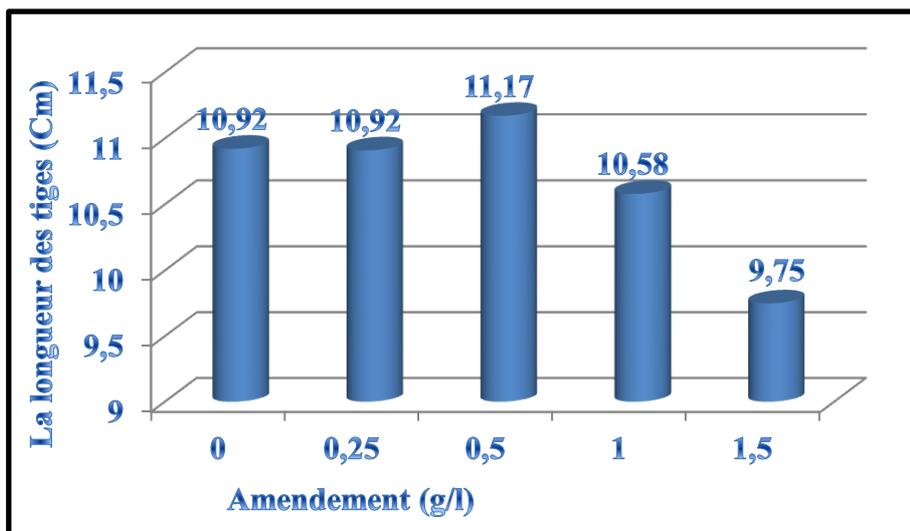


Figure 11: Evolution de la partie aérienne de l'orge en fonction de l'amendement calcique CaCl_2 .

I-1-4- La Partie racinaire

➤ Effet de dose des sels

L'analyse de la variance indique qu'il y a des différences significatives exprimées par trois groupes homogènes selon les résultats obtenus (tab 07).

Comme dans le cas du taux de germination et la partie aérienne, l'évolution est en fonction des doses. La dose 6g/l présente la partie racinaire la plus longue (8,74 cm), Cependant la dose 10g/l présente la longueur la plus courte (5,38 cm) (fig 12). En effet la réduction de la partie racinaire a une relation avec l'augmentation des doses de sel dans le milieu. Comme le résultat trouvé par TAVILI et BINIAZ (2009) l'effet de l'augmentation de la salinité est significatif sur la longueur des racines de l'orge.

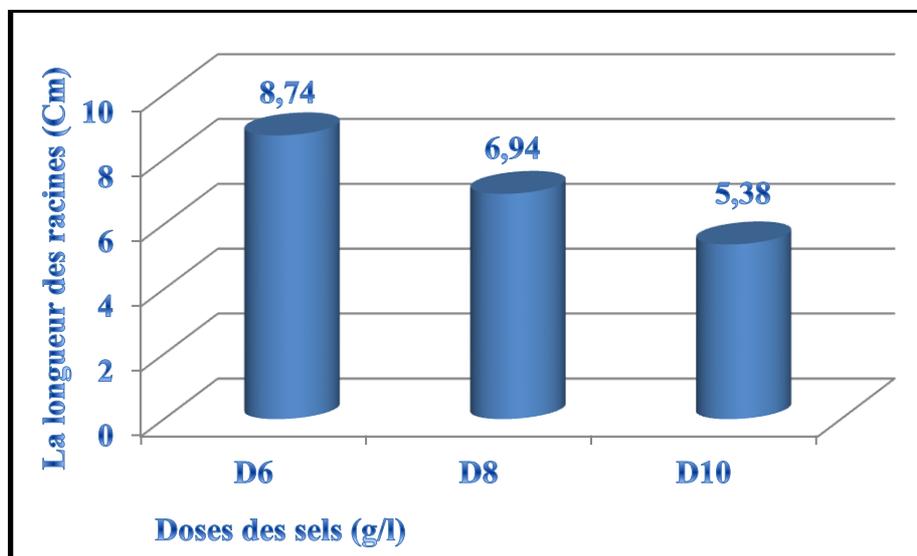


Figure 12: Evolution de la partie racinaire de l'orge en fonction des doses des sels.

➤ -Effet de types des sels

Le test statistique indique qu'il y a trois groupes homogènes (tab 07). Le KCl présente la partie racinaire la plus longue (10,45cm), par contre MgSO₄ présente la partie racinaire la plus courte (3,25cm) (fig 13). Il est à noter que MgSO₄ a donné les meilleurs résultats sur le taux de germination et la partie aérienne ; on peut dire qu'à travers nos résultats que MgSO₄ a un effet négatif sur l'enracinement ce qui coïncide aussi avec les résultats trouvés par MASMOUDI et al (2014). En effet, Mg a un effet toxique sur les racines plus que le Na (TOBE et al., 2002). En revanche le potassium joue un rôle dans le contrôle de la turgescence cellulaire, contribue également dans la réduction du potentiel

osmotique des cellules racinaires pour faciliter les processus de transport des solutés (SAIRAM et TYAGI, 2004).

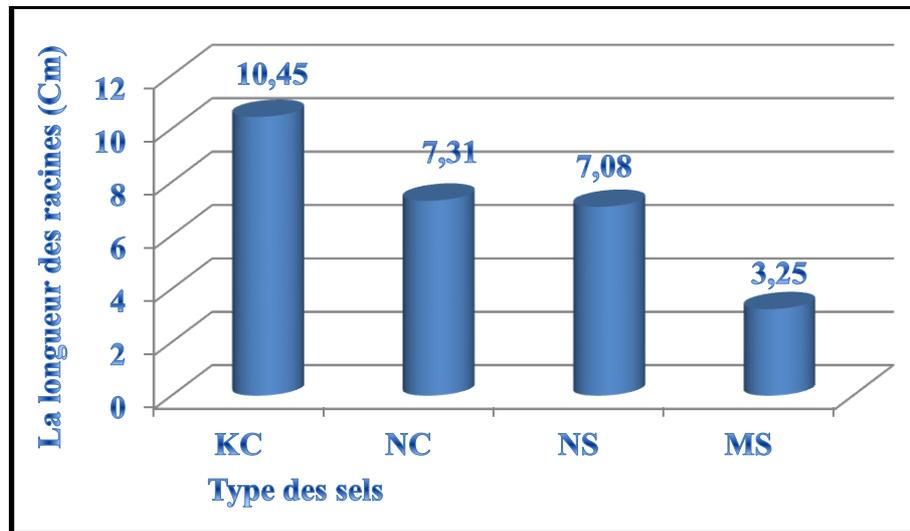


Figure 13: Evolution de la partie racinaire de l'orge en fonction de type de sel.

➤ Effet d'amendement

D'après l'étude statistique on remarque quatre groupes homogènes (tableau 07). La concentration de L'amendement (0.25g/l CaCl_2) présente la partie racinaire la plus longue ($7,78\text{cm}$), cependant la partie racinaire la plus courte a été enregistrée chez la concentration (0g/l CaCl_2) avec ($6,06\text{ cm}$) (fig 14).

Comme nous avons déjà signalé l'importance de l'amendement calcique dans la partie aérienne, il a un effet important aussi dans la partie racinaire, Donc le Ca peut alléger l'effet inhibiteur de NaCl et contribue en conséquence à l'amélioration de la croissance des racines (CRAMER *et al.*, 1989 ; ZHONG et LAUCHLI, 1993 ; COLMER *et al.*, 1996). Ainsi que LOPEZ et SATTI (1996) ont trouvé que l'addition de Ca à une solution nutritif salée augmente La longueur des racines malgré l'augmentation de la concentration car la toxicité du Ca est très faible.

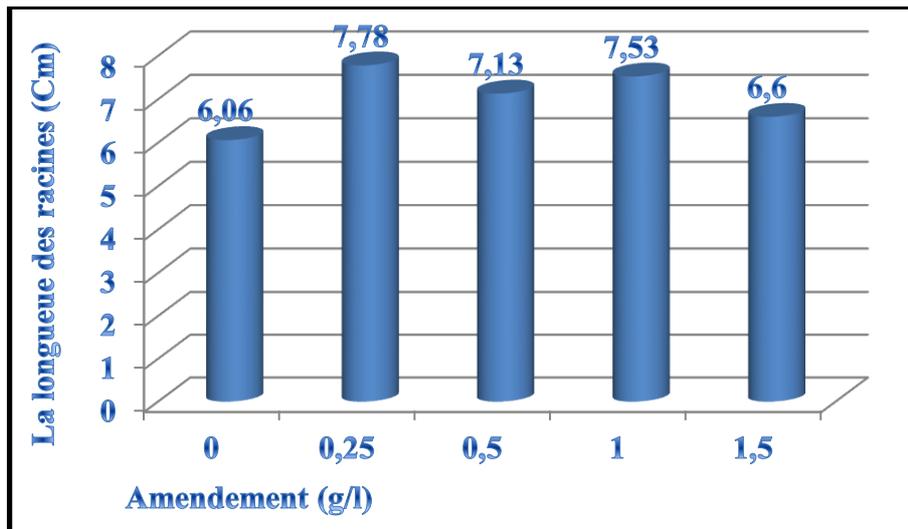


Figure 14: Evolution de la partie racinaire de l'orge en fonction de l'amendement calcique CaCl_2 .

I-1-5-Matière fraîche

➤ Effet de dose des sels

La figure (15) montre que la production de la matière fraîche est diminuée avec l'augmentation des doses de sel. L'analyse de la variance indique qu'il y a des différences significatives exprimées par trois groupes homogènes selon les résultats obtenus (tab 07). La dose 6g/l présente le taux de production de la matière fraîche la plus élevée (9,158 g), cependant la dose 10g/l présente le taux de production de la matière fraîche la plus faible (6,491g).

La salinité provoque une diminution de la surface foliaire et de la masse racinaire et par un dessèchement partiel de la végétation. Dans la mesure où elle affecte la turgescence cellulaire, cette contrainte se répercute négativement sur la croissance. La salinité diminue le potentiel osmotique de milieu et réduit par conséquent l'absorption de l'eau par les racines. Tout ça a un effet sur la réduction de la matière fraîche (DOUDECH *et al.*, 2008).

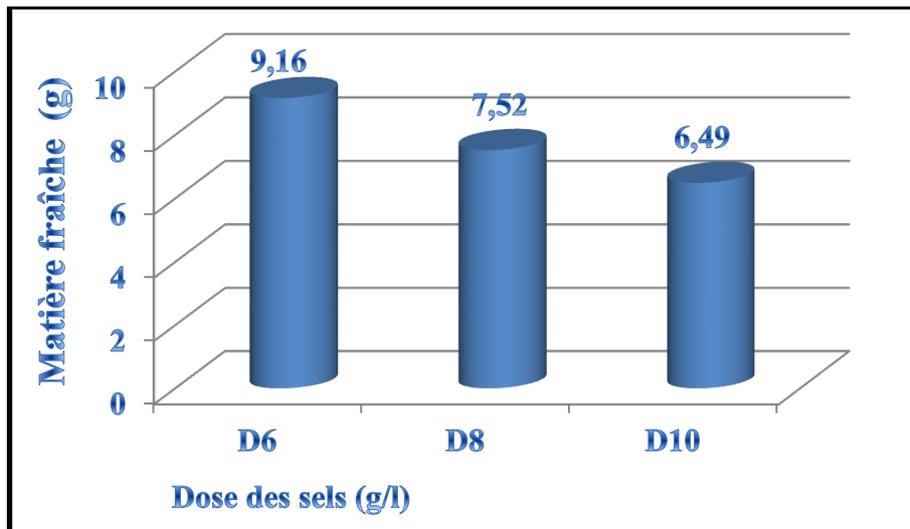


Figure 15: Production de la matière fraîche de l'orge en fonction des doses des sels.

➤ Effet du type de sel

La figure (16) représente l'évolution de la Production de la matière fraîche des plantes de l'orge en fonction du type de sel. L'analyse de la variance indique qu'il y a des différences significatives entre les sels. Le KCl représente le taux de production de la matière fraîche la plus élevée (9,01g), cependant, le taux la plus faible a été enregistré chez NaCl avec une moyenne de (6,97g) et chez MgSO₄ avec une moyenne de (6,77g) (tab 07). La tolérance au KCl est plus élevée que NaCl (TAVILI et BINIAZ, 2009) et aussi l'effet négatif de MgSO₄ sur la partie racinaire comme nous avons signalé induit une réduction important dans la production de la matière fraîche.

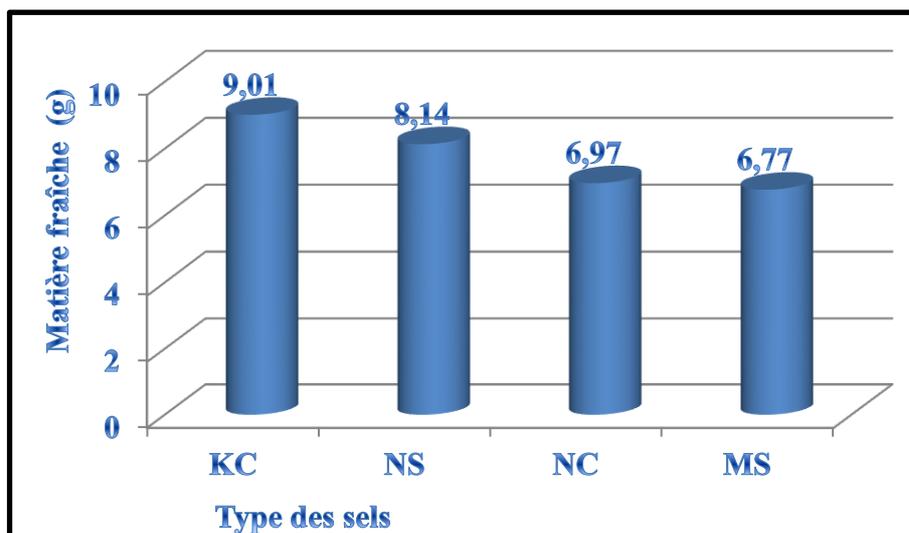


Figure 16: Production de la matière fraîche de l'orge en fonction du type de sel.

➤ **Effet d'amendement**

La figure (18) représente la production de la matière fraîche en fonction des différentes doses de l'amendement calcique CaCl_2 . L'analyse statistique indique qu'il y a deux groupes homogènes. Comme la partie aérienne et racinaire, l'amendement calcique a un effet significatif sur la production de la matière fraîche par rapport au traitement non amendé (tableau 17).

Ceci peut s'expliquer par l'effet du Ca qui allège l'effet négative de la salinité (BLISS *et al.*, 1986 ;JALEEL *et al.*, 2007) suite à son rôle dans l'équilibre ionique et le maintien de la perméabilité sélective de la membrane (AKHAVAN *et al.*, 1991).

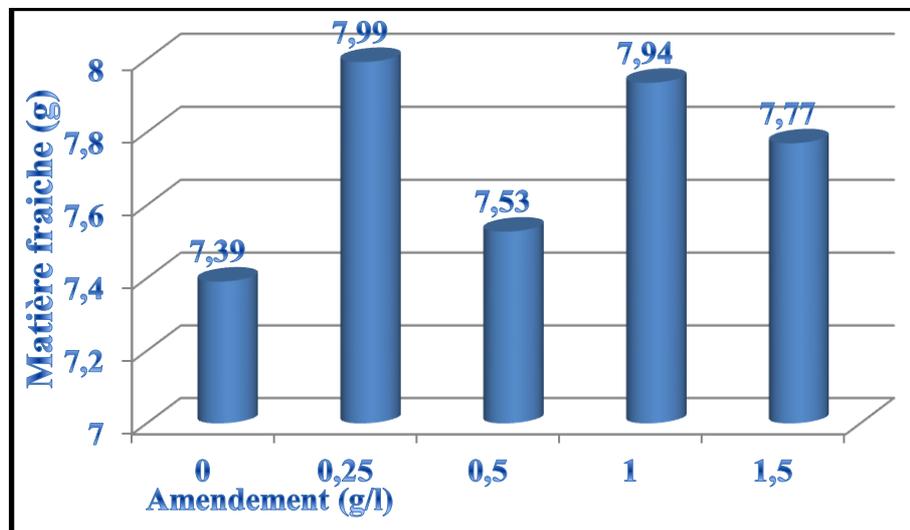


Figure 17: Production de la matière fraîche de l'orge en fonction de l'amendement.

I-1-6- Matière sèche

➤ **Effet de dose des sels**

La figure (18) montre que la matière sèche diminue avec l'augmentation de dose des sels dans le milieu. Le test statistique indique qu'il y a trois groupes homogènes (tab 07). La dose 6g/l présente la production de la matière sèche la plus élevée (1,46 g), et la production la plus faible est observée chez la dose (10 g/l) avec une production de (1,18 g).

Le stress salin a induit une diminution de production de la matière sèche proportionnelle au degré de stress salin induit comme les résultats obtenus par BEZINI *et TOUATI*, 2013.

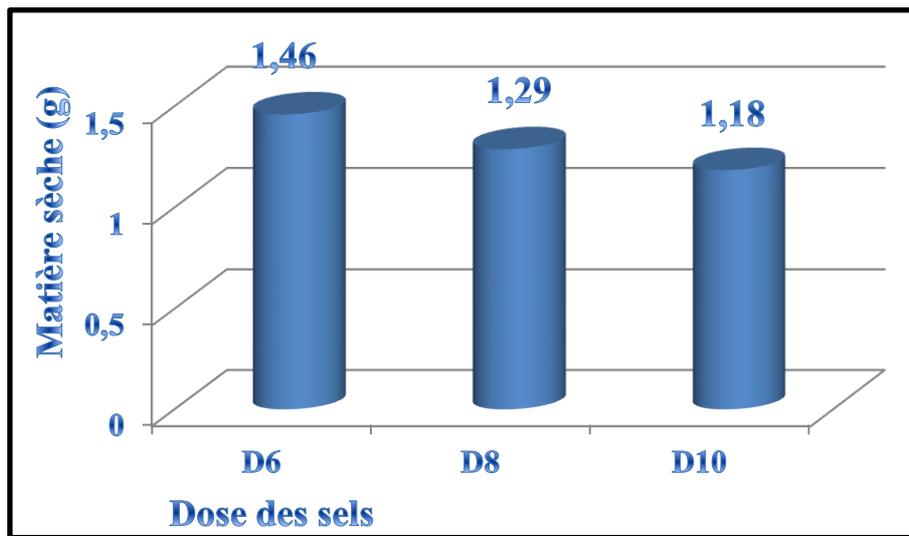


Figure 18: Production de la matière sèche de l'orge en fonction de dose des sels.

➤ **Effet du type de sel**

L'analyse de la variance montre un effet moyen significatif caractérisé par deux groupes homogènes (tab 07). Le KCl présente la production de la matière sèche la plus élevée (1,35g), cependant, la production la plus faible a été enregistré chez NaCl (1,28 g) (fig19) donc la production de la matière sèche influe négativement par la présence de NaCl que KCl.

En effet la tolérance au KCl est plus élevée que NaCl (TAVILI et BINIAZ, 2009). NaCl agit en augmentant la pression osmotique du milieu, ce qui empêche l'absorption en eau par le système racinaire et entraîne par conséquent, une réduction de la croissance. Sur le plan cellulaire, la diminution de la fabrication de la matière sèche est due à une baisse du nombre de divisions cellulaires (R'HIM *et al.*, 2013).

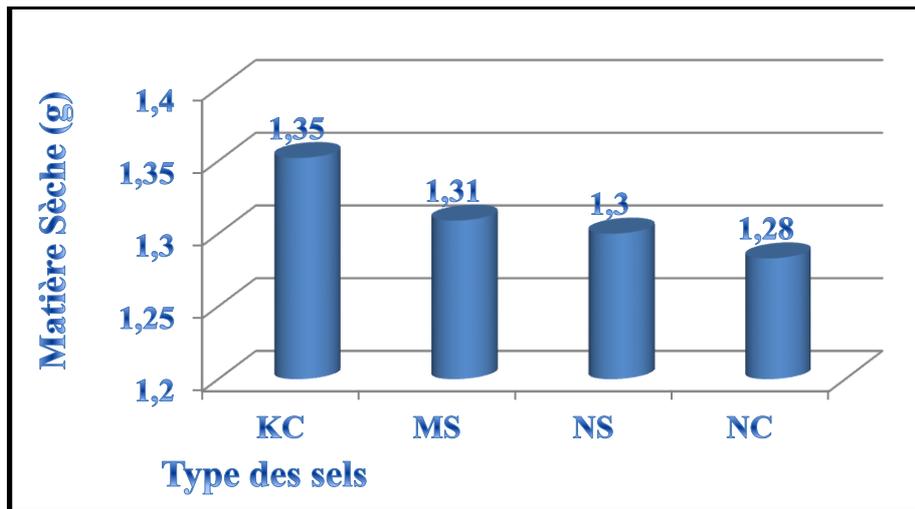


Figure 19: Production de la matière sèche de l'orge en fonction de type des sels.

➤ **Effet d'amendement**

La figure (20) représente l'évolution de la production de la matière sèche en fonction de la présence de l'amendement calcique CaCl_2 . La production la plus élevée est marquée chez le traitement (0 g/l CaCl_2) avec une moyenne de (1,36 g) et la production de la matière sèche la plus faible chez le traitement (0,25 g/l CaCl_2) avec une moyenne (1,27 g/l) donc les résultats sont très proches entre les traitements sur le paramètre de la production de la matière sèche.

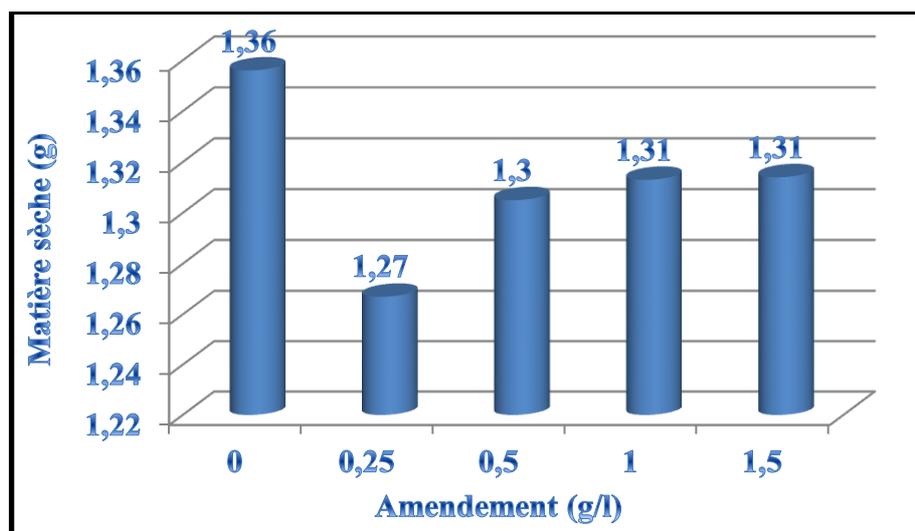


Figure 20: Production de la matière sèche de l'orge en fonction de l'amendement calcique CaCl_2 .

I-1-7- Effet de l'interaction des facteurs étudiés sur l'orge :

Après l'étude de l'effet de la dose de sel, type de sel et l'amendement calcique CaCl_2 sur les paramètres physiologiques des plantes de l'orge (variété saida), nous allons étudier l'interaction de ces facteurs en insistant sur les interactions les plus importantes.

➤ Taux de germination

L'interaction entre dose de sel –type de sel est significative (tableau 08), on a remarqué des interactions très importantes liées au taux de germination ; en effet des concentrations plus élevées 10g/l de (MgSO_4) est différentes significativement de 8g/l de NaCl qui a engendré un taux de germination plus faible, on remarque aussi que la dose 6g/l de NaCl est dans le même groupe avec la dose 8g/l de KCl donc il n'y a pas de différence significatives entre ces deux traitements donc même une dose faible de NaCl donne des mêmes résultats qu'une dose élevée de 8g/l KCl, ce qui explique l'effet négative de l'NaCl sur le taux de germination de l'orge.

Tableau 08 : interaction Dose de sel-type de sel (taux de germination chez l'orge).

Traitement	Moyennes	Groupes Homogènes
D6 KC	95,833	A
D6 MS	94,333	A B
D6 NS	94,167	A B
D8 MS	91,833	A B C
D6 NC	91,1	B C
D8 KC	90,167	B C
D8 NS	89,167	C D
D10 MS	89	C D
D10 NS	85,5	D E
D10 KC	85,5	D E
D8 NC	83,5	E
D10 NC	74,167	F

➤ la partie aérienne

L'analyse statistique montre qu'il y a un effet significatif de l'interaction dose de sels-type de sel sur la longueur de la partie aérienne des plantes de l'orge (tableau 09). On note qu'il n'y a pas de différence significative entre la dose 8g/l de (KCl, MgSO₄ et Na₂SO₄) et la dose 6g/l de NaCl. On a remarqué aussi qu'il n'y a pas de différence significative entre la dose 8g/l de NaCl et la dose 10g/l de KCl qui sont présents dans le même groupe. Donc la longueur de la partie aérienne des plantes de l'orge comme le taux de germination est influencée négativement par la présence de NaCl même à des faibles concentrations par rapport aux autres sels.

Tableau 09 : interaction Dose de sel-type de sel (La partie aérienne chez l'orge).

Traitements	Moyennes	Groupes Homogènes
D6 MS	14,228	A
D6 KC	13,515	B
D6 NS	12,776	C
D8 KC	11,354	D
D6 NC	11,213	D
D8 MS	10,885	D
D8 NS	10,885	D
D8 NC	9,389	E
D10 KC	9,231	E
D10 MS	8,443	F
D10 NS	8,044	F
D10 NC	8,026	F

D'autre part, l'analyse statistique de l'interaction entre type de sel-amendement calcique est significative aussi. On remarque que le premier groupe représenté par le traitement KCl (0 g/l CaCl₂) est supérieur aux traitements amendés de KCl (0,25, 0,5, 1, 1,5) (tableau 10) donc l'amendement calcique CaCl₂ n'influe pas positivement sur la partie aérienne des plantes de l'orge en présence de KCl dans le milieu. D'autre part on observe que le traitement NaCl (1,5g/l CaCl₂) et NaCl (0 g/l CaCl₂) sont inférieurs aux traitements amendés de NaCl (0,25, 0,5, 1g/l CaCl₂), donc on peut dire que l'addition de Ca a des doses

relativement faible dans le milieu en présence de l'NaCl influe favorablement sur la longueur de la partie aérienne mais son absence ou sa concentration élevée diminue la longueur de la partie aérienne des plantes de l'orge.

Tableau 10 : interaction type de sel-amendement (La partie aérienne chez l'orge)

Traitements	Moyennes	Groupes Homogènes
KC 0	12,889	A
KC 0,5	12,059	B
MS 0,5	11,811	B C
MS 1	11,624	B C D
KC 0,25	11,583	B C D
MS 0	11,331	B C D E
MS 0,25	11,102	C D E F
NS 0,25	10,92	D E F G
KC 1	10,826	D E F G
NS 0,5	10,751	D E F G
NS 1,5	10,655	E F G
NS 0	10,272	F G H
NS 1	10,244	F G H
MS 1,5	10,059	G H
NC 0,5	10,059	G H
NC 0,25	10,031	G H
NC 1	9,624	H I
KC 1,5	9,477	H I J
NC 0	9,19	I J
NC 1,5	8,809	J

➤ **La partie racinaire**

L'interaction dose de sel- amendement est significative. Le tableau (11) montre des interactions très importantes liées à la longueur de la partie racinaire des plantes de l'orge, on note que la dose 6g/l chez les amendements (0,25, 0,5, 1g/l CaCl₂) sont différentes

significativement de la dose 6g/l chez les amendements (0 et 1,5g/l CaCl₂), on remarque aussi les traitements 8g/l chez les amendements (0,25, 0,5, 1 et 1,5g/l CaCl₂) et 10g/l chez les amendements (0,25, 0,5, 1 et 1,5g/l CaCl₂) sont supérieures au traitement 8g/l (0 g/l CaCl₂) et 10g/l (0 g/l CaCl₂) respectivement. Donc on peut dire que l'amendement calcique a un effet positif sur la partie racinaire des plantes de l'orge surtout pour les salinités relativement élevées.

Tableau 11 : interaction dose de sel-amendement (La partie racinaire chez l'orge)

Traitements	Moyennes	Groupes Homogènes
D6 1	9,806	A
D6 0,25	9,585	A
D6 0,5	9,293	A
D8 0,25	7,574	B
D6 1,5	7,545	B
D6 0	7,48	B
D8 1	7,223	B
D8 1,5	7,122	B
D8 0,5	6,902	B C
D10 0,25	6,187	C D
D8 0	5,873	D E
D10 1	5,556	D E F
D10 0,5	5,205	E F
D10 1,5	5,122	E F
D10 0	4,829	F

D'autre part, l'analyse statistique montre un effet significatif de l'interaction type de sel - amendement calcique CaCl₂ sur la partie racinaire des plantes de l'orge. D'après le tableau (12) on observe que le traitement NaCl chez les amendements (0,25, 0,5, 1g/l CaCl₂) sont supérieurs au traitement non amendé de NaCl (0g/l CaCl₂) et le traitement de concentration élevée de NaCl (1,5g/l CaCl₂), on observe aussi le traitement Na₂SO₄ (1g/l CaCl₂) est différente significativement au traitement Na₂SO₄ (0 g/l CaCl₂) en faveur de l'amendement calcique. Le traitement MgSO₄ chez les amendements (0,5, 1, 1,5g/l CaCl₂) est

significativement supérieure que le traitement $MgSO_4$ chez les amendements (0, 0,25g/l $CaCl_2$) qui a engendré la longueur de la partie racinaire les plus faibles. Ceci peut s'expliquer par le rôle de Ca dans le développement de la partie racinaire d'une part et la réduction de l'effet néfaste de Na et Mg sur les racines de l'orge d'autre part (MASMOUDI *et al.*, 2014).

Tableau 12 : interaction type de sel-amendement (La partie racinaire chez l'orge)

Traitements	Moyennes	Groupes Homogènes
KC 0,25	12,557	A
KC 0	11,452	B
KC 0,5	10,427	C
KC 1	9,504	D
NC 0,25	9,123	D E
NC 1	8,857	D E F
KC 1,5	8,303	E F G
NC 0,5	7,876	F G H
NS 1	7,754	F G H
NS 1,5	7,456	G H I
NS 0,25	6,889	H I J
NS 0,5	6,764	H I J
NS 0	6,522	I J
NC 1,5	6,156	J
NC 0	4,522	K
MS 1,5	4,471	K
MS 1	3,998	K
MS 0,5	3,467	K
MS 0,25	2,559	L
MS 0	1,747	L

➤ **Matière fraîche**

L'analyse de la variance indique qu'il y a des différences significatives de l'interaction dose de sel-type de sel sur la production de la matière fraîche des plantes de l'orge, selon les résultats obtenus (tableau 13) on remarque que le traitement 8g/l KCl se classe au même groupe avec le traitement 6g/l NaCl, et le traitement 8g/l Na₂SO₄ avec 6g/l MgSO₄, et le traitement 10g/l Na₂SO₄ avec les traitements 8g/l (MgSO₄ et NaCl), on remarque aussi que la dose élevée 10g/l de KCl est supérieur aux traitements 8g/l (MgSO₄ et NaCl), ce qui explique l'effet néfaste de NaCl et MgSO₄ même à des doses relativement faibles sur la production de la matière fraîche des plantes de l'orge par rapport aux KCl et Na₂SO₄.

Tableau 13 : interaction dose de sel-type de sel (La production de la matière fraîche chez l'orge)

Traitements	Moyennes	Groupes Homogènes
D6 KC	10,473	A
D6 NS	9,513	B
D8 KC	8,877	C
D6 NC	8,535	C D
D8 NS	8,253	D E
D6 MS	8,111	D E
D10 KC	7,689	E
D10 NS	6,643	F
D8 MS	6,599	F
D8 NC	6,359	F
D10 NC	6,015	F G
D10 MS	5,616	G

D'autre part, les résultats obtenus par le tableau (14) qui représente l'interaction des traitements type de sel-amendement sur la production de la matière fraîche des plantes de l'orge montrent que les traitements KCl (0 et 0,25g/l CaCl₂) sont supérieurs significativement aux traitements amendés par des concentrations élevées de KCl (0,5, 1, 1,5g/l CaCl₂), d'autre part les traitements MgSO₄ à forte concentration en Ca (1,5g/l et 1g/l CaCl₂) sont différentes significativement aux traitements MgSO₄ (0, 0,25, 0,5, g/l CaCl₂) qui ont engendrés les

faibles productions de la matière fraîche, donc on peut dire que l'addition de Ca dans le milieu diminue l'effet néfaste de $MgSO_4$ sur la production de la matière fraîche des plantes de l'orge

Tableau 14 : interaction type de sel-amendement (La production de la matière fraîche chez l'orge).

Traitements	Moyennes	Groupes Homogènes
KC 0,25	9,683	A
KC 0	9,583	A
KC 0,5	8,822	B
KC 1,5	8,6	B C
NS 0,5	8,49	B C D
KC 1	8,376	B C D E
NS 0,25	8,34	B C D E
NS 1,5	8,303	B C D E
NC 1	8,144	B C D E
MS 1,5	7,923	B C D E
NS 1	7,886	B C D E
NS 0	7,663	C D E
NC 0,25	7,511	D E
MS 1	7,339	E
NC 0,5	6,541	F
MS 0,25	6,438	F
NC 0	6,398	F
MS 0,5	6,258	F
NC 1,5	6,253	F
MS 0	5,919	F

I-2- La teneur des plantes de l'orge en éléments minéraux (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- et SO_4^{--})

Les résultats de la teneur des plantes de l'orge en éléments minéraux (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- et SO_4^{--}) obtenus ont fait l'objet d'une analyse ANOVA pour déterminer l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl_2 sur la nutrition de ces éléments.

Tableau 15 : Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl_2 sur la teneur en éléments minéraux (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- et SO_4^{--}) chez l'orge.

Facteurs		Niveaux	$\text{Ca}^{++}(\%)$	$\text{Mg}^{++}(\%)$	$\text{Na}^+(\%)$	$\text{K}^+(\%)$	$\text{Cl}^-(\%)$	$\text{SO}_4^{--}(\%)$
Dose de sel (g/l)	D6	0,86 a	NS	3,43a	5,35a	3,29c	0,69b	
	D8	0,73b	NS	2,83b	4,26b	3,57b	0,71b	
	D10	0,69b	NS	2,79b	3,89b	4,04a	0,95a	
Type de sel	KCl	0,67c	0,3b	0,57b	14,03a	4,92a	0,3b	
	Na_2SO_4	0,74bc	0,23b	5,56a	1,23b	3,26c	1,35a	
	MgSO_4	0,78ab	1,38a	0,72b	1,56b	2,33d	1,27a	
	NaCl	0,85a	0,24b	5,23a	1,19b	4,03b	0,21b	
Amendement (g/l)	0	0,31d	NS	2,41c	NS	2,83d	NS	
	0,25	0,58c	NS	2,93b	NS	3,51c	NS	
	0,5	0,91b	NS	3,56a	NS	3,91ab	NS	
	1	0,89b	NS	3,24ab	NS	4,19a	NS	
	1,5	1,09a	NS	2,95b	NS	3,73bc	NS	

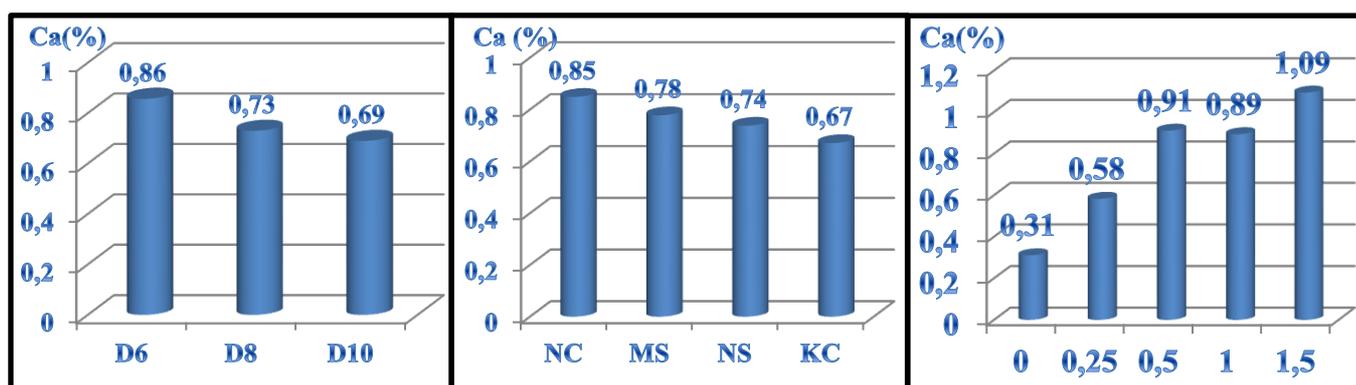
I-2-1- La teneur des plantes de l'orge en (Ca^{++}) :

Les résultats concernant la teneur des plantes de l'orge en calcium en fonction de dose des sels, type de sel et l'amendement calcique CaCl_2 sont reportés sur les figures (21 «A, B et C»). L'analyse de variances consignées dans le tableau (15) montre qu'il y a un effet significatif sur la teneur de l'orge en calcium. En effet la teneur la plus élevée des plantes de l'orge en calcium est enregistré chez la dose (6g/l) avec une moyenne de (0,86%) (fig 21, A) et le traitement NaCl (0,85%) (fig 21, B) et chez le traitement (1,5g/l CaCl_2) avec une moyenne de (1,09%) (fig 21, C) lorsque le milieu s'enrichit en CaCl_2 . On observe que la teneur en calcium est diminuée avec l'augmentation de dose de sel, elle atteint dans les doses (8g/l et 10g/l) (0,73% et 0,69% respectivement) (fig 21, A). D'après R'HIM et *al* (2013) La salinité peut affecter l'absorption de (Ca^{++}) en fonction du niveau de la salinité et la charge en sel de l'eau d'irrigation.

Les teneurs les plus faibles sont obtenues par les traitements KCl (0,67%) (fig 21, B) et (0 g/l CaCl_2) (0,31%) en absence de CaCl_2 (fig 21, C).

D'après les résultats obtenus par AWADA (1991) les plantes affecté par NaCl leur teneurs en Calcium elle augmente.

GRANT et *al* (1991) in BENLALDJ (2007) mentionnent que l'addition de calcium (Ca^{++}) au milieu de culture des plantes d'orge sous stress salin entraine une accumulation de ce dernier au niveau foliaire.



(A) Dose de sel (g/l)

(B) Type de sel

(C) Amendement (g/l)

Figures 21: la teneur des plantes de l'orge en (Ca^{++}) en fonction de Dose de sel, Type de sel et l'amendement calcique CaCl_2 .

I-2-2- La teneur des plantes de l'orge en (Mg^{++}) :

Le tableau (15) de l'analyse de variance montre qu'il n'y a pas un effet significatif de dose de sel et l'amendement calcique $CaCl_2$ sur la teneur des plantes de l'orge en Magnésium (Mg^{++}) par contre le type de sel a un effet significatif moyen sur la teneur des plantes de l'orge en magnésium caractérisé par deux groupes homogènes. La figure (22) montre que la teneur la plus élevée des plantes de l'orge en magnésium est présenté chez le traitement $MgSO_4$ avec une moyenne de (1,38%) et les teneurs les plus faibles sont marqué chez les autre traitements KCl, NaCl, et Na_2SO_4 avec des moyennes (0,3%, 0,24% et 0,23% respectivement). En effet le Magnésium (Mg^{++}) s'accumule d'avantage dans les plantes de l'orge lorsque le milieu de culture s'enrichit en $MgSO_4$.

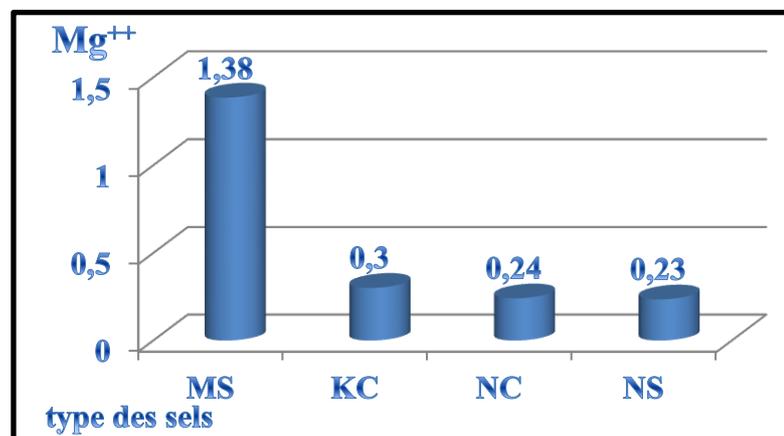


Figure 22: la teneur des plantes de l'orge en (Mg^{++}) en fonction de Type de sel.

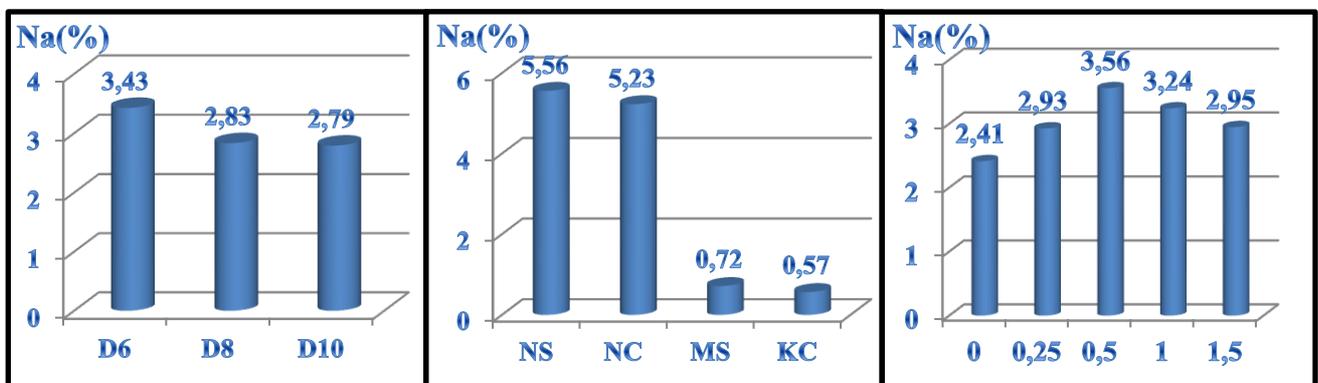
I-2-3- La teneur des plantes de l'orge en (Na^+) :

Les résultats concernant la teneur des plantes de l'orge en sodium en fonction de la dose des sels, type de sel et l'amendement calcique $CaCl_2$ sont représentés sur les figures (23 «A, B et C»). L'analyse de variances consignées dans le tableau (15) montre qu'il y a un effet significatif de dose de sel, type de sel et l'amendement sur la teneur de l'orge en sodium. En effet la teneur la plus élevée des plantes en sodium (Na^+) est enregistré chez la dose (6g/l) avec une moyenne de (3,43%) (fig 23, A) cette teneur est diminué avec l'augmentation de la dose de sel. Les traitements Na_2SO_4 , NaCl donnent aussi les teneurs les plus élevée (5,56% et 5,23% respectivement) (fig 23, B) ainsi que le traitement (0,5 g/l $CaCl_2$) avec une moyenne de (3,56%) (fig 23, C), on constate que la teneur en (Na^+) diminue avec l'augmentation de la doses des sels dans le milieu. Cependant les teneurs les plus faibles sont enregistrés chez les

doses (8g/l et 10g/l) (2,43% et 2,79% respectivement) (fig 21, A), les traitements $MgSO_4$ et KCl (0,72% et 0,57% respectivement) (fig 23, B) et chez le traitement (0 g/l $CaCl_2$) (2,41%) (fig 23, C).

D'après RADHOUANE (2013) Lorsque $NaCl$ est ajouté à l'eau d'irrigation, les quantités de sodium dans la feuille sont diminuées fortement. D'une manière générale, les glycophytes les plus sensibles au $NaCl$ n'importent que très peu de (Na^+) dans leurs parties aériennes (HADDAD et COUDRET, 1991).

En revanche les résultats obtenus par BOUZID (2010) montrent que L'augmentation de la concentration du $NaCl$ et du Na_2SO_4 dans le milieu de culture provoque une augmentation de la teneur du Na^+ dans la partie aérienne et dans la partie racinaire.



(A) Dose de sel (g/l)

(B) Type de sel

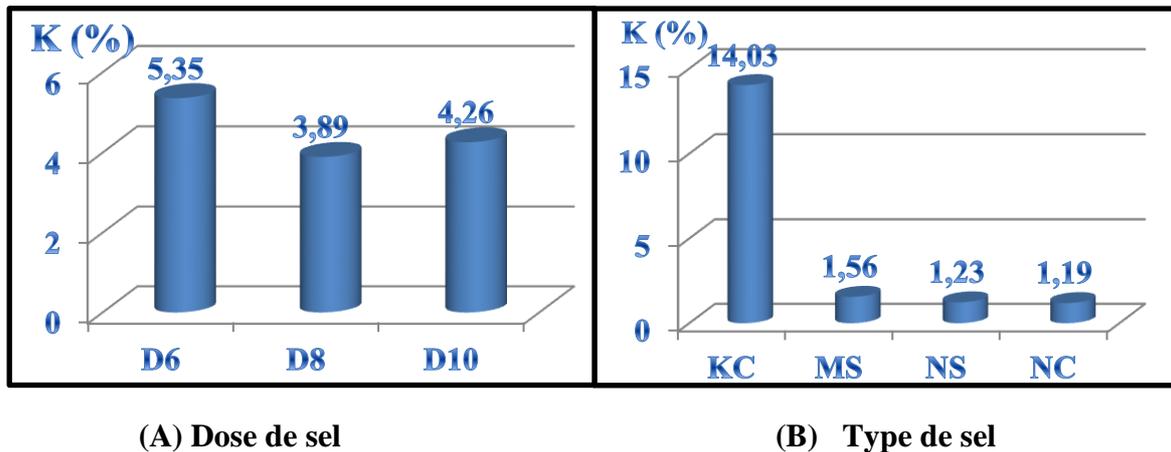
(C) Amendement (g/l)

Figures 23: la teneur des plantes de l'orge en (Na^+) en fonction de Dose de sel, Type de sel et l'amendement calcique $CaCl_2$.

I-2-4- La teneur des plantes de l'orge en (K^+) :

Les figures (24, «A et B») représentent la teneur des plantes de l'orge en potassium (K^+) en fonction de la dose de sel et type de sel. L'analyse statistique révèle un effet significatif moyen exprimé par deux groupes homogènes pour la dose de sel et type de sel cependant il n'y a pas un effet significatif de l'amendement calcique sur la teneur en potassium (K^+) (tableau 15). La teneur la plus élevée est obtenue par la dose (6g/l) (5,35%) (fig 24, A) et aussi par le traitement KCl avec une moyenne de (14,03%) (fig 24, B), par contre les teneurs les plus faibles sont obtenus par les doses (8g/l et 10g/l) avec des moyennes (3,89% et 4,26% respectivement) et sont marqué aussi chez les traitement $MgSO_4$, Na_2SO_4 et $NaCl$ (1,56%, 1,23% et 1,19% respectivement) (fig 24, B).

La salinité peut affecter l'absorption de K^+ , en fonction des espèces et du niveau de salinité (R'HIM *et al.*, 2013). Le potassium (K^+) s'accumule d'avantage dans les plantes de l'orge lorsque le milieu de culture s'enrichit en KCl. Chez l'orge, les travaux ont montré que le potassium est l'un des ions minéraux intervenant dans l'ajustement osmotique, il joue aussi un rôle important dans la photosynthèse. (BEN KHALED *et al.*, 2007).

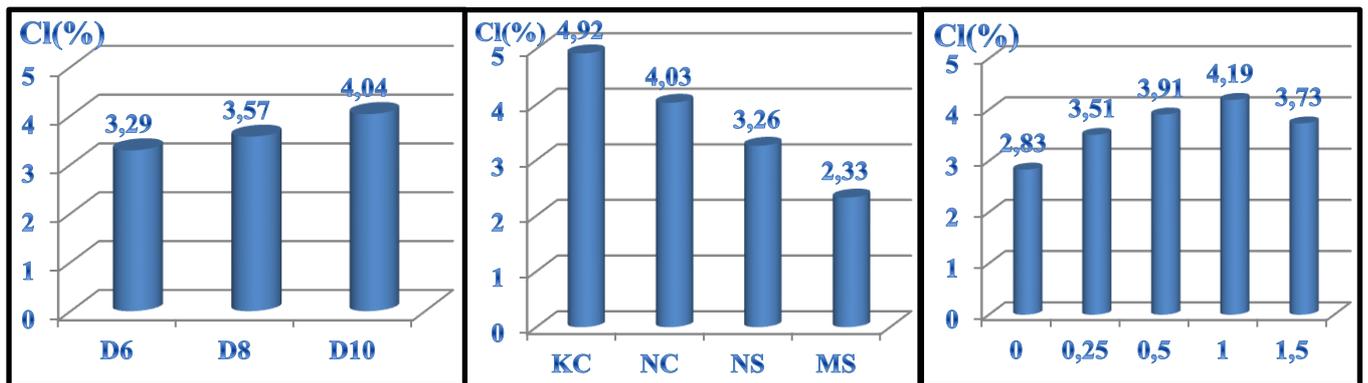


Figures 24: la teneur des plantes de l'orge en (K^+) en fonction de Dose de sel, Type de sel.

I-2-5- La teneur des plantes de l'orge en (Cl^-) :

La teneur des plantes de l'orge en chlore est augmentée avec l'augmentation de la dose de sel (fig 25, A) et avec la présence de KCl, NaCl (fig 25, B) et aussi en présence de $CaCl_2$ dans le milieu (fig 25, C). Le tableau (15) de l'analyse de variance montre qu'il y a un effet significatif moyen exprimé par trois groupes homogènes pour l'effet dose de sel, quatre groupes homogènes pour l'effet de type de sel et cinq groupes homogènes pour l'effet de l'amendement calcique $CaCl_2$. On remarque que la teneur la plus élevée est enregistrée chez la dose (10g/l) avec une moyenne de (4,04%) et chez le traitement KCl (4,92%) et remarqué chez la dose (1g/l de $CaCl_2$) avec une moyenne de (4,19%), cependant la teneur la plus faible est marquée chez la dose (6g/l) avec une moyenne de (3,57), chez le traitement $MgSO_4$ (2,33%) et chez la dose (0 g/l $CaCl_2$) en absence de $CaCl_2$.

L'enrichissement du milieu en sel se traduit par une accumulation importante de chlore dans toute la plante (IBRIZ *et al.*, 2004).



(A) Dose de sel (g/l)

(B) Type de sel

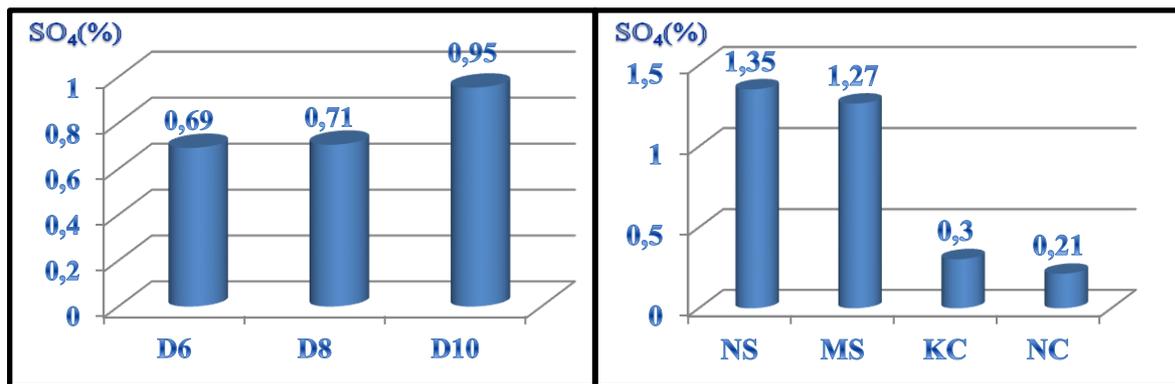
(C) Amendement (g/l)

Figures 25: la teneur des plantes de l'orge en (Cl⁻) en fonction de Dose de sel, Type de sel et l'amendement calcique CaCl₂.

I-2-6-La teneur des plantes de l'orge en (SO₄⁻) :

La teneur des plantes de l'orge en sulfate (SO₄) augmente en fonction de la dose de sel et le type de sel (fig 26, A et B). L'analyse statistique montre qu'il y a un effet moyen significatif (tableau 15). Les doses (6g/l et 8g/l) présentes la teneur en sulfate (SO₄) la plus faible avec des moyennes (0,69% et 0,71 % respectivement). La teneur en cet ion augmente avec la concentration saline (10g/l) et devienne plus élevées elle atteint (0,95%) (fig 26, A). D'après la figure (26, B) la présence de Na₂SO₄ et MgSO₄ dans le milieu provoque une augmentation de teneur des plantes de l'orge en sulfate (SO₄) (1,35% et 1,27% respectivement) et on remarque que la teneur la plus faible est marqué chez les traitements KCl et NaCl (0,3% et 0,21% respectivement).

L'augmentation de la concentration du Na₂SO₄ dans le milieu de culture provoque une augmentation de la teneur du SO₄⁻ (**BOUZID, 2010**).



(A) Dose de sel

(B) Type de sel

Figures 26: la teneur des plantes de l'orge en (SO_4^{2-}) en fonction de Dose de sel, Type de sel.

II-Résultat de blé dur

II- 1- les paramètres des croissances

Les résultats de comportement physiologique de blé dans le milieu salin (la rétention en eau des grains (REG), le taux de germination (TG), la longueur des tiges (LT), la longueur des racines (LR) et la production de la matière fraîche (PF) et sèche (PS)) obtenus ont fait l'objet d'une analyse ANOVA pour déterminer l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl_2 dans le milieu salin.

Tableau 16: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl_2 sur les paramètres de la croissance de blé.

		REG(%)	TG (%)	LT (cm)	LR (cm)	MF (g)	MS (g)
Facteurs	Niveaux						
Dose de sel (g/l)	D3	45,91a	87,51a	13,62a	7,46a	6,55a	0,85a
	D6	38,2b	83,28b	11,05b	4,83b	4,98b	0,71b
	D9	32,9c	76,37c	9,81c	3,8c	4,12c	0,65c
Type de sel	KCl	N S	84,18a	13,77a	5,64b	5,66a	0,78a
	Na_2SO_4	N S	84,29a	12,26b	6,52a	5,52a	0,78a
	MgSO_4	N S	83,43a	10,6c	3,99c	4,67c	0,69b
	NaCl	N S	77,64b	9,34d	5,29b	5,02b	0,7b
Amendement (g/l)	0	35,41b	N S	11,23b	N S	4,99b	0,71b
	0,25	39,73a	N S	11,21b	N S	5,1ab	0,74ab
	0,5	38,7a	N S	11,68ab	N S	5,45a	0,72ab
	1	40,78a	N S	11,47ab	N S	5,31ab	0,74ab
	1,5	40,41a	N S	11,87a	N S	5,23ab	0,76a

II-1-1- la rétention en eau des graines

➤ Effet de dose des sels

L'augmentation de doses des sels induit la diminution de la rétention en eau des graines de blé dur (figure 27). La dose des sels a un effet significatif moyen caractérisé par trois groupes homogènes (tab 16), la dose 3g/l présente le taux de rétention en eau des graines la plus élevée (45,91 %) cependant le taux la plus faible est marqué chez la dose 9 g/l avec une moyenne de (32,9 %).

D'après REJILI *et al* (2006) l'effet dépressif de la salinité peut être de nature osmotique se traduisant par l'inaptitude des graines à absorber des quantités suffisante en eau.

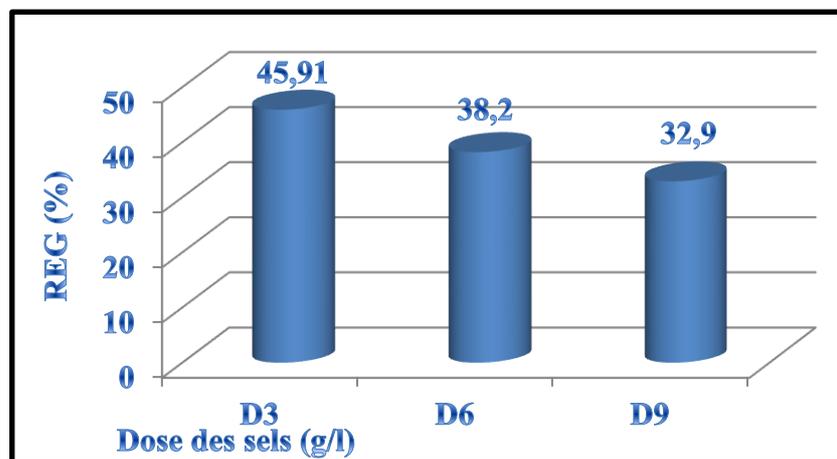


Figure 27: Evolution du taux de rétention en eau des graines de blé en fonction des doses des sels.

➤ Effet de l'amendement :

D'après le tableau (16) l'analyse statistique montre qu'il y a un effet moyen significatif exprimé par deux groupes homogènes. On observe que le taux la plus élevé en eau des graines est observé chez les traitements amendé (1g/l, 1,5g/l, 0,25g/l et 0,5g/l) avec des moyennes (40,78 g/l, 40,41 g/l, 39,73 g/l et 38,7g/l respectivement), cependant le taux la plus faible est marqué chez le traitement non amendé avec une moyenne (35,41g/l) (fig 28). Donc la présence de CaCl_2 dans le milieu améliorer l'aptitude des graines de blé a absorbé l'eau.

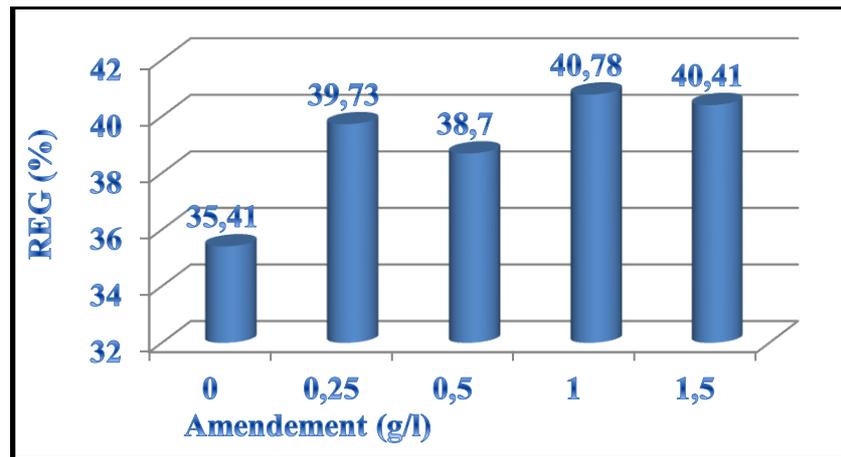


Figure 28: Evolution du taux de rétention en eau des graines de blé en fonction des l'amendement calcique CaCl_2 .

II -1-2- Taux de germination

➤ Effet de dose des sels

Les résultats obtenus (figure 29) montrent que le taux de germination des grains de blé diminue au fur et à mesure que la dose des sels augmente. D'après les analyses statistiques

(Tableau 16) on observe que le taux de germination la plus élevée est observé chez la dose 3g/l (87,51%) qu'est représenté le premier groupe par contre le taux la plus faible est enregistré chez la dose 9g/l (76,37%).

La forte dose de sel exerce un effet dépressif sur la germination des graines de blé (MRANI ALAOUI *et al.*, 2013 ; BEN NACEUR *et al.*, 2001), En réduisant leur faculté et/ou leur énergie germinative (DAROUI *et al.*, 2012).

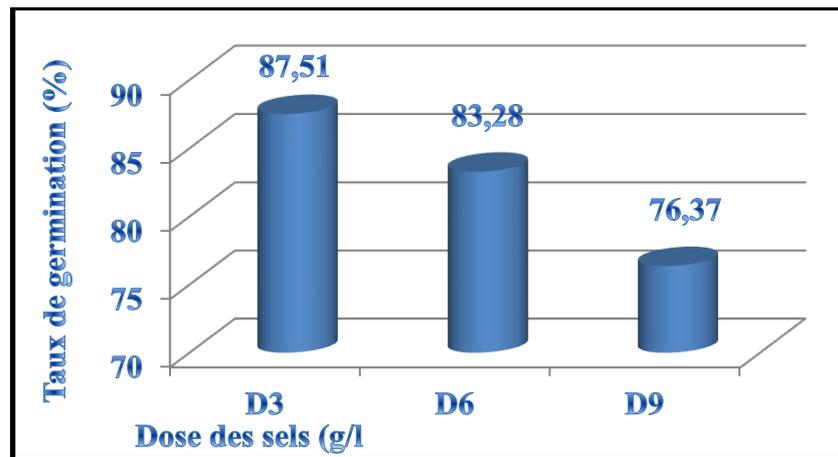


Figure 29: Evolution du taux de germination de blé en fonction des doses des sels.

II -2-2-Effet de types des sels

Les résultats de taux de germination en fonction de type de sel sont consignés sur la figure (30), l'analyse statistique montre un effet moyen significatif exprimé par deux groupes homogènes (tab 16). Le premier groupe rassemble Na_2SO_4 , KCl et MgSO_4 avec des moyennes (84,29, 84,18 et 83,43% respectivement) qui donnent le taux de germination la plus élevée. Cependant le NaCl présente le taux de germination la plus faible (77,64%). En effet, NaCl est le sel le plus toxique sur la germination de blé que Na_2SO_4 , KCl et MgSO_4 sont des sels moins nocif.

Les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire des ions Na^+ et Cl^- qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination (REJILI *et al.*, 2006). Aussi une forte concentration en chlorure de sodium peut entraîner l'accumulation des ions de Na^+ et Cl^- dans l'embryon, et contribue ainsi à l'altération des processus métaboliques de la germination voir même à la mort de l'embryon par excès d'ions (BENIDIRE *et al.*, 2015).

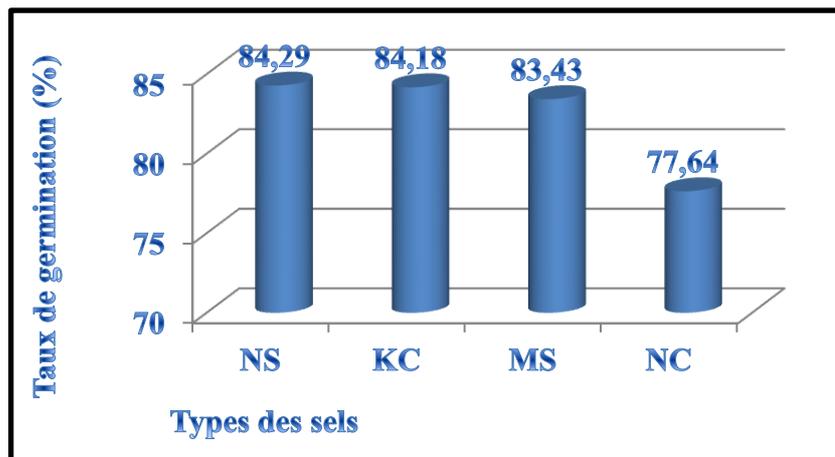


Figure 30: Evolution du taux de germination de blé en fonction du type de sel

II -1-3- Partie aérienne

➤ Effet de dose des sels

Les résultats obtenus (figure 31) ont montré que la dose des sels exerce un effet inhibiteur sur la croissance des plantules de blé. Se traduit par une diminution de la longueur de la tige en fonction de l'augmentation de dose des sels dans le milieu. L'analyse statistique révèle un effet moyen significatif des doses des sels sur la longueur des tiges exprimé par trois groupes homogènes (tab 16). La dose 3g/l présente la plus longue partie aérienne (13.62cm), cependant la dose 9g/l présente la longueur la plus courte (9.81cm).

La salinité empêche la croissance des plantes par un effet osmotique, qui réduit leur capacité à puiser l'eau et par l'exces d'ions nuisibles qui s'accumulent dans les cellules (MUNNS, 2002).

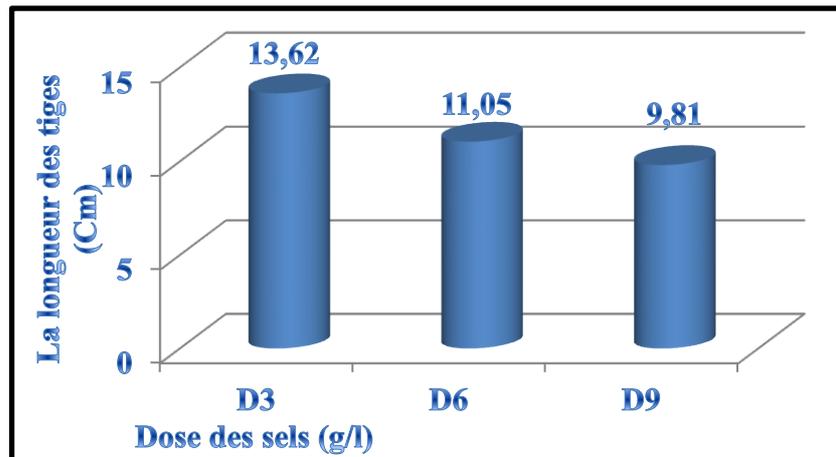


Figure 31: Evolution de la partie aérienne de blé en fonction des doses des sels

➤ Effet de types des sels

L'analyse de la variance montre un effet hautement significatif de moyenne pour la longueur des tiges des plantules de blé, le test de Newman et Keuls fait ressortir quatre groupes homogènes distincts (tab 16). Le KCl présente la partie aérienne la plus longue avec une moyenne de (13,78 cm), cependant NaCl présente la partie aérienne la plus courte (9,34cm).

Le NaCl provoque la réduction de la croissance et de développement des plantes (YANG *et al.*, 2005). Il a un effet même sur la morphologie des plantes (WANG *et al.*, 2001). En général c'est la croissance de la partie aérienne qui souffre de diminution (ABBAD *et al.*, 2004).

L'effet perturbant du NaCl sur l'absorption racinaire minérale est liée à la compétition moléculaire engendrée par ses ions structuraux (Na^+ et Cl^-) vis-à-vis d'autres ions telluriques (Ca^{++} , Mg^+ , K^+ , NO_3^- , PO_4^- , ...), au cours de la nutrition minérale (LEVIGNERON *et al.*, 1995). La baisse d'absorption de ces derniers provoque la désorganisation de nombreux mécanismes physiologiques cibles (germination, respiration, ...), aboutissant aux troubles de croissance (LEPENGUE *et al.*, 2010).

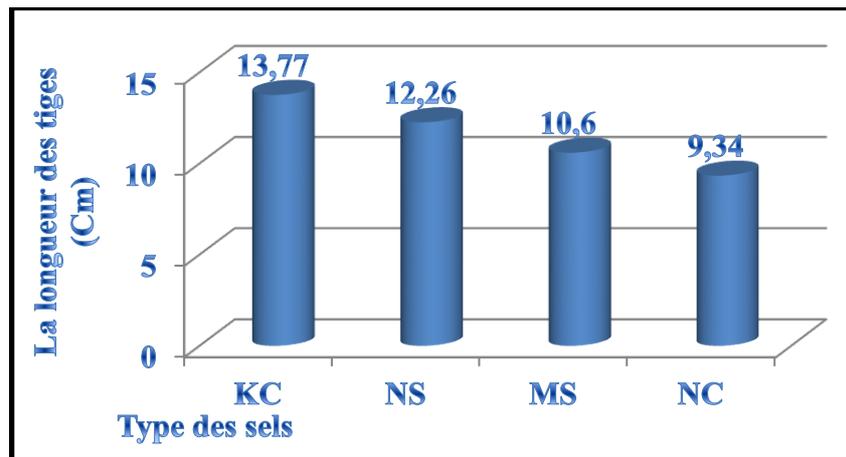


Figure 32: Evolution de la partie aérienne de blé en fonction du type de sel.

➤ Effet d'amendement

L'analyse de la variance montre un effet moyen significatif et remarquable de l'amendement calcique par rapport au traitement non amendé malgré l'augmentation de la concentration dans le milieu (figure 33). La partie aérienne la plus long est obtenue par le traitement (1,5g/l CaCl_2) avec une moyenne de (11,87 cm), et la partie les plus courts obtenus par les traitements (0 et 0,25 g/l CaCl_2) (11,23 cm, 11,21 cm respectivement).

D'après RENGEL (1992) addition du Ca^{++} améliore la croissance des plantes en condition saline.

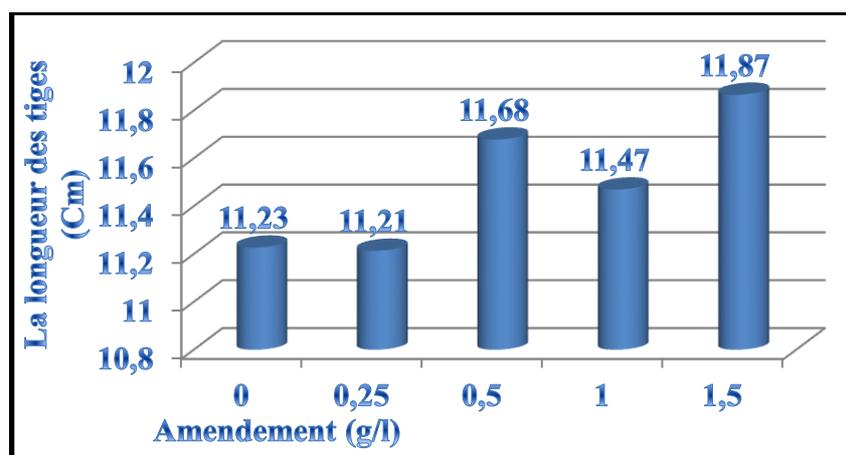


Figure 33: Evolution de la partie aérienne de blé en fonction de l'amendement calcique CaCl_2 .

II -1-4- La longueur des racines

➤ Effet de dose des sels

L'analyse de la variance montre une différence significative (fig 34 , tableau 16) et le test de Newman et Keuls fait ressortir trois groupes homogènes: un groupe (A) représentant la moyenne la plus élevée des racines qui correspond au traitement (3g/l) et un troisième groupe (C), le traitement (9g/l) qui a donné la moyenne la plus faible de longueur des racines (3,8cm). En effet l'augmentation de dose de sel dans le milieu diminue la croissance des racines des plantes de blé dur.

D'après BENIDIRE *et al* (2015) La taille et la densité des poils absorbants des racines sont fortement affectées par la salinité. Des modifications de la structure anatomique des racines sont aussi affectées, et qui se traduisent par une diminution du nombre des cellules par faisceau du xylème et du nombre d'assises du parenchyme cortical.

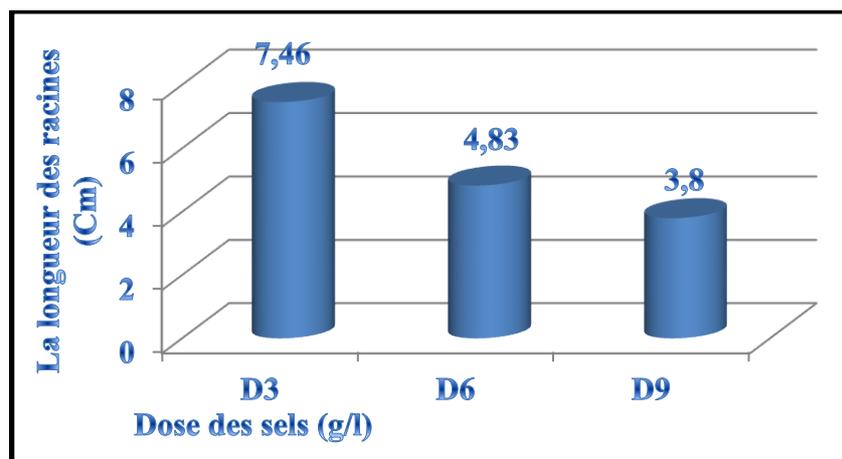


Figure 34: Evolution de la partie racinaire de blé en fonction des doses des sels.

➤ Effet de types des sels

Les différents types de sels influent sur la croissance de la partie racinaire, La moyenne la plus élevée est obtenue par le sel Na_2SO_4 et la moyenne la plus faible est obtenue par MgSO_4 (figure 35). L'analyse de la variance confirme ces résultats en montrant une différence de moyennes significatives exprimées par trois groupes homogènes, Le groupe (A) représenté par la moyenne la plus élevée (6,52cm) obtenue par le traitement Na_2SO_4 ; le groupe (B) reflète les moyennes obtenues par les traitements KCl et NaCl ; Le

troisième groupe (C) représente le moyenne la plus faible obtenue par le traitement $MgSO_4$ (3,99 cm).

(Tableau 16). En effet, Mg a un effet toxique sur les racines (TOBE *et al.*, 2002).

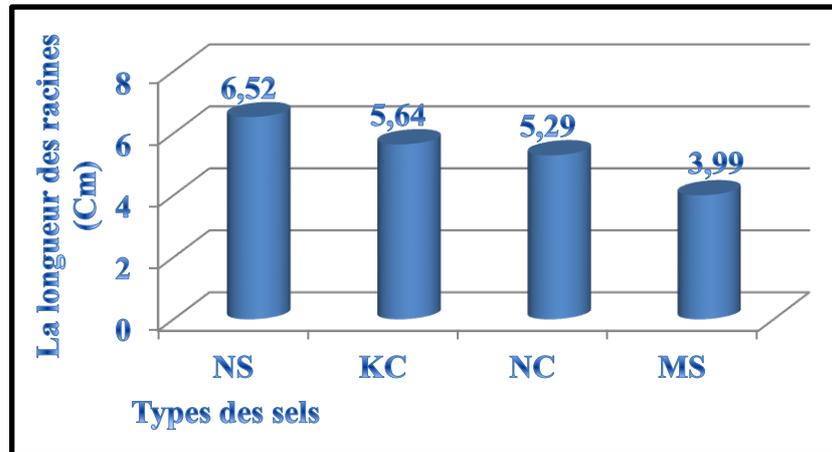


Figure 35: Evolution de la partie racinaire de blé en fonction de type de sel.

II -1-5-Matière fraîche

➤ Effet de dose des sels

Concernant la production de la matière fraîche qui est représentée par la figure (36), on constate que pour la matière fraîche varie de 4.11 g à 6.55g. L'analyse statistique montre que la dose 3g/l exprime le meilleur poids fraîche a atteint une valeur moyenne de 6.55g, cependant le poids la plus faible est exprimé par la dose 9g/l avec une moyenne de 4,11g (tableau 16). Donc la production de la matière fraîche des plantes de blé influe négativement par l'augmentation de dose de sel dans le milieu.

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente. Et aussi la diminution de la biomasse fraîche des feuilles, tiges et racines (CHARTZOULAKIS *et KLAPAKI*, 2000).

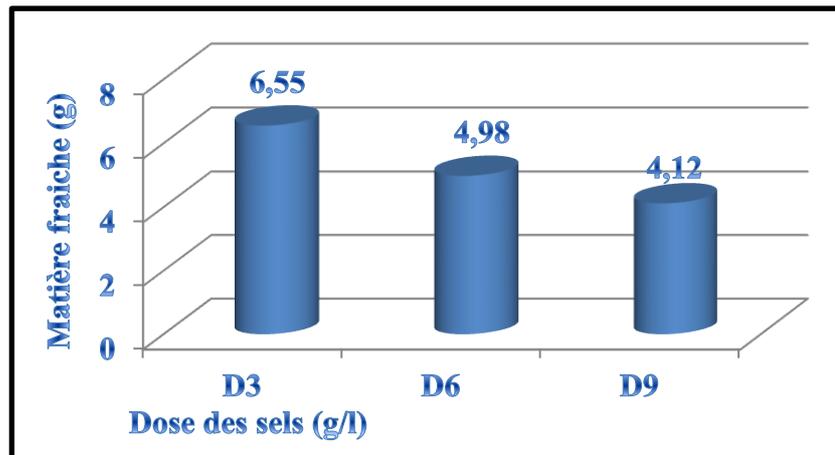


Figure 36: Production de la matière fraîche de blé en fonction des doses des sels

➤ Effet du type de sel

La figure (37) représente la production de la matière fraîche de blé en fonction de type des sels, L'analyse de la variance indique qu'il y a des différences significatives exprimé par trois groupes homogènes (tableau 16). Le KCl et Na_2SO_4 représentent le taux de production de la matière fraîche la plus élevée (5,66g et 5,52g respectivement), cependant, la production la plus faible a été enregistré chez MgSO_4 avec une moyenne de (4,67g). Donc la présence de MgSO_4 défavorisé la production de la matière fraîche des plantes de blé.

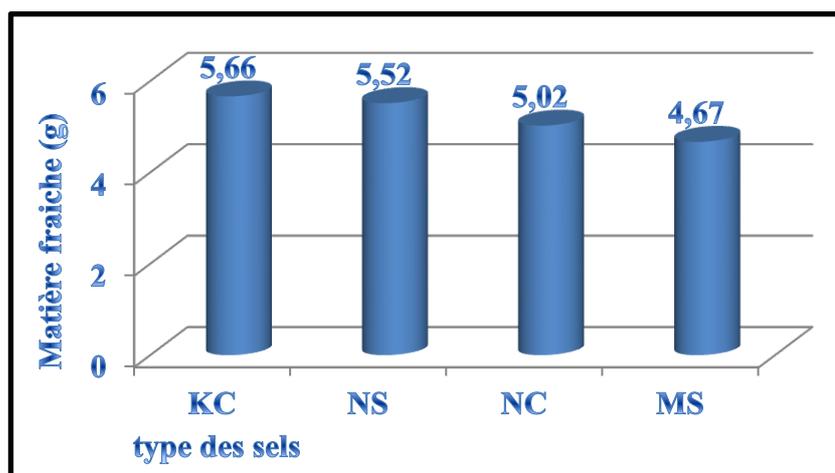


Figure 37: Production de la matière fraîche de blé en fonction du type de sel.

➤ **Effet d'amendement**

La figure (38) représente l'évolution de la production de la matière fraîche en fonction de la présence de l'amendement calcique CaCl_2 . La production la plus élevée est marquée chez les traitements amendé par contre La production la plus faible est marquée chez le traitement non amendé. L'analyse de la variance confirme ces résultats en montrant une différence de moyennes significatives exprimées par deux groupes homogènes (tableau 16), la dose (0,5g CaCl_2) présente la production la plus élevée avec une moyenne (5,45g) cependant la production la plus faible chez (0 g CaCl_2). En effet la présence de Ca^{++} amélioré la production de la matière fraîche de blé.

D'après BEN KHALED et al (2007) le calcium joue un rôle important dans la tolérance des plantes au sel.

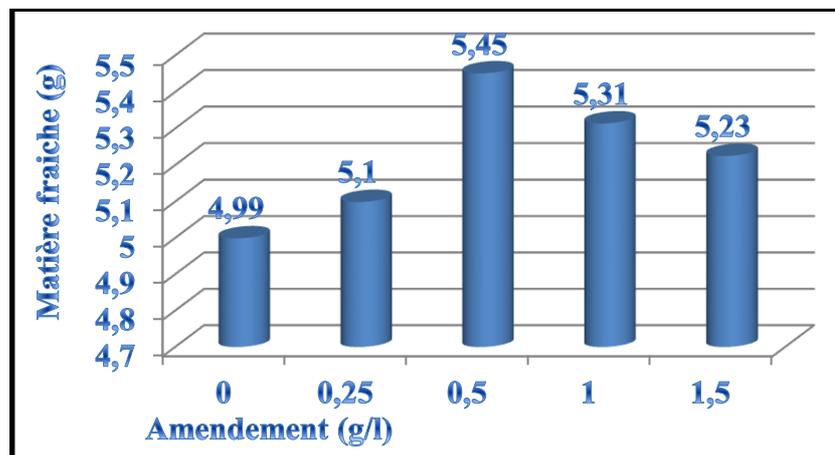


Figure 38: Production de la matière fraîche de blé en fonction de l'amendement.

II-1-6- Matière sèche

➤ **Effet de dose des sels**

D'après la figure (39) on remarque que la production de la matière sèche diminue avec l'augmentation des doses des sels dans le milieu. L'analyse de variance a révélé un effet moyen significatif. Exprimé par trois groupes homogènes (tableau 16), la dose 3g/l exprime le meilleur poids sèche a atteint une valeur moyenne de (0,85g), cependant le poids la plus faible est exprimé par la dose 9g/l avec une moyenne de (0,64 g).

La salinité provoque la réduction de la production de la biomasse sèche de blé. Ce réduction étaient d'autant plus importantes que le niveau du sel était élevé et ce indépendamment du stade du développement de la culture. Néanmoins, la salinité ne présente

pas toujours que des effets dépressifs; des niveaux faibles de sel (0.3%) dans le milieu de culture (RABIE *et al.*, 1985).

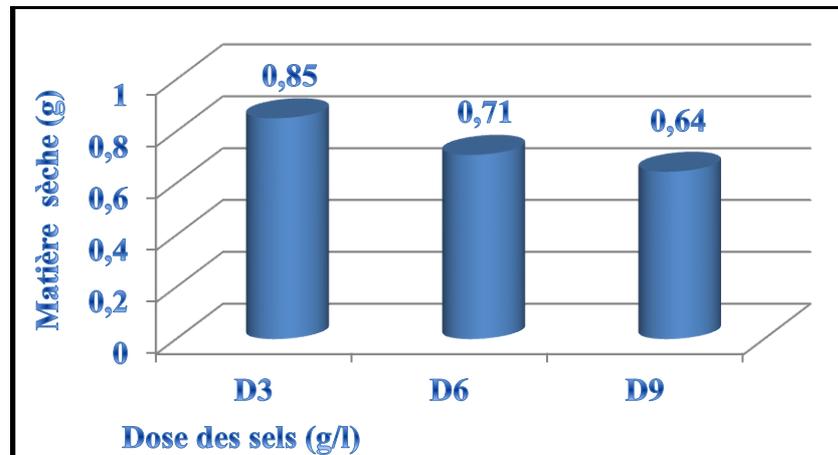


Figure 39: Production de la matière sèche de blé en fonction de dose des sels.

➤ Effet du type de sel

La figure (40) représente la Production de la matière sèche des plantes de blé en fonction de type des sels. Le test de NEWMAN et KEULS indique qu'il y a deux groupes homogènes (tableau 16). Na_2SO_4 et KCl constituent le premier groupe avec une moyenne de (0,78g), NaCl et MgSO_4 le deuxième groupe avec des moyennes (0,69 g et 0,7 g respectivement), en effet le MgSO_4 a un effet négatif sur la partie racinaire et aussi sur la production de matière fraîche et sèche.

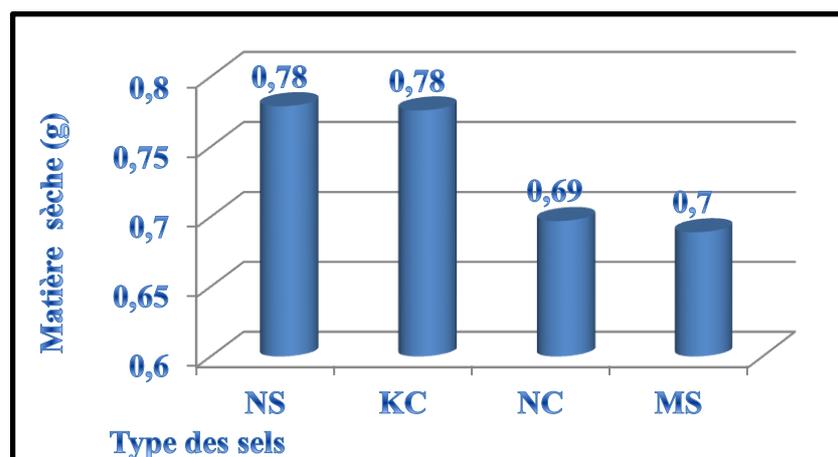


Figure 40: Production de la matière sèche de blé en fonction de type des sels.

➤ **Effet d'amendement**

Comme nous avons déjà signalé l'importance de l'amendement calcique dans la production de la matière fraîche, il a un effet important aussi dans la production de la matière sèche (figure 41). D'après le tableau (16) de l'analyse de variance on remarque que l'amendement calcique CaCl_2 a un effet moyen significatif sur la production de la matière sèche de blé, la production la plus élevée obtenue par le traitement 1,5 g CaCl_2 avec une moyenne de production (0,76 g) et la production la plus faible obtenus par le traitement 0 g CaCl_2 en absence de calcium en effet le calcium a une rôle très importante dans la production de la matière sèche des plantes de blé.

Le calcium est un cation divalent dont le rôle est de régir l'absorption des éléments nutritifs à travers la membrane plasmique, Il joue aussi un rôle dans la division et l'élongation cellulaire, dans la structure et la perméabilité de la cellule (O'BRIEN, 2004).

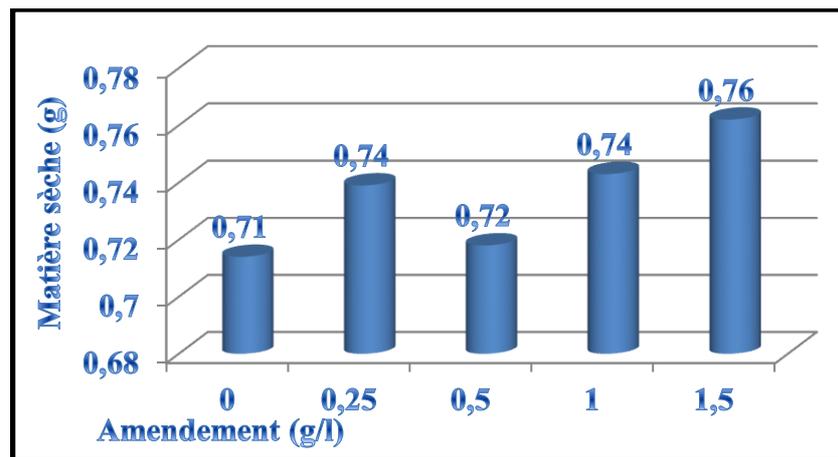


Figure 41: Production de la matière sèche de blé en fonction de l'amendement calcique CaCl_2 .

II-1-7- Effet de l'interaction des facteurs étudiés sur le blé :

➤ **La partie aérienne**

L'interaction dose de sel-type de sel est significative, d'après le tableau (17) on observe des interactions très importantes liées à la longueur de la partie aérienne des plantes de blé, les plus importantes sont : le traitement 6g/l KCl est différente significativement au traitement 3g/l NaCl ce dernier est dans le même groupe avec 6g/l Na_2SO_4 et 9g/l KCl et on remarque aussi que le traitement 9 KCl est supérieur au 6 NaCl, ce qui explique l'effet négatif de

l'NaCl sur la longueur de la partie aérienne des plantes de blé même à faible dose d'une part et l'effet positif de KCl même à forte dose d'autre part.

Tableau 17: interaction Dose de sel-type de sel (La partie aérienne chez le blé)

Traitement	Moyennes	Groupes Homogènes
D3 KC	16,745	A
D3 NS	14,588	B
D6 KC	12,963	C
D3 MS	12,057	D
D6 NS	11,861	D E
D9 KC	11,597	D E
D3 NC	11,087	E F
D6 MS	10,455	F
D9 NS	10,342	F
D9 MS	9,277	G
D6 NC	8,917	G
D9 NC	8,004	H

➤ **La partie racinaire**

D'après l'analyse statistique l'interaction entre type de sel-amendement calcique est significative (tableau 18). On remarque que les traitements $MgSO_4$ chez l'amendement (0,5, 1, 1,5g/l $CaCl_2$) sont différente significativement aux traitements $MgSO_4$ chez l'amendement (0, 0,25g/l $CaCl_2$) qui représentent la longueur les plus faibles des racines des plantes de blé, en effet la présence de calcium dans le milieu allégé l'effet négative de Mg sur les racines des plantes de blé (MASMOUDI *et al.*, 2014).

Tableau 18: interaction type de sel-amendement (La partie racinaire chez le blé).

Traitement	Moyennes	Groupes Homogènes
NS 1,5	6,96	A
NS 1	6,889	A B
NS 0	6,573	A B C
NS 0,25	6,524	A B C
KC 0	6,038	A B C D
KC 0,5	5,901	A B C D E
NC 0,25	5,802	A B C D E
KC 0,25	5,774	A B C D E
NC 0	5,676	B C D E
NS 0,5	5,651	B C D E
NC 0,5	5,599	B C D E
KC 1,5	5,402	C D E
KC 1	5,1	D E
MS 1	5,087	D E
MS 0,5	4,908	D E
NC 1,5	4,7	D E
NC 1	4,666	E
MS 1,5	4,591	E
MS 0,25	3,093	F
MS 0	2,317	F

➤ La matière fraîche

L'interaction type de sel-amendement est significative, d'après le tableau (19) les traitements amendé de $MgSO_4$ (0,25, 0,5, 1, 1,5g/l $CaCl_2$) sont supérieur au traitement non amendé de $MgSO_4$ (0 g/l $CaCl_2$) qui représente la production de la matière fraîche la plus faible, donc on peut dire que le Ca a un effet très importante sur la production de la matière fraîche des plantes de blé en présence de $MgSO_4$ dans le milieu.

Tableau 19: interaction type de sel-amendement (La Matière fraîche chez le blé).

Traitement	Moyennes	Groupes Homogènes
NS 1	6,453	A
KC 0,5	6,126	A B
KC 0	6,007	A B C
NS 0,25	5,554	B C D
KC 1,5	5,526	B C D
MS 1,5	5,367	B C D
KC 1	5,364	B C D
NS 0,5	5,356	B C D
KC 0,25	5,293	B C D
NS 0	5,251	C D
NC 0,25	5,188	C D E
MS 0,5	5,167	C D E
NC 0,5	5,158	C D E
NC 0	5,114	C D E
NC 1,5	5,044	D E
NS 1,5	4,964	D E
MS 1	4,831	D E
NC 1	4,609	D E
MS 0,25	4,359	E
MS 0	3,623	F

➤ **La matière sèche**

L'effet de l'interaction entre dose de sel-type de sel sur la production de la matière sèche est significatif. On a remarqué que le traitement 6g/l KCl se classe au même groupe avec les traitements 3g/l (NaCl et MgSO₄) et le traitement 9g/l avec le traitement 6g/l MgSO₄ (tableau 20), donc les faibles doses de NaCl et MgSO₄ ont le même effet avec des forts doses de KCl, ce qui explique l'effet négatif de NaCl et MgSO₄ sur la production de la matière sèche des plantes de blé.

Tableau 20 : interaction Dose de sel-type de sel (La matière sèche chez le blé).

Traitement	Moyennes	Groupes Homogènes
D3 NS	0,924	A
D3 KC	0,912	A
D3 NC	0,789	B
D3 MS	0,781	B
D6 KC	0,76	B C
D9 NS	0,708	C D
D6 NS	0,704	C D
D6 NC	0,702	C D
D6 MS	0,672	D E
D9 KC	0,657	D E F
D9 MS	0,615	E F
D9 NC	0,599	F

II-2- La teneur des plantes de blé en éléments minéraux (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- et SO_4^{--})

Les résultats de la teneur des plantes de blé en éléments minéraux (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- et SO_4^{--}) obtenus ont fait l'objet d'une analyse ANOVA pour déterminer l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl_2 sur la nutrition de ces éléments.

Tableau 21: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl_2 sur la teneur en éléments minéraux (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- et SO_4^{--}) chez le blé.

		$\text{Ca}^{++}(\%)$	$\text{Mg}^{++}(\%)$	$\text{Na}^+(\%)$	$\text{K}^+(\%)$	$\text{Cl}^-(\%)$	$\text{SO}_4^{--}(\%)$
Facteurs	Niveaux						
Dose de sel (g/l)	D3	0,54a	0,3b	0,41c	1,71b	2,74b	NS
	D6	0,53a	0,42a	1,22a	2,12a	2,71b	NS
	D9	0,42b	0,38a	0,59b	1,83b	3,32a	NS
Type de sel	KCl	0,56a	0,24b	0,16b	4,76a	4,05a	0,5c
	Na_2SO_4	0,51ab	0,24b	1,3a	0,92b	2,73c	2,07a
	MgSO_4	0,46b	0,78a	0,16b	0,94b	1,66d	1,43b
	NaCl	0,47b	0,22b	1,34a	0,92b	3,25b	0,35c
Amendement (g/l)	0	0,31b	NS	0,69b	NS	2,3c	NS
	0,25	0,54a	NS	0,71b	NS	2,85b	NS
	0,5	0,51a	NS	0,68b	NS	2,94b	NS
	1	0,55a	NS	0,85a	NS	3,42a	NS
	1,5	0,59a	NS	0,76b	NS	3,11ab	NS

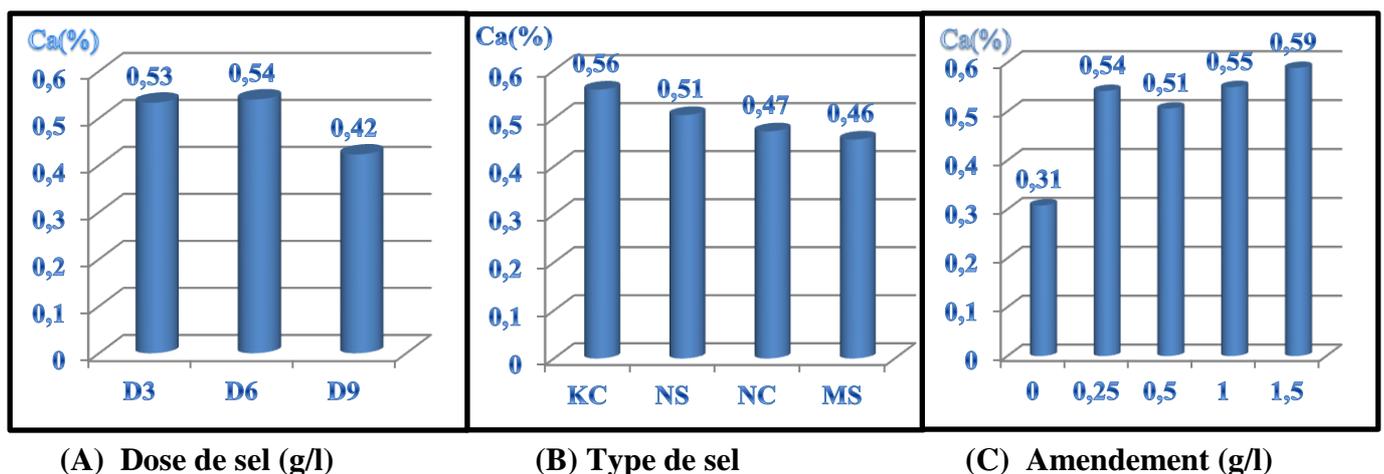
II-2-1- La teneur des plantes de blé en (Ca^{++}) :

D'après le tableau (21) les résultats obtenus montrent qu'il y a un effet significatif moyen exprimé par deux groupes homogènes pour l'effet dose de sel et l'amendement calcique CaCl_2 et trois groupes homogènes pour l'effet de type de sel. On observe que la teneur des plantes de blé en calcium (Ca^{++}) dans les doses (3g/l et 6g/l) sont (0,53% et 0,54% respectivement) cette teneur diminue avec l'augmentation de dose de sel dans le milieu elle atteint (0,42%) dans la dose (9g/l) (fig 42, A). en effet il semble que l'augmentation de la salinité diminue l'absorption de calcium. D'après IBRIZ *et al* (2005) ; BELFAKIH *et al* (2013) L'augmentation de la concentration saline dans le milieu est accompagnée d'une diminution de la teneur en calcium de la plante.

La figure (42, B) montre que la teneur en calcium la plus élevée est observé chez le traitement KCl avec une moyenne de (0,56%) et les teneurs les plus faibles sont obtenus par les traitements NaCl et MgSO_4 avec des moyennes (0,47% et 0,46% respectivement). Donc l'absorption de calcium est diminuée en présence de NaCl et MgSO_4 dans le milieu.

D'après la figure (42, C) les teneurs les plus élevée des plantes de blé en calcium (Ca^{++}) sont obtenues en présence de l'amendement calcique CaCl_2 dans le milieu par contre la teneur la plus faible est enregistré chez le traitement non amendé.

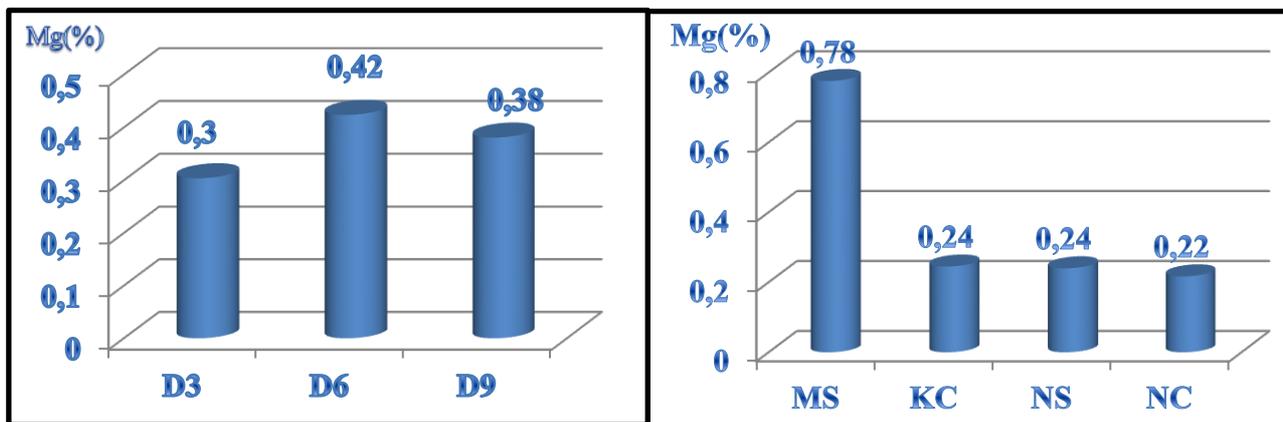
Les résultats obtenus par AKHAVAN-KHARAZIAN *et al* (1991) montrent que l'augmentation de la concentration de CaCl_2 dans le milieu provoque une augmentation de la teneur en (Ca^{++}).



Figures 42: la teneur des plantes de blé en (Ca^{++}) en fonction de Dose de sel, Type de sel et l'amendement calcique CaCl_2 .

II-2-2- La teneur des plantes de blé en (Mg^{++}) :

L'examen des figures (43, A et B) montre que la teneur des plantes de blé en Magnésium (Mg^{++}) augmente avec l'augmentation de dose de sel (figure 43, A) et la présence de $MgSO_4$ dans le milieu (fig 43, B). L'analyse de variance montre qu'il y a un effet moyen significatif exprimé par deux groupes homogènes pour l'effet dose de sel et type de sel (tableau 21), donc les teneurs les plus élevée sont obtenus par les doses (6g/l et 9g/l) avec des moyennes (0,42% et 0,38% respectivement) (fig 43, A) et par le traitement $MgSO_4$ avec une moyenne de (0,78%) (figure 43, B) en effet ce cation s'accumule d'avantage lorsque le milieu de culture s'enrichit en $MgSO_4$. Cependant la teneur la plus faible est obtenue par la dose (3g/l) (0,3%) (figure 43, A) et obtenue aussi par les traitements KCl, Na_2SO_4 et NaCl avec des moyennes (0,24%, 0,24% et 0,22% respectivement) (figure 43, B).



(A) Dose de sel (g/l)

(B) Type de sel

Figures 43: la teneur des plantes de blé en (Mg^{++}) en fonction de Dose de sel, Type de sel.

II-2-3- La teneur des plantes de blé en (Na^+) :

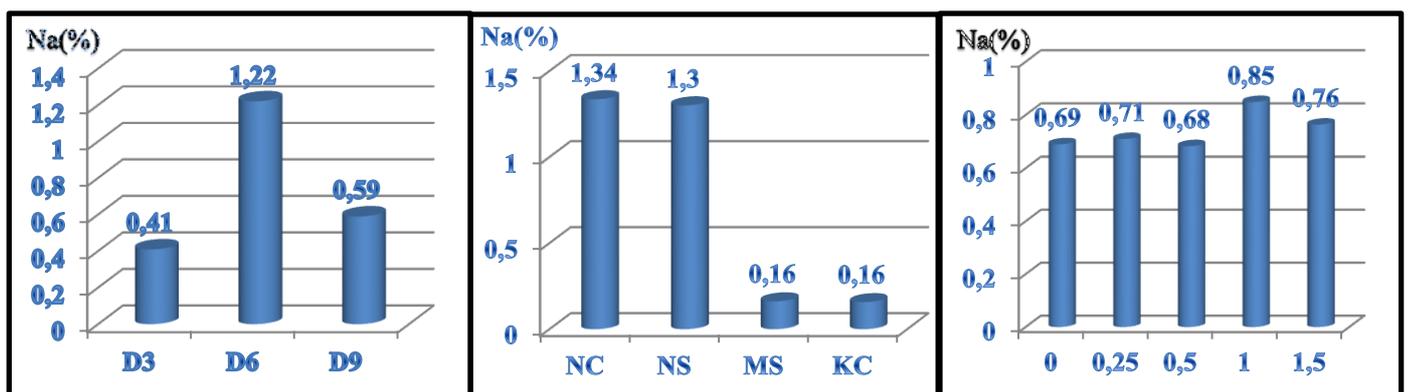
Les figures (44, A, B et C) montrent l'évolution de la teneur de blé en sodium en fonction de dose de sel, type de sel et l'amendement calcique $CaCl_2$. L'analyse statistique révèle des effets significatifs de dose de sel, type de sel et l'amendement calcique $CaCl_2$ sur la teneur de blé en sodium (Na^+), la dose (3g/l) enregistre une teneur de sodium la plus faible de (0,41%) cette teneur est augmenté avec l'augmentation de la dose de sel dans le milieu, la teneur augmente à (1,22%) pour la dose (6g/l), et par l'augmentation de dose de sel jusqu'à (9g/l) la teneur en sodium réduit de (0,59%) (figure 44, A). Lorsque le milieu s'enrichit en Na_2SO_4 et NaCl la teneur des plantes de blé en sodium est plus élevée (figure 44, B), l'analyse statistique montre un effet significatif exprimé par deux groupe homogènes, la teneur la plus élevée est marqué par les traitements NaCl et Na_2SO_4 avec des moyenne (1,34% et 1,3%

respectivement) (tableau 21). Selon les résultats obtenus par AWADA (1991) l'augmentation de la concentration de NaCl et Na₂SO₄ dans le milieu provoque l'augmentation de l'absorption de sodium par les plantes. Les teneurs les plus faibles sont marquées chez les traitements MgSO₄ et KCl avec une moyenne de (0,16% pour les deux traitements) (fig 44, B).

D'après la figure (44, C) la teneur la plus élevée en sodium est enregistrée chez le traitement (1g/l CaCl₂) avec une teneur de (0,85%) cependant les teneurs les plus faibles sont enregistrées chez les autres traitements.

L'augmentation de la salinité du milieu augmente la teneur en Na⁺ dans toutes les parties de la plante (IBRIZ *et al.*, 2005; IBRIZ *et al.*, 2004 ; BOUAOUINA *et al.*, 2000).

D'après BEN KHALED *et al* (2007) La présence de l'ion sodium en grande quantité dans la plante de blé est expliquée d'une part par son transport passif du sol vers les racines et d'autre part par sa diffusion dans le xylème par la voie apoplasmique. Cette forte accumulation des ions sodium dans les organes aériens est l'une des causes qui limitent la croissance de la plante. Selon les travaux de TESTER et DAVENPORT (2003) et ZHU (2003) in BEN KHALED *et al* (2007) les fortes teneurs en sodium dans la plante entraînent un déséquilibre ionique qui affecte la croissance, la division et la survie des cellules. En revanche, Une meilleure tolérance des plantes au stress salin réside dans le maintien d'une faible concentration cytosolique en Na⁺. La protection des feuilles contre l'invasion par Na⁺ peut être assurée par un contrôle de l'absorption nette par la racine par une excrétion active vers le milieu (SLAMA, 1986).



(A) Dose de sel (g/l)

(B) Type de sel

(C) Amendement (g/l)

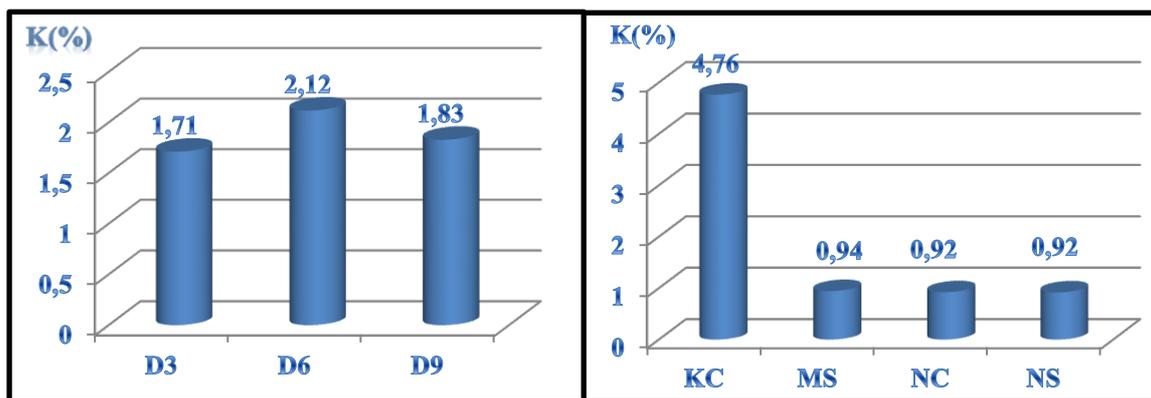
Figures 44: la teneur des plantes de blé en (Na⁺) en fonction de Dose de sel, Type de sel et l'amendement calcique CaCl₂.

II-2-4- La teneur des plantes de blé en (K^+) :

La figure (45, A) de la teneur des plantes de blé en potassium en fonction de la dose de sel montre qu'à partir de la dose 3 g/l la teneur des plantes en potassium augmente jusqu'à la dose 6 g/l et cette teneur diminue avec l'augmentation de la dose de sel jusqu'à 9g/l. L'analyse statistique révèle un effet moyen significatif exprimé par deux groupes homogènes (tableau 21) le premier groupe est la dose (6g/l) avec une moyenne de (2,12%) et la deuxième groupes ressemble les doses (9g/l et 3g/l) avec des moyenne (1,83% et 1,71% respectivement).

Pour le type de sel et d'après la figure (45, B) la teneur la plus élevée en potassium est obtenu par le traitement KCl (4,76%) et les faibles teneurs sont obtenus par $MgSO_4$, NaCl et Na_2SO_4 avec des moyennes (0,94%, 0,92% et 0,92% respectivement), en effet la présence de KCl dans le milieu provoque l'augmentation de l'absorption des plantes en potassium. Le tableau (21) de l'analyse de variance confirme les résultats obtenus,

Selon BELFAKIH *et al* (2013) ; KACI *et al* (2012) La plante absorbe et véhicule le maximum de potassium vers la partie aérienne afin d'assurer un ajustement osmotique. La capacité de la plante à pomper le potassium de la solution nutritive, puis de le véhiculer vers les feuilles, représente une stratégie d'adaptation au stress salin via la régulation osmotique par l'ion potassium et l'importance de l'augmentation de la teneur en K^+ pourrait être donc un indicateur de la tolérance au sel.



(A) Dose de sel (g/l)

(B) Type de sel

Figures 45: la teneur des plantes de blé en (K^+) en fonction de Dose de sel, Type de sel.

II-2-5- La teneur des plantes de blé en (Cl⁻) :

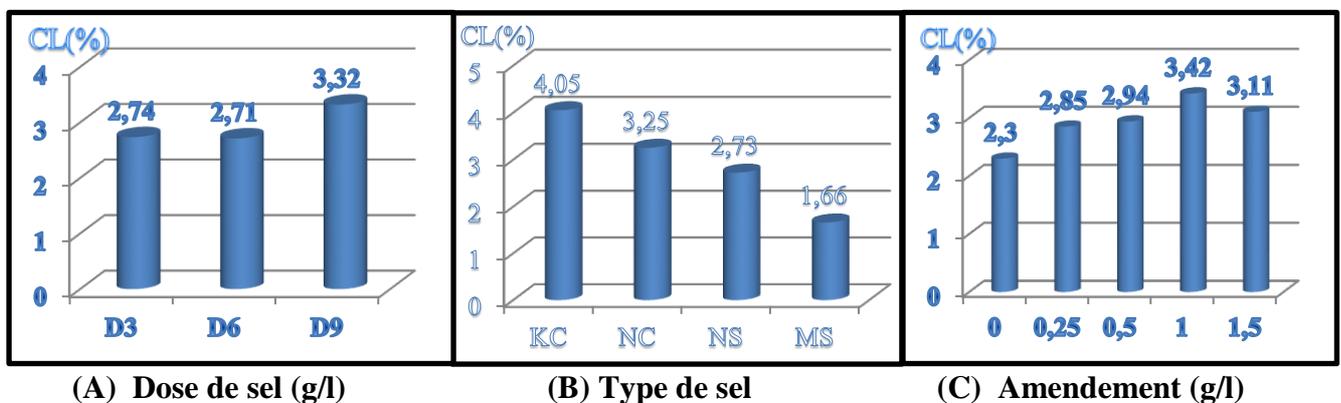
La figure (46, A) montre que l'augmentation de la dose de sel jusqu'à 6g/l n'affecte pas l'absorption des plantes de blé en chlore mais à partir de cette dose jusqu'à la dose 9g/l la teneur des plante en chlore (Cl⁻) augmente. L'analyse de variance montre qu'il y a un effet moyen significatif exprimé par deux groupes homogènes (tableau 21), le premier groupe est la dose 9g/l qui constitué la teneur la plus élevée en chlore (Cl⁻) (3,32%), cependant la deuxième groupe formé les doses 3g/l et 6g/l avec des moyenne (2,74% et 2,71% respectivement).

Le blé dur est capable d'absorber, d'exporter et accumuler le (Cl⁻) dans leurs parties aériennes. La tolérance des plantes à la salinité peut être due à une capacité de la plante à contrôler l'accumulation de l'ion dans ses tissus (BEN KHALED *et al.*, 2007).

Les résultats de la teneur des plantes de blé en chlore (Cl⁻) en fonction de type de sel est représenté dans la figure (46, B), Le test de NEWMAN et KEULS indique qu'il y a quatre groupes homogènes (tableau 21), le KCl constitué le premier groupes avec une teneur de (4,05%) le quatrième groupe est le MgSO₄ avec une moyenne (1,66%). En effet la teneur de blé en chlore est plus élevée en présence de KCl dans le milieu par apport à NaCl.

La figure (46, C) représente la teneur de blé en chlore (Cl⁻) en présence des différentes doses de l'amendement calcique CaCl₂ dans le milieu. L'amendement calcique a un effet significatif moyen caractérisé par trois groupes homogènes (tableau 21). La concentration 1g/l présente la teneur la plus élevée avec une moyenne de (3,42%), cependant la concentration 0g/l CaCl₂ présente la teneur la plus faible (2,3%).

La présence de calcium dans le milieu en forte concentration n'affecte pas l'absorption de chlore par les plantes (AWADA, 1991).



Figures 46: la teneur des plantes de blé en (Cl⁻) en fonction de Dose de sel, Type de sel et l'amendement calcique CaCl₂.

II-2-6- La teneur des plantes de blé en (SO_4^{2-}) :

Le tableau (21) de l'analyse de variance montre qu'il n'y a pas un effet significatif de dose de sel et l'amendement calcique CaCl_2 sur la teneur des plantes de blé en sulfate (SO_4^{2-}), par contre le type de sel a un effet significatif moyenne caractérisé par trois groupes homogènes. La figure (47) montre que la teneur la plus élevée des plantes de blé en sulfate (SO_4^{2-}) est présenté chez le traitement Na_2SO_4 avec une moyenne de (2,07%) et les teneurs les plus faibles sont marqué chez les traitements KCl et NaCl , avec des moyennes (0,5% et 0,35% respectivement). En effet le sulfate (SO_4^{2-}) s'accumule d'avantage dans les plantes de blé lorsque le milieu de culture s'enrichit en Na_2SO_4 , cette accumulation est plus élevée en présence de Na_2SO_4 que MgSO_4 dans le milieu.

Selon HAMDIA et al (1996) l'augmentation de la teneur des plantes en sulfate (SO_4) est induite par la présence de Na_2SO_4 dans le milieu.

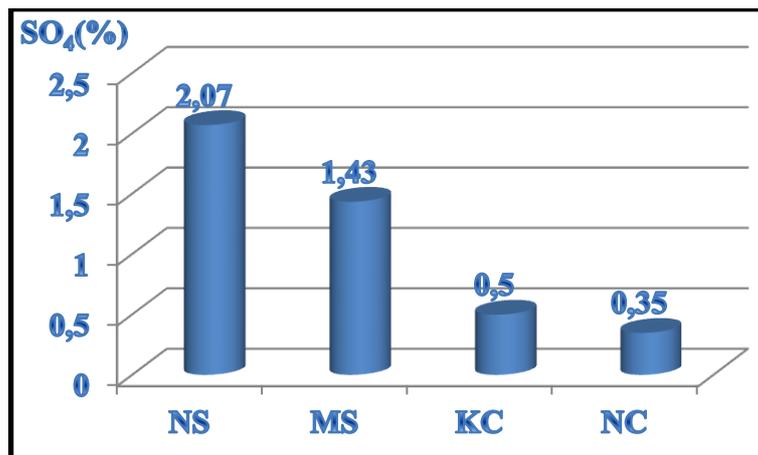


Figure 47: la teneur des plantes de blé en (SO_4^{2-}) en fonction de Type de sel.

SYNTHESE ET

CONCLUSION GENERALE

Synthèse et Conclusion générale

Le travail réalisé dans ce mémoire nous permis d'avoir certaines renseignements sur l'effet de la dose de sels, type de sels et l'amendement calcique CaCl_2 sur des paramètres physiologiques et morphologiques (la rétention en eau des grains, le taux de germination, la longueur des tiges, la longueur des racines et la production de la matière fraîche et sèche), et également sur la teneur en éléments minéraux des deux espèces céréalière, l'orge (variété saaida) et le blé (variété boussalam). Ces paramètres ont été évalués afin de caractériser le niveau de la tolérance de ces deux variétés vis-à-vis de différent stress salin appliqué.

D'après les résultats obtenus, il est possible de retenir les points essentiels suivants :

La teneur en eau des graines représente un indicateur physiologique intéressant pour l'estimation de l'état hydrique des graines de l'orge et de blé dur sous stress salin. Des différences sont notées pour les deux variétés testées. La diminution de la teneur en eau s'accroît davantage avec l'augmentation de la dose des sels dans le milieu, elle atteint (32%) dans la dose 9g/l pour le blé et (48%) dans la dose 10g/l pour l'orge. En revanche la présence de l'amendement calcique CaCl_2 dans le milieu favorise l'absorption de l'eau par les graines de blé dur par contre sa présence défavorise l'absorption en eau par les graines de l'orge.

L'influence de la salinité sur le taux de germination des deux variétés étudiées Saaida et boussalam s'est manifestée par une réduction de taux de germination, réduction d'autant plus importante que la dose de sel augmente. D'après les résultats obtenus le sel qui influe négativement sur le taux de germination est l' NaCl cependant les autres sels KCl , MgSO_4 et Na_2SO_4 donnent les meilleurs taux de germination pour les deux variétés. D'autre part la présence de l'amendement calcique CaCl_2 dans le milieu a amélioré le taux de germination des grains de blé dur par contre sa présence n'influe pas sur le taux de germination des graines de l'orge.

La longueur de la partie aérienne des deux variétés étudiées varie en fonction de la dose et de type de sel, en effet l'augmentation de la dose de sel diminue la longueur de la partie aérienne des plantes de l'orge et de blé. Comme nous avons déjà signalé l'effet négatif de NaCl sur la rétention en eau des grains de l'orge et sur le taux de germination des grains de l'orge et de blé il a un effet inhibiteur important aussi sur la croissance de la partie aérienne des deux variétés étudiées, cependant, KCl et MgSO_4 donnent les meilleurs résultats. Par ailleurs la présence de l'amendement calcique CaCl_2 contribue à une bonne croissance.

Synthèse et Conclusion Générale

La partie racinaire comme la partie aérienne diminue aussi par l'augmentation de la dose de sel dans le milieu. Mais la partie racinaire a été plus affectée par le sel $MgSO_4$ donc ce sel a un effet inhibiteur sur la croissance de la partie racinaire des deux variétés étudiées saaida et boussalam, cependant les sels qui donnent les meilleurs résultats pour le développement de la partie racinaire sont KCl pour les plantes de l'orge et Na_2SO_4 pour les plantes de blé. L'amendement calcique n'agit pas significativement sur la croissance des racines des plantes de blé mais il a un effet remarquable et significatif sur la partie racinaire des plantes de l'orge.

La diminution de la partie aérienne et racinaire par l'augmentation de la dose de sels dans le milieu induit la diminution de la production de la matière fraîche et sèche. Les meilleurs résultats de la production de la matière fraîche et sèche de l'orge sont obtenus par le KCl cependant les autres sels donnent la faible production de la matière fraîche et sèche. Concernant les résultats de la production de la matière fraîche et sèche de blé dur, il est observé que les sels KCl et Na_2SO_4 sont les meilleurs traitements. La production de la matière fraîche est affectée par le $MgSO_4$ et la matière sèche est affectée par $MgSO_4$ et $NaCl$. L'amendement calcique $CaCl_2$ a amélioré la production de la matière fraîche de l'orge et de blé par contre il n'agit pas sur la production de la matière sèche.

Après nous avons identifié l'effet de l'interaction des facteurs étudiés (dose de sel, type de sel et l'amendement calcique) sur les paramètres physiologique et morphologique des plantes de l'orge et de blé pour bien caractériser les effets spécifiques de ces facteurs.

L'interaction entre la dose de sel et type de sel montre que les doses élevées de KCl , $MgSO_4$ et Na_2SO_4 ont le même effet que les doses faibles de $NaCl$ sur le taux de germination des plantes de l'orge, la même remarque est enregistrée chez la longueur de la partie aérienne des plantes de l'orge et de blé. La matière fraîche des plantes de l'orge et de blé et la matière sèche des plantes de blé sont affectées aussi négativement par les doses faibles de $NaCl$ et $MgSO_4$ par contre les doses faibles de KCl et Na_2SO_4 n'ont pas d'influence sur la matière fraîche.

L'interaction entre le type de sel et l'amendement calcique $CaCl_2$ montre que l'amendement calcique $CaCl_2$ n'influe pas sur la longueur de la partie aérienne des plantes de l'orge et la production de la matière fraîche de l'orge et de blé en présence de KCl dans le milieu, par contre sa présence influe positivement sur la partie aérienne des plantes de l'orge en présence de $NaCl$ dans le milieu mais en faible concentration. Il est a noté aussi que la présence de

Synthèse et Conclusion Générale

l'amendement calcique est plus favorable lorsque la concentration de NaCl augmente. D'autre part l'amendement calcique a un effet positif sur la partie racinaire des plantes de l'orge et de blé en présence de $MgSO_4$ et NaCl dans le milieu. En effet, l'amendement calcique a bien allégé l'effet inhibiteur de $MgSO_4$ sur les racines.

L'interaction entre la dose de sel et l'amendement calcique $CaCl_2$ montre que l'amendement calcique a un effet très important sur la partie racinaire des plantes de l'orge en forte concentration des sels.

Les analyses chimiques des plantes montrent que : la teneur des plantes de l'orge et de blé en éléments minéraux varie en fonction de la dose et de type de sels et avec la présence de l'amendement calcique $CaCl_2$.

La teneur des plantes de l'orge et de blé en calcium diminué avec l'augmentation de la dose de sel dans le milieu, on remarque que l'accumulation de calcium dans les plantes de l'orge est plus élevée en présence de NaCl dans le milieu cependant les teneurs les plus faibles sont marqué en présence de KCl et Na_2SO_4 par contre chez les plantes de blé la teneur la plus élevée est marqué en présence de KCl dans le milieu et les faibles teneurs sont enregistrée chez les autre sels. L'addition de $CaCl_2$ au milieu de culture des plantes d'orge et de blé sous stress salin entraîne une accumulation de calcium au niveau des plantes.

D'après les résultats obtenus la dose de sel a un effet sur la teneur des plantes de blé en magnésium mais il n'a y pas un effet sur la teneur des plantes de l'orge en magnésium, on ressort que l'accumulation de magnésium chez les plantes de blé augmente avec l'augmentation de la dose de sel dans le milieu. On remarque aussi que le magnésium s'accumule dans les plantes de l'orge et de blé lorsque le milieu de culture s'enrichit en $MgSO_4$.

La teneur des plantes de l'orge en sodium est diminué avec l'augmentation de la dose de sel dans le milieu, chez les plantes de blé la teneur en sodium augmente jusqu'à la dose 6g/l (1,22%) puis diminue avec la dose 9g/l (0,59%). Lorsque le milieu s'enrichit en NaCl et Na_2SO_4 la teneur des plantes de l'orge et de blé en sodium est plus élevée par rapport aux autres sels. L'addition de $CaCl_2$ au milieu de culture des plantes d'orge et de blé favorise l'accumulation de sodium dans les plantes.

D'après les résultats de la teneur des plantes de l'orge en potassium on observe que l'augmentation de la dose de sel dans le milieu diminue cette teneur, concernant la teneur des

Synthèse et Conclusion Générale

plantes de blé en potassium, elle est comme sa teneur en sodium, elle augmente jusqu'à la dose 6g/l puis diminue avec la dose 9g/l. le potassium s'accumule dans les plantes de l'orge et de blé lorsque le milieu s'enrichit en KCl.

La teneur des plantes de l'orge et de blé en chlore augmente avec l'augmentation de la dose de sel dans le milieu de culture. Elle est plus élevée en présence de KCl dans le milieu par rapport à NaCl. On remarque que l'amendement calcique CaCl_2 agit significativement sur la teneur des plantes de l'orge et de blé en chlore et d'après les résultats obtenus la teneur la plus élevée en chlore est obtenus par la concentration 1g/l de CaCl_2 .

Les résultats de la teneur des plantes de l'orge en sulfate montre que l'augmentation de la dose de sel jusqu'à 8g/l n'affecte pas l'absorption des plantes de l'orge en sulfate mais à partir de cette dose jusqu'à la dose 10g/l la teneur des plante en sulfate (SO_4^{--}) augmente, on observe qu'il n'ya pas d'effet de dose de sel sur la teneur des plantes de blé en sulfate. La teneur des plantes de blé en sulfate a été plus élevée en présence de Na_2SO_4 dans le milieu, mais dans les plantes de l'orge cette teneur a été plus élevée en présence de Na_2SO_4 et MgSO_4 dans le milieu.

Enfin, on peut dire que la forte dose des sels a engendré une importante baisse au niveau des paramètres physiologique et morphologiques étudiés et une baisse de l'absorption de Ca, Na et K pour les deux variétés étudiées, on peut dire aussi que les sels KCl, MgSO_4 et Na_2SO_4 sont moins toxiques que NaCl d'une façon générale et MgSO_4 a un effet toxique spécifique sur les racines. L'amendement calcique a montré un effet remarquable sur la partie aérienne et la matière fraîche de l'orge et le blé, mais elle a un effet spécifique remarquable sur le taux de germination et la partie racinaire de l'orge d'une part et sur la rétention en eau des graines et la production de la matière sèche de blé d'autre part. L'effet de la contrainte saline sur la teneur en éléments minéraux a montré que le stress salin diminue la teneur des plantes de l'orge et de blé en Ca et K ainsi que le Na dans le cas des forte dose de sel, par contre leur teneur en chlore augmente. La teneur de l'orge en SO_4 et la teneur de blé en Mg augmentent par l'augmentation de stress salin. La teneur des plantes de l'orge et de blé en éléments minéraux varie en fonction de type de sels. La présence de CaCl_2 dans le milieu a un effet favorisant l'augmentation de la teneur des plantes de l'orge et de blé en Ca, Na et Cl.

En termes de cette étude, on peut suggérer l'exploitation des résultats obtenus dans des recherches appliqués liées à l'amélioration des sols et les eaux d'irrigation dans le but d'alléger l'effet agressif de la salinité dans le milieu nutritionnel des plantes cultivées.

Référence bibliographique

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Références Bibliographiques

- **ABBAD A., EL HADRAMI I., BENCHAAABANE A., 2004.** *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae): A Halophytic species for restoration and rehabilitation of saline degraded lands. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 7(6). PP 1085-1093.
- **AKHAVAN M., CAMPBELL W. F., JURINAK J. J., DUDLEY L. M., 1991.** Effects of CaSO₄, CaCl₂ and NaCl on leaf nitrogen, nodule weight and acetylene reduction activity in *Phaseolus vulgaris*. *Arid land research and management* Vol 5, N° 2, PP 97-103.
- **AKHAVAN M., CAMPBELL W. F., JURINAK J. J., DUDLEY L. M., 1991.** Calcium amelioration of NaCl effects on plant growth, chlorophyll, and ion concentration in *Phaseolus vulgaris*. *Arid land research and management* Vol 5, N° 1, PP 9-19.
- **ANNOU G., OULD EL-HADJ KHELIL., 2012.** mécanismes adaptatifs de l'halophyte spontanée *Suaeda mollis* sous deux régimes hydriques différents de la région de Ouargla. *Annales des Sciences et Technologie*. Vol. 4, N° 1. PP 9-17.
- **Anonyme., 2009.** Salinisation et sodification. L'agriculture durable et la conservation des sols. Processus de dégradation des sols. Fiche technique N°4. 4P.
- **AUBERT G., 1975.** Les sols sodiques en Afrique du nord. *Annal de l'INA ; Algerie*. PP 185-195.
- **AWADA S.M ., 1991.** Amelioration Effects of Calcium Amendments on the Growth of *Phaseolus vulgaris* L. Under Sodium Stress. *All Graduate Theses and Dissertations*. P 99.
- **BABA SIDI-KACI S., 2010.** Effet du stress salin sur quelques paramètres phénologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'*Atriplex* en vue d'une valorisation agronomique. Mémoire, Mag. Univ, OUARGLA. 94P.
- **BADRAOUI M., AGBANI M., SOUDI B., 2000.** Evolution de la qualité des sols sous mise en valeur intensive au Maroc. Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux', Rabat. 11P.
- **BASSEL HAJ NAJIB., 2007.** Gestion optimale de l'utilisation de l'eau douce et salée pour l'irrigation du coton dans le bassin de l'Euphrate en zone semi-aride. Thèse de Doctorat. Univ., Lille (France). 138P.

Références Bibliographiques

- **BELKHODJA M., BIDAI Y., 2004.** Réponse des grains d’Atriplex halimus L à la salinité au stade de la germination. Sécheresse. Vol 15. N°4. PP 331-335.
- **BEN NACEUR M., RAHMOUNE C., SDIRI H., MEDDAHI ML., SELMI M., 2001.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. Sécheresse, 12(3). PP 167-74.
- **BEN KHALED L., GOMES A.M, HONRUBIA M., OIHABI A., 2003.** effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium, Agronomie 23. PP 553-560.
- **BEN KHALED L., OUARRAQI E. M., EZZEDINE ZID., 2007.** Impact du NaCl sur la croissance et la nutrition de la variété de blé dur Massa cultivée en milieu hydroponique. Acta Botanica Gallica. PP 101-116.
- **BENCHETRIT M., 1956.** Les sols d’Algerie. Revue de géographie alpin. Tome 44 N°4. PP 749-761.
- **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). PP 840-851.
- **BENLALDJ AMEL., 2007.** Réponses minérales chez l’Atriplex halimus L. stressée à la salinité. Mémoire Magister. Univ D’ORAN. 40P.
- **BENMAHAMMED A., BOUZERZOUR H., DJEKOUNE A., HASSOUS K L., 2004.** Efficacité de la sélection précoce de la biomasse chez l’orge (Hordeum vulgare L.) en zone semi-aride. Sciences & Technologie, N°22. PP 80-85.
- **BEZINI E., TOUATI M., 2013.** Réponse physiologique et biochimique des plantules de Medicago arborea au chlorure de calcium. Revue des Régions Arides, N° 35. PP 973-978.
- **BELFAKIH M., IBRIZ M., ZOUAHRI A., HILALI S., 2013.** Effet de la salinité sur la croissance des deux variétés de bananier «grande naine » et « petite naine » et leur nutrition minérale au Maroc. Journal of Applied Biosciences 63. PP 4689 – 4702.
- **BISSATI S., DJERROUDI O., MEHANI M., BELKHODJA M., 2011.** Effet du stress salin sur deux paramètres hydriques (turgescence et transpiration) de jeunes plants D’ATRIPLEX HALIMUSET ATRIPLEX CANESCENS. Revue des Bio Ressources. Vol 1 N° 1. PP 31-38.

Références Bibliographiques

- **BLISS R. D., PLATT-ALOIA K. A., THOMSON W. W., 1986.** The inhibitory effect of NaCl on barley germination. *Plant, Cell and Environment*. 9, (9), PP 727-733.
- **BOUALLA N., BENZIANE A., DERRICH Z., 2012.** Origine de la salinisation des sols de la plaine de M'léta (bordure sud du bassin sebkha Oran). *Journal of Applied Biosciences* 53: PP 3787 – 3796.
- **BOUALLA N., BENZIANE A., DERRICH Z., 2012.** Origine de la salinisation des sols de la plaine de M'léta (bordure sud du bassin sebkha Oran). *Journal of Applied Biosciences*. PP 3787 – 3796.
- **BOUAOUINA S., ZID E., HAJJI M., 2000.** Tolérance a la salinité, transports ionique et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L). *CIHEAM - Options Méditerranéennes*. PP 239-243.
- **BOUDA S., HADDIOUI A., 2011.** Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Revue «Nature et Technologie»*. N°5. PP 72-79.
- **BOUTELLI M. H., 2012.** salinité des eaux et des sols au niveau de la sebkha de Bamendil, caractérisation et conséquences sur l'environnement. *Mémoire Magister.*, Univ. Ouargla. 87P.
- **BOUTKHIL M., 2007.** Étude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols : cas des zones côtières d'Alger Est. *Actes des JSIRAUF*. PP 6-9.
- **BOUZID N., 2010.** Étude de la résistance d'*Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* aux sels solubles. *Acta Botanica Gallica*. Vol 157 N°4, PP 787-791.
- **BRUNO T., MEIMOUN A., 1985.** Etude comparée de la sensibilité au sel d'un triticales et d'une orge. *Agronomie, EDP Sciences* Vol 5, N° 5. PP 391-395.
- **CAHUREL J. Y., 2008.** Fertilisation De La Vigne Un Point Sur Les Préconisations. *Les Oligo-Eléments*. Fiche 6. 6P.
- **CHARTZOULAKIS K., KLAPAKI., 2000.** Reponse of tow greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulture*, 86. PP 247-260.
- **COELHO B. A. L. D., GILVAN B. F., ALEXANDRE C B. F., DA CONCEIÇÃO SANTANA CARVALHO M., JULIO CESAR B., TRAORE K., 2013.** Diagnostique visuel des carences nutritionnelles du cotonnier. *Echange d'expériences sur le cotonnier*. COTON-4. 41P.

Références Bibliographiques

- **COLMER T. D., FAN T. W. M., HIGASHI R. M., LAUCHLI A., 1996.** Interactive effects of Ca²⁺ and NaCl salinity on the ionic relations and proline accumulation in the primary root tip of sorghum bicolor. *Physiologia Plantarum* 97. PP 421-424.
- **CPCS., 1967.** Classification des sols. INRA, Paris. 96P.
- **CRAMER G., EPSTEIN E., LÄUCHLI A., 1989.** Na-Ca interactions in barley seedlings: relationship to ion transport and growth. *Plant, Cell and Environment* 5 (12). PP 551-558.
- **CRAMER G.R., EPSTEIN E., LAUCHLI A., 1990.** Effects of sodium, potassium and calcium on salt stressed barley. *Physiologia Plantarum*, 80, PP 83–88.
- **DAOUD Y., HALITIM A., 1994.** irrigation et salinisation au Sahara Algérienne. *Sècheresse* Vol 5, N°3. PP 151-160.
- **DAROUI EL A., BOUKROUTE A., KOUDDANE N. E., BERRICHI A., 2012.** Effet de la salinité sur la germination et la croissance in vitro du *Washingtonia filifera* L. *Revue « Nature & Technologie »*. B- Sciences Agronomiques et Biologiques, N° 08. PP 32 -38.
- **DEKHINAT S., BENSÄÏD R., BENSID Z., KOREIB F., MOUNA Y., 2009.** analyse de la variabilité spatiale de la salinité des sols dans une palmeraie algérienne (Biskra, Algérie). *Sciences & Technologie*. N°31. PP 9-14.
- **DOUDECH N., MHAMDI M., BETTAIEB T et DENDEN M., 2008.** Tolérance à la salinité d'une graminée à gazon: *Paspalum notatum* Flüggé. *Tropicultura*. Vol 26, N°3. PP 182-185.
- **DRIOUICH A., RACHIDAIL A., 1995.** Effet du traitement salin sur la croissance du blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Actes Inst. Agron.* Vol 16 (1). PP 33 -40.
- **ELALAOUI A. C., 2007 a.** Fertilisation Minérale des cultures. Les éléments fertilisant majeurs (Azote, Potassium, Phosphore). *Transfert de technologie en agriculture*. Sommaire N°155. 4P.
- **ELALAOUI A. C., 2007 b.** Fertilisation Minérale des cultures. Les éléments minéraux secondaires et oligo-élément. *Transfert de technologie en agriculture*. Sommaire N°156. 4P.
- **FAO., 1999.** Guide pour une gestion efficace de la nutrition des plantes. Division de la mise en valeur des terres et des eaux. Rome. 20P.

Références Bibliographiques

- **FAO., 2005.** Notions de nutrition des plantes et de fertilisation des sols. Utilisation des Intrants agricoles par les Organisations de Producteurs. 25P.
- **FEKRACHE F., 2014.** Contribution a l'étude de l'origine de la salinité des eaux du lac fetzara-annaba (Algerie). Thèse de Doctorat. Univ., Annaba. 133P.
- **SLAMA F., 1986.** Intervention des racines dans la sensibilité ou la tolérance à NaCl de plantes cultivées. Agronomie, EDP Sciences. Vol 6, N°7. PP 651-658.
- **SLAMA F., 2004.** La salinité et la production végétales. Centre de publication universitaire. Tunis. 163P.
- **FRANCOIS J., GAUDRY., 2012.** Nutrition minérale des plantes : aspects moléculaires. Potentiels de la science pour l'avenir de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement. Académie d'agriculture de France. 21P.
- **GEORGE E., ROLF S., JOHN R., 2013.** Methods of Soil, Plant, and Water Analysis: A manual for the West Asia and North Africa region. ICARDA. 243P.
- **GEORGES G., 1957.** Les Problèmes Biologiques Relatifs Aux Plantes Tolérant L'eau Salée Ou Saumâtre, Et A L'utilisation D'une Telle Eau Pour L'irrigation. Utilisation des eaux salines. UNESCO. PP 11-38.
- **HADDAD S., COUDRET A., 1991.** Effets de l'adjonction de KCl ou de CaCl₂, sur la tolérance au NaCl chez deux cultivars de triticale (Clercal et Beagle). Can. J. Bot. Vol 69. PP 2113-2121.
- **HAJLAOUI H., DENDEN M., BOUSLAMA M., 2007.** Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade germination. Tropicultura. PP 168-173.
- **HALITIM A., 1988.** Sol des régions Aride d'Algérie. OPU. 384P.
- **HAMDIA M., ABD ELSAMAD., SHADDAD M A K., 1996.** Comparative effect of sodium carbonate, sodium sulphate, and sodium chloride on the growth and related metabolic activities of pea plants. Journal of Plant Nutrition, Vol 19. PP 717-728.
- **HANANA M., HAMROUNI L., OLIVIER C., BLUMWALD E., 2011.** Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. Environmental journals. Science and Technology journals. 3P.
- **HAOUALA F., FARDJANI H., BEN ELHADJ S., 2007.** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺, et Ca⁺⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray gras anglais et de chiendent. Biotechnology , agronomy. Société et environnement. Vol 11. N°3. PP 235-244.

Références Bibliographiques

- **HAYWAR H E., 1957.** La croissance des plantes en milieu salin. Recherches sur la zone aride - utilisation des eaux salines : compte rendu de recherches. UNESCO. PP 38-75.
- **IBRIZ M., THAMI ALANU I., ZENASNIT L., ALFAIZ C., 2005.** Effet de la salinité sur le rendement en biomasse et la composition en éléments minéraux d'écotypes marocains de luzerne (*Medicago sativa* L.). AL AWAMIA 115 Vol 2 N°3. PP 107-119.
- **IBRIZ M., THAMI ALANU I., ZENASNIT L., ALFAIZ C., BENBELLA. 2004.** Production des luzernes des régions pré-sahariennes du Maroc en conditions salines. Fourrages, 180. PP 527-540.
- **JALEEL C. A., MANIVANNAN P., SANKAR B., KISHOREKUMAR A., PANNEERSELVAM R., 2007.** Calcium chloride effects on salinity-induced oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation in *Catharanthus roseus*. C. R. Biologies 330, PP 674–683.
- **KALI A G ET POTASSE S A., 2004.** Les symptômes de carence en éléments nutritifs. Edit Murtenstrasse 116, France. 33P.
- **KACI S., BISSATI S., DJERROUDI O., 2012.** Effet d'un stress salin sur la réponse minérale D'*Atriplex canescens* (PURSH) NUTT. Revue des BioRessources. Vol 2 N°2. PP 48-58.
- **KHARAKA Y., HANOR J S., 2005.** Deep fluids in the continents: sedimentary basins. Treatise on geochemistry; 5(16). PP 499-540.
- **KLOPPMANN W., BOURHANE F., ASFIRAN., 2011.,** Méthodologie de diagnostic de l'origine de la salinité des masses d'eau «Emploi des outils géochimiques, isotopiques et géophysique». BRGM, France. 105P.
- **KREIMER G., SUREK B., IAN E WOODROW., LATZKO E., 1988.** Calcium binding by spinach stromal proteins. Planta 171. PP 259-265.
- **LALLEMAND A., 1980.** Aménagement des sols salés, irrigation avec des eaux salées. Etude documentaire. PP 1-31.
- **LAMRANI Z., 2010.** Nutrition minérale et azoté. Physiologie végétales, nutrition minérale. Ecole normal supérieure. 49P.
- **LEVIGNERON A., LOPEZ F., VARISUYT G., BERTHOMIEN P., CASSE DELBAR T., 1995.** Les plantes face au stress salin. Cahier d'agriculture.4. PP 263-273.

Références Bibliographiques

- **LIMING X., KAREN S. S., JIAN-KANG Z., 2002.** Cell signaling during cold drought and salt stress. *Plant cell*. PP 165-183.
- **LOPEZ M V., SATTI S M E., 1996.** Calcium and potassium-enhanced growth and yield of tomato under sodium chloride stress. *Plant science*, vol 114, PP 19-27.
- **MAILLARD J., 2001.** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations. Handicap International. 34P.
- **MALLEK-MAALEJ E., BOULASNEM F., BEN SALAM M., 1998.** Effet de la salinité sur la germination de graines des céréales cultivées en Tunisie. *Cahier Agriculture*. (7). PP 153-156.
- **MARC LACHARME., 2001.** Le contrôle de la salinité dans les rizières. Mémento Technique de Riziculture. 12P.
- **MARLET S et JOB J. O., 2006.** Processus et gestion de la salinité des sols. *Traité d'irrigation*, seconde édition. Tec & Doc Lavoisier. 28P.
- **MARMOUD A., 2006.** Maîtrise de la salinité des sols. *Cours physique du sol*. 14P
- **MASMOUDI A., HEMEIR A., BENAÏSSA M., 2014.** Impacts de la concentration et du type de sel sur le potentiel germinatif et la production de biomasse chez l'orge (*Hordeum Vulgare*). *Courrier du Savoir –N°18*. P P95-101.
- **MICHEL L., 1999.** Nutrition en calcium : problèmes et prévention. *Laboratoire de diagnostic en phytoprotection, MAPAQ. Publication VT 046*. 15P.
- **MICKAËL DELAIRE., 2005.** Variations de la capacité d'absorption minérale par les racines du jeune *Acer pseudoplatanus*, L. (Acéracées) consécutives à l'histoire nutritionnelle récente et ancienne de la plante. Application à la culture hors sol des végétaux ligneux. Thèse de doctorat. INRA, France. N° d'ordre : 676. 170P.
- **MOHAMMAD M., SHIBLI R., AJLOUNI M., NIMR L., 1998.** Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *Journal of plant nutrition*. PP 1667-1680.
- **MRANI ALAOUI M., EL JOURMI L., OUARZANE A., LAZAR S., EL ANTRI S., ZAHOUILY M., HMYENE A., 2013.** Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés Marocaines de blé. *J. Mater. Environ. Sci.*4 (6). PP 997-1004.
- **MRANI ALAOUI M., EL JOURMI L., OUARZANE A., LAZAR S., EL ANTRI S., ZAHOUILY M., HMYENE A., 2013.** Effet du stress salin sur la

Références Bibliographiques

germination et la croissance de six variétés marocaines de blé. J, Mater, Environ. Sci. Vol 4 N°6. PP 997-1004.

- **MUNNS R., 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment, 25. PP 239–250.
- **NANCY MORIN., 2009.** La qualité de l'eau d'irrigation : un facteur à ne pas négliger. Site wep
www.asgq.org/documents/pdf/communication/archives/LaQualiteDelEaudIrrigation.pdf, P4.
- **NICOLAS T., HANS-CHRISTOPH S., ULRIKE W., HELENE L, JOSEE O., 2001.** Régie de l'azote chez les cultures maraîchères. Guide pour une fertilisation raisonnée. Canada. 67P.
- **O'BRIEN JEREMY., 2004.** L'importance des Pulvérisations Précoces de Calcium. Plant Nutrition. Vol 5, N° 3. 1P.
- **OUERGHI Z., ZID E., HAJJI M, SOLTANI A., 2000.** Comportement physiologique du blé dur (*Triticum durum*L.) en milieu salé. CIHEAM - Options Méditerranéennes. PP 209-313.
- **OUHADDACH M., MOUHSSINE F., ECH-CHADDADI S., LAKALAI F., ELYACOUBI H., HMOUNI D., DOUAIK A., ZIDANE L., ROCHDI A., 2015.** Morpho-Physiological Response to Salt Stress in Wheat (*Triticum aestivum*L.) at the Germination Stage. European Journal of Scientific Research, Vol. 133 N° 3. PP.240-252.
- **PARIDA A. K., DAS A. B., 2005.** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol 60. PP 324-349.
- **R'HIM T., TLILI IMEN., HNAN I, ILAHY R, BENALI A., JEBARI H., 2013.** Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicum annum* l.). Journal of Applied Biosciences 66. PP 5060 – 5069.
- **RABIE R.K., MATTER M.K., KHAMIS A.A., MOSTAFA M.M., 1985.** Effect of salinity and moisture content of soil on growth nutrient uptake and yield of wheat plant. Soil Sci. Plant Nutr. 31 (4). PP 537-545.
- **RADHOUANE L., 2013.** Comparaison de la nutrition minérale du mil (*Pennisetum glaucum* L.R. Br.) en présence de stress hydrique et de stress salin. Journal of Applied Biosciences 66. PP 5114– 5129.

Références Bibliographiques

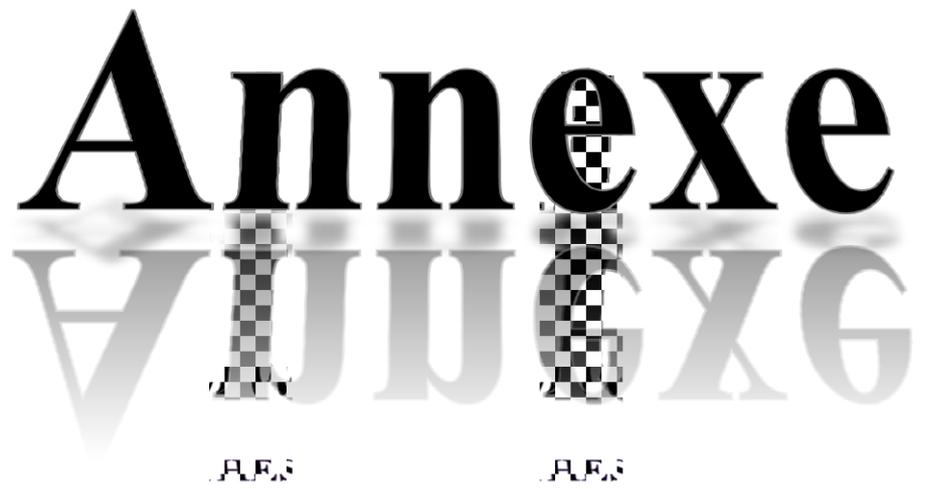
- **RAHMAN M., SOOMRO U. A., ZAHOOR U. M., GUL S., 2008.** Effects of salinity on wheat (*Triticum aestivum l*) cultivars. World journal of Agricultural Sciences. PP 398-403.
- **REJILI M., VADEL A M., NEFFATI., 2006.** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. Revue des Régions Arides, N°17. PP 65-78.
- **RENGEL Z., 1992.** The role of calcium in salt toxicity. Plant cell Env, 15. PP625-632.
- **RYSER J P., HELLER W., 1997.** Carence en manganèse en arboriculture. Edition Agroscope RAC et FAW Wädenswil. Fiche: 829. 4P.
- **SAID BOUDA et ABDELMAJID HADDIOUI., 2010-** Effet de stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. Revue « Nature & Technologie ». N° 05. PP 72 - 79.
- **SAIRAM R. K., TYAGI ARUNA., 2004.** Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. CURRENT SCIENCE, Vol 86, N° 3. PP 407-421.
- **SNOUSSI S A., BAAZIZE N., HAMIDI Y., 2014.** Impact du potentiel hydrogène (ph) d'un Environnement salin dans la nutrition de deux glycophytes cultivées. Revue Agrobiologia. N°6, PP 13-20.
- **SNOUSSI S A., HALITIM A., 1998.** Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérales des plantes cultivées. Etude et Gestion des sols. PP 289-298.
- **SNOUSSI S A., 2001.** Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérales des plantes cultivées. Thèse de Doctorat. Univ., Harrache. Alger. 152P.
- **SOPHIA ANTIPOLIS., 2003.** Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens. PP 1-69.
- **SOUGUIR D., JOUZDAN O., KHOUJA M L., HACHICHA M., 2013.** Suivi de la croissance d'Aloe vera en milieu salin : Parcelle de Kalaat Landelous (Tunisie). Etude et Gestion des Sols. Vol 20. PP 19-26.
- **SUHAYDA C. G., REDMAN R E., HARVY B. L., CIPYNWK A L., 1992.-** Comparative response of salt cultivated and wild barley species to salinity stress and calcium supply. Crop. Sci., 32. PP 154-163.
- **TAFFOUO V. D., MEGUEKAM L., KENNE M., YAYI E., MAGNITSOP A., AKOA A., OURRY A., 2008.** germination et accumulation des métabolites chez les

Références Bibliographiques

plantules de légumineuses cultivées sous stress salin. *Agronomie Africaine*, Vol 20, N° (2), PP 129 – 139.

- **TAVILI A., BINIAZ M., 2009.** Different salts effects on the germination of *Hordeum vulgare* and *Hordeum bulbosum*. *Pakistan journal of nutrition* 8, (1). PP 63-68.
- **TAZI M. R., BERRICHI A., HALOUI B., 2001.** Germination et croissance in vitro de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) des Beni-Snassen (Maroc oriental) à différentes concentrations en NaCl. *Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc)*. Vol 21. PP 163-168.
- **TOUAHRIA O.,** Effets des résidus et du non-labour sur le comportement de la céréale sous conditions semi-arides des hautes plaines orientales. *Mémoire Magister, Univ, SETIF*. 53P.
- **TROMBLIN G., 2000.** Comportement auto-écologique de *Halopeplis amplexicaulis* : Plante pionnière des Sebkhah de l'ouest Algérien. *Sciences et changement planétaires. Sécheresse*. Vol 11, N°2. PP 109-116.
- **WANG B., LUTTGE U., RATAJCZAK R., 2001.** Effect of salt treatment and osmotic stress on V-ATPase and V-PPase in leaves of the halophyte *Suaeda salsa*. *Journal of Experimental Botany*. Vol 52, N°365. PP 2355-2365.
- **YANG CHIN-YING., CHEN YU-CHUAN., JAUH GUANG YUH. CO-SHINE WANG., 2005.** A Lily ASR Protein Involves Abscisic Acid Signaling and Confers Drought and Salt Resistance in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, Vol 139. PP 836–846.
- **YASH P. K., 1998.** Reference Methods for Plant Analysis. Handbook. Soil and Plant Analysis Council, Inc. 286P.
- **ZHONG H., LÄUCHLI A., 1993.** Spatial and temporal aspects of growth in the primary root of cotton seedlings: Effects of NaCl and CaCl₂. *Journal of experimental botany*, Vol 4, N°44. PP 763-771.

Annexe



A

E

ANNEXE

Annexe 01: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la rétention en eau des grains de l'orge.

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	34768,64	179	194,238				
VAR. Facteur 1	20717,95	2	10358,98	222,944	0		
VAR. Facteur 2	599,488	3	199,829	4,301	0,00657		
VAR. Facteur 3	2839,504	4	709,876	15,278	0		
VAR. F1*2	998,92	6	166,487	3,583	0,00278		
VAR. F1*3	508,377	8	63,547	1,368	0,21706		
VAR. F2*3	1437,137	12	119,761	2,577	0,00458		
VAR. F1*2*3	1999,186	24	83,299	1,793	0,02162		
VAR.BLOC	185,277	2	92,639	1,994	0,1384		
VAR. Résiduelle	5482,797	118	46,464			6,816	11,41%

Facteur 1 : dose de sel

Facteur 2 : type de sel

Facteur 3 : l'amendement calcique CaCl₂

Annexe 02: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur le taux de germination de l'orge

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	9050,075	179	50,559				
VAR. Facteur 1	3193,05	2	1596,525	83,514	0		
VAR. Facteur 2	2096,375	3	698,792	36,554	0		
VAR. Facteur 3	350,84	4	87,71	4,588	0,00188		
VAR. F1*2	549,717	6	91,619	4,793	0,00024		
VAR. F1*3	122,686	8	15,336	0,802	0,60305		
VAR. F2*3	213,027	12	17,752	0,929	0,52155		
VAR. F1*2*3	214,714	24	8,946	0,468	0,98286		
VAR.BLOC	53,884	2	26,942	1,409	0,24722		
VAR. Résiduelle	2255,783	118	19,117			4,372	4,93%

Annexe 03: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la partie aérienne de l'orge

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	897,812	179	5,016				
VAR. Facteur 1	606,825	2	303,412	757,482	0		
VAR. Facteur 2	91,452	3	30,484	76,105	0		
VAR. Facteur 3	44,095	4	11,024	27,521	0		
VAR. F1*2	30,759	6	5,126	12,798	0		
VAR. F1*3	3,447	8	0,431	1,076	0,38495		
VAR. F2*3	46,996	12	3,916	9,777	0		
VAR. F1*2*3	26,958	24	1,123	2,804	0,00013		
VAR.BLOC	0,014	2	0,007	0,018	0,98316		
VAR. Résiduelle	47,265	118	0,401			0,633	5,93%

Annexe 04: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la partie racinaire de l'orge

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	1985,329	179	11,091				
VAR. Facteur 1	339,687	2	169,843	200,172	0		
VAR. Facteur 2	1173,04	3	391,013	460,836	0		
VAR. Facteur 3	70,245	4	17,561	20,697	0		
VAR. F1*2	6,985	6	1,164	1,372	0,23071		
VAR. F1*3	24,656	8	3,082	3,632	0,00087		
VAR. F2*3	217,104	12	18,092	21,323	0		
VAR. F1*2*3	52,766	24	2,199	2,591	0,00039		
VAR.BLOC	0,724	2	0,362	0,427	0,65924		
VAR. Résiduelle	100,122	118	0,848			0,921	13,12%

Annexe 05: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la matière fraîche de l'orge

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	540,776	179	3,021				
VAR. Facteur 1	217,077	2	108,539	223,981	0		
VAR. Facteur 2	148,512	3	49,504	102,157	0		
VAR. Facteur 3	9,686	4	2,421	4,997	0,00102		
VAR. F1*2	6,938	6	1,156	2,386	0,03253		
VAR. F1*3	11,133	8	1,392	2,872	0,006		
VAR. F2*3	56,172	12	4,681	9,66	0		
VAR. F1*2*3	33,818	24	1,409	2,908	0,00007		
VAR.BLOC	0,258	2	0,129	0,267	0,77013		
VAR. Résiduelle	57,181	118	0,485			0,696	9,01%

Annexe 06: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la matière sèche de l'orge

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	4,593	179	0,026				
VAR. Facteur 1	2,312	2	1,156	130,979	0		
VAR. Facteur 2	0,116	3	0,039	4,399	0,00583		
VAR. Facteur 3	0,143	4	0,036	4,046	0,00427		
VAR. F1*2	0,185	6	0,031	3,499	0,00331		
VAR. F1*3	0,148	8	0,019	2,102	0,04063		
VAR. F2*3	0,318	12	0,026	3	0,00111		
VAR. F1*2*3	0,328	24	0,014	1,547	0,06577		
VAR.BLOC	0	2	0	0,025	0,97588		
VAR. Résiduelle	1,042	118	0,009			0,094	7,17%

Annexe 07: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la teneur de l'orge en calcium (Ca⁺⁺)

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	21,496	179	0,12				
VAR. Facteur 1	0,908	2	0,454	14,63	0		
VAR. Facteur 2	0,747	3	0,249	8,024	0,00009		
VAR. Facteur 3	13,877	4	3,469	111,741	0		
VAR. F1*2	0,293	6	0,049	1,575	0,15952		
VAR. F1*3	0,247	8	0,031	0,995	0,44413		
VAR. F2*3	0,338	12	0,028	0,908	0,54203		
VAR. F1*2*3	1,378	24	0,057	1,849	0,01656		
VAR.BLOC	0,043	2	0,022	0,694	0,506		
VAR. Résiduelle	3,664	118	0,031			0,176	23,22%

Annexe 08: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la teneur de l'orge en magnésium (Mg⁺⁺)

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	47,735	179	0,267				
VAR. Facteur 1	0,14	2	0,07	2,873	0,05899		
VAR. Facteur 2	42,895	3	14,298	585,588	0		
VAR. Facteur 3	0,15	4	0,038	1,54	0,19368		
VAR. F1*2	0,155	6	0,026	1,056	0,39346		
VAR. F1*3	0,155	8	0,019	0,794	0,6101		
VAR. F2*3	0,41	12	0,034	1,4	0,17506		
VAR. F1*2*3	0,745	24	0,031	1,271	0,19916		
VAR.BLOC	0,203	2	0,101	4,152	0,01784		
VAR. Résiduelle	2,881	118	0,024			0,156	28,91%

Annexe 09: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la teneur de l'orge en sodium (Na⁺)

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	1226,701	179	6,853				
VAR. Facteur 1	15,098	2	7,549	11,144	0,00006		
VAR. Facteur 2	1019,268	3	339,756	501,576	0		
VAR. Facteur 3	25,82	4	6,455	9,529	0		
VAR. F1*2	24,308	6	4,051	5,981	0,00002		
VAR. F1*3	16,339	8	2,042	3,015	0,00417		
VAR. F2*3	22,901	12	1,908	2,817	0,00206		
VAR. F1*2*3	22,462	24	0,936	1,382	0,13068		
VAR.BLOC	0,575	2	0,288	0,425	0,66066		
VAR. Résiduelle	79,93	118	0,677			0,823	27,27%

Annexe 10: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la teneur de l'orge en potassium (K⁺)

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	5913,162	179	33,034				
VAR. Facteur 1	69,513	2	34,756	19,161	0		
VAR. Facteur 2	5447,242	3	1815,747	1001,019	0		
VAR. Facteur 3	8,143	4	2,036	1,122	0,3495		
VAR. F1*2	69,613	6	11,602	6,396	0,00001		
VAR. F1*3	21,387	8	2,673	1,474	0,17324		
VAR. F2*3	28,893	12	2,408	1,327	0,21166		
VAR. F1*2*3	51,288	24	2,137	1,178	0,27588		
VAR.BLOC	3,045	2	1,522	0,839	0,43774		
VAR. Résiduelle	214,04	118	1,814			1,347	29,92%

Annexe 11: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la teneur de l'orge en chlore (Cl)

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	330,708	179	1,848				
VAR. Facteur 1	16,867	2	8,434	18,715	0		
VAR. Facteur 2	164,655	3	54,885	121,795	0		
VAR. Facteur 3	37,977	4	9,494	21,069	0		
VAR. F1*2	12,289	6	2,048	4,545	0,00039		
VAR. F1*3	2,721	8	0,34	0,755	0,64438		
VAR. F2*3	23,138	12	1,928	4,279	0,00002		
VAR. F1*2*3	19,366	24	0,807	1,791	0,02184		
VAR.BLOC	0,518	2	0,259	0,575	0,56976		
VAR. Résiduelle	53,175	118	0,451			0,671	18,47%

Annexe 12: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la teneur de l'orge en sulfate (SO₄²⁻)

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	84,445	179	0,472				
VAR. Facteur 1	2,602	2	1,301	14,888	0		
VAR. Facteur 2	49,996	3	16,665	190,753	0		
VAR. Facteur 3	0,217	4	0,054	0,62	0,65217		
VAR. F1*2	10,296	6	1,716	19,642	0		
VAR. F1*3	2,936	8	0,367	4,2	0,00021		
VAR. F2*3	2,062	12	0,172	1,967	0,0332		
VAR. F1*2*3	5,872	24	0,245	2,8	0,00013		
VAR.BLOC	0,156	2	0,078	0,89	0,41606		
VAR. Résiduelle	10,309	118	0,087			0,296	37,69%

Annexe 13: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la rétention en eau des grains de blé

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	10100,8	179	56,429				
VAR. Facteur 1	5132,111	2	2566,056	128,538	0		
VAR. Facteur 2	16,255	3	5,418	0,271	0,84744		
VAR. Facteur 3	671,528	4	167,882	8,409	0,00001		
VAR. F1*2	262,305	6	43,718	2,19	0,0483		
VAR. F1*3	213,631	8	26,704	1,338	0,23102		
VAR. F2*3	901,976	12	75,165	3,765	0,00008		
VAR. F1*2*3	529,279	24	22,053	1,105	0,34948		
VAR.BLOC	18,033	2	9,017	0,452	0,64338		
VAR. Résiduelle	2355,681	118	19,963			4,468	11,46%

Annexe 14: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur le taux de germination de blé

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	11294,92	179	63,1				
VAR. Facteur 1	3796,554	2	1898,277	67,043	0		
VAR. Facteur 2	1368,482	3	456,161	16,111	0		
VAR. Facteur 3	263,062	4	65,765	2,323	0,0599		
VAR. F1*2	199,746	6	33,291	1,176	0,32365		
VAR. F1*3	312,988	8	39,124	1,382	0,21075		
VAR. F2*3	627,595	12	52,3	1,847	0,04805		
VAR. F1*2*3	608,322	24	25,347	0,895	0,6081		
VAR.BLOC	777,087	2	388,544	13,723	0,00001		
VAR. Résiduelle	3341,081	118	28,314			5,321	6,46%

Annexe 15: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la partie aérienne de blé

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	1167,833	179	6,524				
VAR. Facteur 1	454,086	2	227,043	271,609	0		
VAR. Facteur 2	505,227	3	168,409	201,466	0		
VAR. Facteur 3	11,591	4	2,898	3,467	0,01034		
VAR. F1*2	31,827	6	5,304	6,346	0,00001		
VAR. F1*3	13,633	8	1,704	2,039	0,04731		
VAR. F2*3	37,746	12	3,146	3,763	0,00009		
VAR. F1*2*3	14,079	24	0,587	0,702	0,84158		
VAR.BLOC	1,007	2	0,503	0,602	0,5546		
VAR. Résiduelle	98,638	118	0,836			0,914	7,96%

Annexe 16: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la partie racinaire de blé

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	796,798	179	4,451				
VAR. Facteur 1	427,399	2	213,7	293,547	0		
VAR. Facteur 2	147,684	3	49,228	67,621	0		
VAR. Facteur 3	2,878	4	0,719	0,988	0,41773		
VAR. F1*2	7,339	6	1,223	1,68	0,13085		
VAR. F1*3	10,128	8	1,266	1,739	0,09582		
VAR. F2*3	77,532	12	6,461	8,875	0		
VAR. F1*2*3	35,785	24	1,491	2,048	0,00627		
VAR.BLOC	2,15	2	1,075	1,477	0,23109		
VAR. Résiduelle	85,903	118	0,728			0,853	15,91%

Annexe 17: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la matière fraîche de blé

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	324,152	179	1,811				
VAR. Facteur 1	183,281	2	91,64	272,612	0		
VAR. Facteur 2	28,164	3	9,388	27,927	0		
VAR. Facteur 3	4,538	4	1,134	3,375	0,0119		
VAR. F1*2	4,218	6	0,703	2,091	0,0588		
VAR. F1*3	5,789	8	0,724	2,153	0,0359		
VAR. F2*3	31,766	12	2,647	7,875	0		
VAR. F1*2*3	24,041	24	1,002	2,98	0,00005		
VAR.BLOC	2,688	2	1,344	3,998	0,02054		
VAR. Résiduelle	39,666	118	0,336			0,58	11,11%

Annexe 18: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la matière sèche de blé

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	3,122	179	0,017				
VAR. Facteur 1	1,341	2	0,67	136,351	0		
VAR. Facteur 2	0,324	3	0,108	21,935	0		
VAR. Facteur 3	0,053	4	0,013	2,708	0,03316		
VAR. F1*2	0,113	6	0,019	3,844	0,00163		
VAR. F1*3	0,117	8	0,015	2,983	0,00452		
VAR. F2*3	0,466	12	0,039	7,897	0		
VAR. F1*2*3	0,114	24	0,005	0,964	0,51825		
VAR.BLOC	0,014	2	0,007	1,402	0,24901		
VAR. Résiduelle	0,58	118	0,005			0,07	9,54%

Annexe 19: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la teneur de blé en calcium (Ca⁺⁺)

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	8,94	179	0,05				
VAR. Facteur 1	0,515	2	0,258	9,184	0,00025		
VAR. Facteur 2	0,285	3	0,095	3,384	0,02039		
VAR. Facteur 3	1,76	4	0,44	15,692	0		
VAR. F1*2	0,847	6	0,141	5,032	0,00015		
VAR. F1*3	0,143	8	0,018	0,636	0,74759		
VAR. F2*3	0,848	12	0,071	2,52	0,00554		
VAR. F1*2*3	1,229	24	0,051	1,826	0,0185		
VAR.BLOC	0,004	2	0,002	0,073	0,9289		
VAR. Résiduelle	3,309	118	0,028			0,167	33,57%

Annexe 20: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la teneur de blé en magnésium (Mg⁺⁺)

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	18,253	179	0,102				
VAR. Facteur 1	0,44	2	0,22	5,542	0,00516		
VAR. Facteur 2	9,905	3	3,302	83,082	0		
VAR. Facteur 3	0,385	4	0,096	2,423	0,05141		
VAR. F1*2	0,718	6	0,12	3,013	0,00902		
VAR. F1*3	0,288	8	0,036	0,906	0,51526		
VAR. F2*3	0,519	12	0,043	1,089	0,37533		
VAR. F1*2*3	1,289	24	0,054	1,351	0,14712		
VAR.BLOC	0,019	2	0,009	0,236	0,79309		
VAR. Résiduelle	4,689	118	0,04			0,199	53,93%

Annexe 21: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la teneur de blé en sodium (Na⁺)

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	113,167	179	0,632				
VAR. Facteur 1	21,803	2	10,901	410,97	0		
VAR. Facteur 2	60,457	3	20,152	759,711	0		
VAR. Facteur 3	0,683	4	0,171	6,436	0,00013		
VAR. F1*2	19,531	6	3,255	122,715	0		
VAR. F1*3	0,622	8	0,078	2,931	0,00516		
VAR. F2*3	3,489	12	0,291	10,961	0		
VAR. F1*2*3	3,414	24	0,142	5,362	0		
VAR.BLOC	0,039	2	0,019	0,728	0,48938		
VAR. Résiduelle	3,13	118	0,027			0,163	22,03%

Annexe 22: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la teneur de blé en potassium (K⁺)

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	583,055	179	3,257				
VAR. Facteur 1	5,267	2	2,634	11,769	0,00004		
VAR. Facteur 2	497,063	3	165,688	740,448	0		
VAR. Facteur 3	2,079	4	0,52	2,323	0,05992		
VAR. F1*2	13,612	6	2,269	10,138	0		
VAR. F1*3	5,037	8	0,63	2,814	0,00694		
VAR. F2*3	11,965	12	0,997	4,456	0,00001		
VAR. F1*2*3	21,127	24	0,88	3,934	0		
VAR.BLOC	0,5	2	0,25	1,117	0,33126		
VAR. Résiduelle	26,404	118	0,224			0,473	25,08%

Annexe 23 : Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la teneur de blé en chlore (Cl)

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	327,285	179	1,828				
VAR. Facteur 1	14,312	2	7,156	13,579	0,00001		
VAR. Facteur 2	135,58	3	45,193	85,758	0		
VAR. Facteur 3	24,441	4	6,11	11,595	0		
VAR. F1*2	8,74	6	1,457	2,764	0,01504		
VAR. F1*3	10,609	8	1,326	2,516	0,01464		
VAR. F2*3	25,075	12	2,09	3,965	0,00004		
VAR. F1*2*3	46,287	24	1,929	3,66	0		
VAR.BLOC	0,056	2	0,028	0,053	0,94836		
VAR. Résiduelle	62,185	118	0,527			0,726	24,83%

Annexe 24: Analyse de la variance relative à l'effet de dose des sels, le type des sels et l'effet de l'amendement calcique CaCl₂ sur la teneur de blé en sulfate (SO₄²⁻)

	SS	DF	MS	F	PROB	Sdt	C.V.
VAR.TOTAL	165,313	179	0,924				
VAR. Facteur 1	2,171	2	1,086	2,623	0,07495		
VAR. Facteur 2	89,002	3	29,667	71,68	0		
VAR. Facteur 3	1,665	4	0,416	1,005	0,40845		
VAR. F1*2	5,775	6	0,963	2,326	0,03677		
VAR. F1*3	3,547	8	0,443	1,071	0,38794		
VAR. F2*3	6,086	12	0,507	1,225	0,2735		
VAR. F1*2*3	7,698	24	0,321	0,775	0,76111		
VAR.BLOC	0,53	2	0,265	0,64	0,53401		
VAR. Résiduelle	48,839	118	0,414			0,643	59,19%