

Université des Frères Mentouri Constantine1



Faculté des Sciences de la nature et de la Vie
Département de Biologie et Ecologie Végétale

N° d'ordre :

N° de série :

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Science

Filière: Biologie Végétale

Spécialité: Biologie et Physiologie Végétale

Thème

**Etude de l'effet des phytohormones sur la croissance du blé dur
(*Triticum durum* Desf.) var.Kebir
cultivée dans des conditions salines.**

Présenté et soutenu par : Zoubida Benmakhlouf Epouse Boukheit

Le: 06 / 03 / 2018

Jury:

Président : Baka Mebarek Pr Université des Frères Mentouri Constantine1

Rapporteur : Gheroucha Hocine Pr Université des Frères Mentouri Constantine1

Examineurs :

Yahya	Abdelwaheb	Pr	Centre universitaire Abdelhafid Boussouf – Mila
Bazri	Kamel Eddine	MCA	Université des Frères Mentouri Constantine1
Hamel	Tarek	MCA	Université Badji Mokhtar – Annaba
Boutlelis	Djahra Ali	MCA	Université Echahid Hamma Lakhdar d' El oued

Année universitaire

2017 - 2018

Remerciement et reconnaissance

Avant de commencer, je remercie Allah tout Puissant de m'avoir donnée le courage, la volonté et la patience pour terminer ce travail.

Je remercie mon Encadrant le *Pr. Gheroucha Hocine*, pour son aide, ses orientations, sa patience et sa disponibilité. Je lui exprime ma profonde gratitude pour la confiance qu'il m'a accordée durant la réalisation de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect et de ma sincère reconnaissance.

Mes plus vifs remerciements vont à *Mr. BAKA Bouzid* Professeur à l'Université des Frères Mentouri Constantine d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Mes remerciements s'adressent également à tous les membres de jury qui ont accepté d'évaluer mon travail de thèse malgré leurs nombreuses préoccupations:

Yahya	Abdelwaheb	Pr	Centre universitaire Abdelhafid Boussouf – mila
Bazri	Kamel Eddine	MCA	UFM Constantine 1
Hamel	Tarek	MCA	Université Badji Mokhtar – Annaba
Boutlelis	Djahra Ali	MCA	Université Echahid Hamma Lakhdar d' El oued

Je tiens aussi à remercier tous mes amis et collègues qui m'ont aidé pour le bon achèvement de ce travail. (*Kaleb Rabeh, Belatar Hakima, Sara Himour, Boukaría Sabah et Kalkoul Lilia*).

Je ne peux terminer ces remerciements sans adresser toute mon affection et ma reconnaissance à ma petite famille qui m'a soutenu et encouragée. Merci à *mes filles* pour leur soutien et leur présence. et un grand merci particulier pour *mon mari Boukheit Djamel*.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail,

A l'âme de mes parents et de ma fille Ikram,

A mon mari Djamel et mes filles :

*Rym, son mari Moncef et sa bougie Malak

*Nordjéhane

*Soundous

*Naïssan (ghada)

*Mînat Erahmane

Liste des figures

N°	Figure	Page
1	Diffusion de la culture de blé	5
2	Schéma simplifié montrant l'évolution des blés depuis l'apparition de ses progéniteurs jusqu'au blé dur et blé tendre cultivés aujourd'hui.	7
3	Production céréalière, utilisation et stocks.	9
4	La structure d'une tige feuillée après la floraison d'une talle de blé.	12
5	. Epi et Epillet de blé.	13
6	Organe reproducteur de la fleur du blé.	13
7	Histologie du grain de blé.	14
8	Germination de grain du blé.	15
9	Culture de céréale au Stade de tallage.	16
10	le cycle de développement du blé dur.	18
11	Signalisation cellulaire du stress salin.	21
12	Régulation de la concentration de Na ⁺ par la voie de SOS.	22
13	Répartition des sols salins du Nord de l'Algérie.	26
14	Illustration schématique du changement de potentiel hydrique du milieu extérieur sur la cellule végétale.	27
15	Principales classes de phytohormones impliquées dans la réponse au stress abiotique et la tolérance dans les plantes.	31
16	Classification des plantes selon leur niveau de tolérance à la salinité en fonction de la concentration en sel.	32
17	Compartimentation et sélection des ions chez la plante en réponse au stress salin.	34
18	Métabolisme de la proline chez les plantes.	36
19	Effet des différents niveaux de salinité (0, 10000 et 15000 mg/l NaCl) sur la Surface Foliaire au stade tallage (SFT) et stade montaison (SFM).	49
20	Effet des différents niveaux de salinité (0, 1000 et 15000 mg/l NaCl) sur la teneur en Chlorophylle A (mg/g MF) au stade tallage (ChAT) et stade montaison (ChAM).	51
21	Effet des différents niveaux de salinité (0, 1000 et 15000 mg/l NaCl) sur la teneur en Chlorophylle B (mg/g MF) au stade tallage (ChBT) et stade montaison(ChBM).	52
22	Effet des différents niveaux de salinité (0, 10000 et 15000 mg/l NaCl) sur la teneur en Caroténoïdes (mg/g MF) au stade tallage (CarT) et stade montaison (CarM).	53
23	Effet des différents niveaux de salinité (0, 10000 et 15000 mg/l NaCl) sur la teneur en Proline (µg/g MF) au stade tallage (PT) et stade montaison (PM).	55
24	Effet des différents niveaux de salinité (0, 10000 et 15000 mg/l NaCl) sur la teneur en Sucres solubles (µg/g MF) au stade tallage (ST) et stade montaison (SM).	56
25	Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la surface foliaire au stade tallage.	59
26	Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la surface foliaire (stade montaison).	60
27	Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la Chlorophylle A (stade tallage).	63
28	Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la Chlorophylle A (stade montaison).	64
29	Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la Chlorophylle B (stade tallage).	67
30	Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la Chlorophylle B (stade montaison).	68
31	Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la teneur en Caroténoïdes (stade tallage).	71

Liste des figures

32	Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la teneur en Caroténoïdes (stade montaison).	72
33	Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la teneur en Proline (stade tallage).	75
34	Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la teneur en Proline (stade montaison).	76
35	Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la teneur en Sucres Solubles (stade tallage).	79
36	Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la teneur en Sucres Solubles (stade montaison).	80
37	Analyse en Composantes Principales des paramètres morpho physiologiques étudiés	82

Liste des tableaux

N°	Tableau	Page
	Marché mondial des céréales.	9
	Marché mondial du blé.	10
	Superficie affectée par la salinité dans le monde.	25
IV	Distribution des traitements et des niveaux.	40
V	Analyse des paramètres Physico-chimiques du Sol (Texture, Matière Organique, pH et Conductivité Electrique).	47
VI	Test de signification de Newman-Keuls (SNK) de la Surface Foliaire au stade tallage (SFT) et stade montaison (SFM) des plants soumis aux différents niveaux de salinité au seuil de signification à P = 0,05	49
VII	Test de signification de Newman-Keuls (SNK) de la teneur en Chlorophylle A (mg/g MF) au stade tallage (ChAT) et stade montaison (ChAM) des plants soumis aux différents niveaux de salinité au seuil de signification à P = 0,05.	50
VIII	Test de signification de Newman-Keuls (SNK) de la teneur en Chlorophylle B (mg/g MF) au stade tallage (ChBT) et stade montaison (ChBM) des plants soumis aux différents niveaux de salinité au seuil de signification à P = 0,05.	52
IX	Test de signification de Newman-Keuls (SNK) de la teneur en Caroténoïdes (mg/g MF) au stade tallage (CaT) et stade montaison (CaM) des plants soumis aux différents niveaux de salinité au seuil de signification à P = 0,05.	53
X	Test de signification de Newman-Keuls (SNK) de la teneur en Proline (µg/g MF) au stade tallage (PT) et stade montaison (PM) des plants soumis aux différents niveaux de salinité au seuil de signification à P = 0,05.	54
XI	Test de signification de Newman-Keuls (SNK) de la teneur en Sucre soluble (µg/g MF) au stade tallage (ST) et stade montaison (PM) des plants soumis aux différents niveaux de salinité au seuil de signification à P = 0,05.	56
XII	Analyse de la variance de la Surface foliaire (Cm ²) au stade tallage (SFT).	57
XIII	Analyse de la variance de la Surface foliaire (Cm ²) au stade montaison (SFM).	58
XIV	Analyse de la variance de la teneur en Chlorophylle A au stade tallage (ChAT).	61
XV	Analyse de la variance de la teneur en Chlorophylle A au stade montaison(ChAM).	62
XVI	Analyse de la variance de la teneur en Chlorophylle B au stade tallage (ChBT).	65
XVII	Analyse de la variance de la teneur en Chlorophylle B au stade montaison(ChBM).	66
XVIII	Analyse de la variance de la teneur en Caroténoïdes au stade tallage (CarT)	69
XIX	Analyse de la variance de la teneur en Caroténoïdes au stade montaison (CarM).	70
XX	Analyse de la variance de la teneur en Proline au stade tallage (PT).	73
XXI	Analyse de la variance de la teneur en Proline au stade montaison (PM).	74
XXII	Analyse de la variance de la teneur en Sucres Solubles au stade tallage (ST).	77
XXIII	Analyse de la variance de la teneur en Sucres Solubles au stade montaison (SM).	78
XXIV	Corrélations entre les variables et les facteurs	82

Liste des abréviations

BAP	Benzyle-Amino-Purine
IAA	Indole Acétique Acide
IBA	Indole Biotirique Acide
Kn	kinétine
CE	Conductivité électrique
Cm	Centimètre
g /l	Gramme / litre
°C	Degré celsius.
MS/CM	Millimes / Centimètre
mg/ g MF	Milli Gramme / Gramme de matière fraiche
ug/gMF	Microgramme / Gramme de matière fraiche
Do	Densité optique
NaCl	Chlorure de sodium
pH	Potentielle hydrique
ppm	partie pour million
A C P	Analyse des composantes principales

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	
PARTIE I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I. PRÉSENTATION DE LA PLANTE ETUDIÉE	5
Introduction	5
.1. Historique et origine génétique du blé	5
.1.1. Historique	5
.1.2. origine génétique du blé	6
.2. Importance économique	7
.2.1. Au niveau mondial	7
.2.2. Au niveau national	10
.3. Biologie et cycle de développement du blé	11
.3. 1. Morphologie de blé dur	11
.3. 1. 1. L'appareil végétatif	11
.3. 1. 1. 1. Système racinaire	11
.3. 1. 1. 2. Tige et feuille	12
.3. 1. 2. L'appareil reproducteur	12
.3. 1. 3. Le grain	13
.3.2. Cycle de développement du blé	14
.3.2.1. Période végétative	15
. 3. 2. 1. 1. Germination-levée	15
.3.2.1. 2. Tallage	16
.3.2.2. Période Reproductrice	17
.3.2.2. 1. Montaison-Gonflement	17
.3.2.2. 2. Epiaison- Floraison	17
.3.2.2. 3. Remplissage du grain	17
.4. Exigences du blé	18
.4. 1. Exigences climatiques	18
.4. 1. 1. Température	18
.4. 1. 2. Eau	19
.4. 1. 3. Photopériode	19
.4. 2. Exigences pédologiques	19
.4. 2. 1. Exigences physiques	19
.4. 2. 2. Exigences chimiques	19

SOMMAIRE

CHAPITRE I : ETUDE DU STRESS SALIN CHEZ LES PLANTES	21
Introduction	21
II.1. Généralités sur la salinité	22
II. 1. 1. Origine de la salinité	22
II. 1. 2. Définition des sols salés	23
II. 1. 3. Classification des sols salés	23
II. 1. 3. 1. Sols salins ou Solontchaks	24
II. 1. 3. 2. Sols salés à alcali	24
II. 1. 3. 3. Sols à alcali	24
II. 1. 4. Répartition géographique des sols salés	25
II. 1. 4. 1. Salinité dans le monde	25
II. 1. 4. 2. Salinité en Algérie	25
II. 1. 5. Définitions du terme stress	26
II.1. 6. Composantes de la contrainte saline	26
II.1. 6. 1. Le stress hydrique	27
II.1. 6. 2. Le stress ionique	27
II.1. 6. 3. Le stress nutritionnel	28
II.1. 7. Effet de la salinité sur la plante	28
II.1. 7. 1. Effets du stress salin sur la croissance et le développement des plantes	29
II.1. 8. Mécanismes de tolérance des plantes à la salinité	32
II.1. 8. 1. Inclusion	33
II.1. 8. 2. Exclusion	33
II.1. 8. 3. Sélectivité ionique : efficacité d'utilisation de K⁺	33
II.1. 8. 4. Ajustement osmotique	35
II.1. 8. 4. 1. Accumulation de la proline	35
II. 1. 8. 4. 2. Accumulation des Sucres solubles	36
II. 1. 8. 4. 3. Régulation de la croissance	36
PARTIE II. ETUDE EXPERIMENTALE	
CHAPITRE I I: MATERIEL ET METHODES	38
Objectif scientifique	38
. 1. Matériel végétal	38
. 2. Matériel pédologique	38

SOMMAIRE

. 3. Traitements appliqués	38
. 3. 1. Phytohormones	38
. 3. 2. Solutions salines	39
. 4. Dispositif expérimental	39
. 5. Conduite de la culture	41
. 6. Paramètres étudiés	41
. 6. 1. Analyses du Sol	41
. 6. 1. 1. Analyse Granulométrique	42
. 6. 1. 2. Le pH	42
. 6. 1. 3. Mesure de la Conductivité Electrique	43
. 6. 1. 4. Matière Organique (Carbone Organique)	43
. 6. 2. Paramètre Morpho-Physiologique de la plantes	44
. 5. 2. 1. Surface Foliaire (cm²)	44
. 5. 2. 2. Teneur en Proline	44
. 5. 2. 3. Teneur en Sucres Solubles	45
. 5. 2. 4. Teneur en Chlorophylle (A, B) et Caroténoïdes.	45
. 7. Etude Statistique	46
CHAPITRE IV: RESULTATS ET DISCUSSION	47
V. 1. RÉSULTATS	47
V. 1. 1. Analyses Physico-chimiques du Sol	47
V. 1. 1. 1. Analyse Granulométrique	47
V. 1. 1.2. pH	47
V. 1. 1. 3. Conductivité Electrique	47
V. 1. 1. 4. Matière Organique (Carbone Organique)	48
V. 1. 2. Paramètres Morpho-Physiologiques des plants	48
V. 1. 2. 1. Effet du stress salin sur les paramètres morpho-physiologiques au stade tallage et montaison	48
V. 1. 2. 1. 1. Surface Foliaire (Cm2)	48

SOMMAIRE

V. 1. 2. 1. 1. 1. Surface Foliaire (Cm²) au stade tallage	48
V. 1. 2. 1. 1. 2. Surface Foliaire (Cm²) au stade montaison	48
V. 1. 2. 1. 2. Teneur en Chlorophylle (A, B) et Caroténoïdes	50
V. 1. 2. 1. 2. 1. Teneur en Chlorophylle A au stade tallage	50
V. 1. 2. 1. 2. 2. Teneur en Chlorophylle A au stade montaison	50
V. 1. 2. 1. 2. 3. Teneur en Chlorophylle B au stade tallage	51
V. 1. 2. 1. 2. 4. Teneur en Chlorophylle B au stade montaison	51
V. 1. 2. 1. 2. 5. Teneur en Caroténoïdes au stade tallage	52
V. 1. 2. 1. 2. 6. Teneur en Caroténoïdes au stade montaison	53
V. 1. 2. 1. 3. Effet du stress salin sur la teneur en Proline	54
V. 1. 2. 1. 3. 1. Teneur en Proline au stade tallage	54
V. 1. 2. 1. 3. 1. Teneur en Proline au stade montaison	54
V. 1. 2. 1. 4. Effet du stress salin sur la teneur en Sucres solubles	55
V. 1. 2. 1. 4. 1. Teneur en Sucres solubles au stade tallage	55
V. 1. 2. 1. 4. 1. Teneur en Sucres solubles au stade montaison	55
V. 1. 2. 2. Effet de l'interaction Hormones*NaCl sur les paramètres morpho-physiologiques aux stades tallage et montaison	57
V. 1. 2. 2. 1. Surface foliaire (Cm²)	57
V. 1. 2. 2. 1. 1. Surface foliaire (Cm²) au stade tallage	57
V. 1. 2. 2. 1.2. Surface foliaire (Cm²) au stade montaison	57
V. 1. 2. 2. 2. Teneur en Chlorophylle A	61
V. 1. 2. 2. 2. 1. Teneur en Chlorophylle A au stade tallage	61
V. 1. 2. 2. 2. 2. Teneur en Chlorophylle A au stade montaison	61
V. 1. 2. 2. 3. Teneur en Chlorophylle B	65
V. 1. 2. 2. 3. 1. Teneur en Chlorophylle B au stade tallage	65

SOMMAIRE

V. 1. 2. 2. 3. 2. Teneur en Chlorophylle B au stade montaison	65
V. 1. 2. 2. 4. Teneur en Caroténoïdes	69
V. 1. 2. 2. 4. 1. Teneur en Caroténoïdes au stade tallage	69
V. 1. 2. 2. 4. 2. Teneur en Caroténoïdes au stade montaison	69
V. 1. 2. 2. 5. Teneur en Proline	73
V. 1. 2. 2. 5. 1. Teneur en Proline au stade tallage	73
V. 1. 2. 2. 5. 2. Teneur en Proline au stade montaison	73
V. 1. 2. 2. 6. Teneur en Sucres Solubles	77
V. 1. 2. 2. 6. 1. Teneur en Sucres Solubles au stade tallage	77
V. 1. 2. 2. 6. 2. Teneur en Sucres Solubles au stade montaison	77
V. 1. 2. 3. Analyse multivariée en composantes principales (ACP) des paramètres étudiés	81
V. 2. DISCUSSION	83
CONCLUSION GENERALE	90
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	
Résumé	
Abstract	

INTRODUCTION GENERALE

Les céréales ont joué un rôle capital dans le développement de l'humanité. La majorité des civilisations se sont développées autour d'une céréale : les civilisations asiatiques autour de la culture du riz, les pré-colombiennes autour du maïs et les babyloniennes et égyptiennes autour du blé (Moule, 1971). Cet aliment est une culture céréalière importante dans de nombreuses régions du globe, il est communément connu sous le nom de roi des céréales. Il appartient à la famille des Poaceae, il est la deuxième nourriture la plus produite parmi les céréales après le maïs à l'échelle mondiale, le riz se classe troisième (Datta *et al.*, 2009).

En Algérie, les blés (tendres et durs) et l'orge sont les principales cultures céréalières, les blés durs sont de loin les plus cultivées, les blés tendres seraient d'introduction relativement récente. Malheureusement, les cultures de blé sont souvent confrontées à des contraintes abiotiques telles que la sécheresse et la salinité qui limitent la production surtout dans les zones arides et semi-arides (Fercha *et al.*, 2011), caractérisées par une forte irrégularité des précipitations (Mnif et Chaieb, 2004; Rezgui *et al.*, 2004), associée à une évaporation importante favorisant l'accumulation des sels dans le sol (Hayek et Abdelly, 2004).

La rareté de l'eau et la qualité médiocre de l'eau d'irrigation deviennent des problèmes vraiment très graves (Flowers, 2004). L'irrigation par les eaux provenant des barrages et des puits avec une charge en sel varie de 2 à 3 g/l et de 4 à 7 g/l successivement entraîne l'augmentation des superficies salées (Ben Naceur *et al.*, 2001), 20% de toutes les terres cultivées et près de la moitié des terres irriguées sont affectées par le sel, ce qui réduit considérablement le rendement des cultures en dessous de leur potentiel génétique (Flowers, 2004; Munns, 2006; Jones, 2007). En effet, Chaque année, les surfaces perdues à cause des stress hydrique et salin varient autour de 20 millions d'hectares dans le monde (Trinchant *et al.*, 2004). 6% de la surface terrestre est affectée par la salinité (Cécile, 2014).

En Algérie, environ 3,2 millions d'hectares de terres arables sont actuellement menacés par la salinité. En raison de la superficie en développement des terres touchées par le sel, la salinité devient un défi éternel pour l'agriculture et l'approvisionnement alimentaire (Flowers, 2004).

L'accumulation des sels solubles dans le sol entraîne une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol, ce qui peut réduire l'absorption de l'eau par les graines ou par les racines de la plante (Le Dily *et al.*, 1993; El-Iklil *et al.*, 2002; Munns, 2002; Kim *et al.*, 2004; James *et al.*, 2006) ainsi un abaissement de la turgescence cellulaire cause un phénomène de plasmolyse (Lachâal *et al.*, 1997).

La salinité affecte la capacité de germination des graines (El Mekkaoui, 1990; Kayani *et al.*, 1990). De même le sel diminue la croissance de l'appareil végétatif par la réduction du

INTRODUCTION GENERALE

nombre des feuilles (Lakhdari, 1986) et de la surface foliaire (Brugnoli et Lauteri, 1991). Les fortes doses de sel peuvent causer un déséquilibre ionique et une toxicité chez les plantes, ce qui peut affecter certains processus métaboliques vitaux tel que la teneur des feuilles en pigments chlorophylliens (Gadallah, 1999), chez les halophytes que chez les glycophytes (Salama *et al.*, 1994). Il en résulte un développement anormal des plantes et une diminution du rendement.

La réponse des espèces végétales au sel dépend de leurs génotypes, de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante (Mallek-Maalej *et al.*, 2004). Le blé est généralement considéré comme relativement plus tolérant au sel (Hamza et Acad, 1967), par comparaison à l'orge (Maas, 1986; Ehret *et al.*, 1990) et au triticale (Touraine et Ammar, 1985.). En effet, selon le degré de salinité dans le milieu, les glycophytes en particulier sont exposées à des modifications de leur comportement morpho-physiologique (Ben Naceur *et al.*, 2001), biochimique (Grennan, 2006) et minéral (Martinez *et al.*, 2007). Ainsi, les plantes réagissent à ces variations de la salinité dans le biotope, soit pour disparaître ou déclencher des mécanismes de résistance. Parmi ces mécanismes, l'ajustement osmotique qui joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à la contrainte abiotique (Munns, 2006). En effet, la tolérance, dans le cas d'un abaissement du potentiel hydrique, s'exprime par un maintien de la turgescence (Moinuddin *et al.*, 2005) grâce au phénomène d'ajustement osmotique qui apparaît comme un mécanisme majeur d'adaptation aux stress ionique et osmotique, il s'exprime par la capacité d'un végétal à accumuler, au niveau cytoplasmique et de manière active des composés organiques tels que les sucres solubles (Ottow *et al.*, 2005) et certains amino-acides comme la proline (Morant-Manceau *et al.*, 2004). Ceci permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance...) (Grennan, 2006; Martinez *et al.*, 2007). L'accumulation de ces composés serait une adaptation métabolique notée chez un certain nombre de plantes tolérantes au stress. Elle varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité (El Midaouil *et al.*, 2007).

De ce faite, ces changements imposent la réflexion sur les stratégies à entreprendre pour comprendre les mécanismes mis en jeu par les plantes afin de les adapter et de maintenir et maximiser leur croissance et leur productivité dans les nouvelles conditions salines (Belkhodja et Bidai, 2004; Trinchant *et al.*, 2004). Parmi ces stratégies : la production des génotypes tolérants aux sels tel que le chlorure de sodium, chez les végétaux d'intérêt agronomique. Les tentatives visant à améliorer la tolérance à la salinité grâce à des méthodes classiques d'amélioration des plantes sont longues, laborieuses et dépendent de la variabilité génétique existante (Abd El-Samad et Shaddad, 2014). Par conséquent, une approche bien ciblée combinant les aspects

INTRODUCTION GENERALE

moléculaires, physiologiques, biochimiques et métaboliques de la tolérance au sel est essentielle pour développer des variétés de cultures tolérantes au sel.

L'exploration d'améliorants appropriés ou d'atténuation du stress est l'une des tâches des biologistes. Au cours des dernières décennies, un protecteur exogène tel que l'hormone végétale s'est avéré efficace pour atténuer les dégâts induits par le sel dans la plante (Iqbal *et al.*, 2012; Yusuf *et al.*, 2012).

La croissance et le développement des plantes sessiles sont régulés de manière coordonnée par l'activité de plusieurs phytohormones comme l'acide abscisique (ABA), les gibbérellines (GA), l'éthylène (ETHY), les auxines (IAA), les cytokinines (CK) et les brassinostéroïdes (BR), qui contrôlent de nombreux processus physiologiques et biochimiques (Iqbal *et al.*, 2014). Ces régulateurs de croissance jouent un rôle essentiel dans le maintien de la croissance des plantes dans des conditions de stress, y compris le stress salin (Kaya *et al.*, 2013). Ce dernier cause des perturbations en leurs concentrations : (déséquilibre hormonal). Le stress salin peut influencer sur l'homéostasie des hormones en raison des altérations de leur métabolisme et de leur distribution (Schopfer *et al.*, 2002).

L'application exogène des auxines (Khan *et al.*, 2004), des gibbérellines (Afzal *et al.*, 2005), des cytokinines (Gul *et al.*, 2000), produit un certain effet dans l'atténuation des effets néfastes du stress salin et améliore également la germination, la croissance, le développement et le rendement des semences et la qualité du rendement. Le contrôle du rapport dose/réponse d'hormones reste un défi, puisque les niveaux d'hormones atteints devraient être modérés afin de maintenir un équilibre entre les effets positifs des hormones végétales sur la tolérance au stress et les effets négatifs sur la croissance et le développement.

Cette recherche, consiste à déterminer si l'application exogène des régulateurs de croissance (IAA, IBA, BAP et Kn) sur la partie aérienne de la plante du blé dur (*Triticum durum* Desf.) var.Kebir, peut atténuer l'effet néfaste de salinité sur le comportement morpho-physiologiques des plants.

Notre travail est structuré de deux parties. La première est consacrée à une actualisation de la recherche bibliographique dans les chapitres I et II. Pour la deuxième nous avons évoqué le plan expérimental et le matériel utilisé dans le chapitre III et enfin nous avons exposé les résultats obtenus et leur discussion dans le chapitre IV.

***PARTIE I. ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE***

Introduction

Les céréales constituent une part importante des ressources alimentaires de l'homme et de l'animal (Karakas *et al.*, 2011). Elles constituent environ 30% des sources énergétiques alimentaires dans les pays développés, contre plus de 50% dans les pays en voie de développement, atteignant parfois 90% dans certains pays d'Afrique.

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

.1. Historique et origine génétique du blé

.1.1. Historique

Les principaux centres d'origine de l'agriculture ont vu le jour au Levant, entre la fin de l'Épipaléolithique et le début du Néolithique, permettant entre autres l'émergence de la civilisation occidentale voici un peu plus de 10 000 ans, selon les archéologues la date de l'apparition de la culture des blés dans ce secteur du globe se situerait, entre 8900 et 7000 avant Jésus Christ (Bonjean *et al.*, 2001). La diffusion de la culture du blé a débuté dans le Nord-Ouest et le Nord du Levant vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe. La vulgarisation de cette culture vers les pays Maghrébins tel que la Tunisie, le Maroc et l'Algérie fut à partir de la péninsule italienne et de la Sicile (Bonjean *et al.*, 2001) (Figure 1).

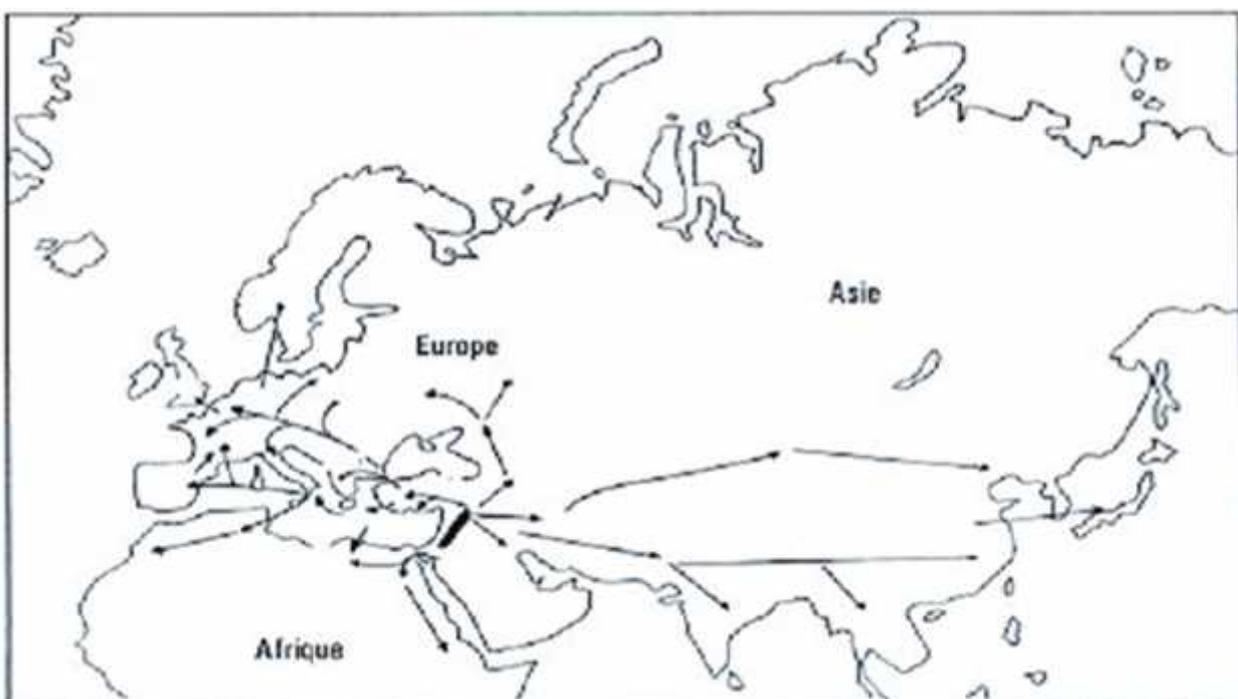


Figure 1. Diffusion de la culture de blé (Bonjean, 2001).

.1.2. origine génétique du blé

Le blé constitue l'une des principales cultures dans le globe. C'est une plante herbacée annuelle de la classe des Monocotylédones, du genre *Triticum* de l'ordre des Poales, de la famille des Poaceae et de la tribu des Triticeae (Feillet, 2000) Cette plante annuelle produit un fruit sec indéhiscant, le caryopse. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre *Triticum vulgare* L. qui est celle de tous les blés dits tendres (Cheftel et Cheftel, 1977). Il est essentiellement utilisé pour la fabrication de farines alimentaires humaines (panification, biscuiterie, pâtisserie...etc) et comme aliments pour les animaux (Duron, 1999). Le *Triticum durum* L. ou blé dur qui renferme une teneur forte en protéines (13%) est utilisée d'une part par les semouleries et les industries de pâtes alimentaires et d'autre part, pour en faire des aliments pour les animaux (Duron, 1999).

Depuis lors, de nombreuses études ont confirmé que le génome de Triticeae base est organisé en sept chromosomes. En outre, un chromosome spécifique ou une partie d'un chromosome dans un génome de base est génétiquement lié à un chromosome spécifique ou une partie de celle-ci dans tous les autres génomes des espèces Triticeae. C'est parce que la synténie gène a été conservée tout au long de l'évolution du génome et de la spéciation des genres dans la tribu des Triticeae et de la famille des Poacées (Devos *et al.*, 1993).

Les liaisons des chromosomes des génomes génétiquement différents sont appelés homéologues par rapport à essentiellement génétiquement identiques homologues paires de chromosomes chez les espèces diploïdes. Poly-ploïdes blé contient homologues ainsi que des chromosomes homéologues (Gill et Kimber, 1974). Le blé tendre a une structure génomique hexaploïde (AA BB DD). Il est formé de trois génomes possédant chacun 7 paires de chromosomes homéologues, soit 42 chromosomes au total, d'un point de vue phylogénétique ce dernier est issu de deux hybridations interspécifiques suivi d'un doublement chromosomique. Le blé dur est allotétraploïde (AABB), comptant au total 28 chromosomes ($2n=4x=28$). Le croisement entre *Triticum monococcum* L. (A) et un *Aegilops* (B) a donné un individu de structure génomique (AB) avec 14 chromosomes. Après doublement chromosomique est apparu (*Triticum turgidum sub sp. dicoccoides* (AA BB), ancêtre du blé dur. Le second croisement interspécifique a eu lieu entre *Triticum turgidum sub sp. dicoccoides* et *Aegilops tauschii* (D) ce qui a donné un individu (ABD) avec 21 chromosomes. Ce dernier a lui aussi subi un doublement chromosomique (AA BB DD) et est l'ancêtre de *Triticum aestivum* L. (Chapman, 2009). Voir (Figure 2).

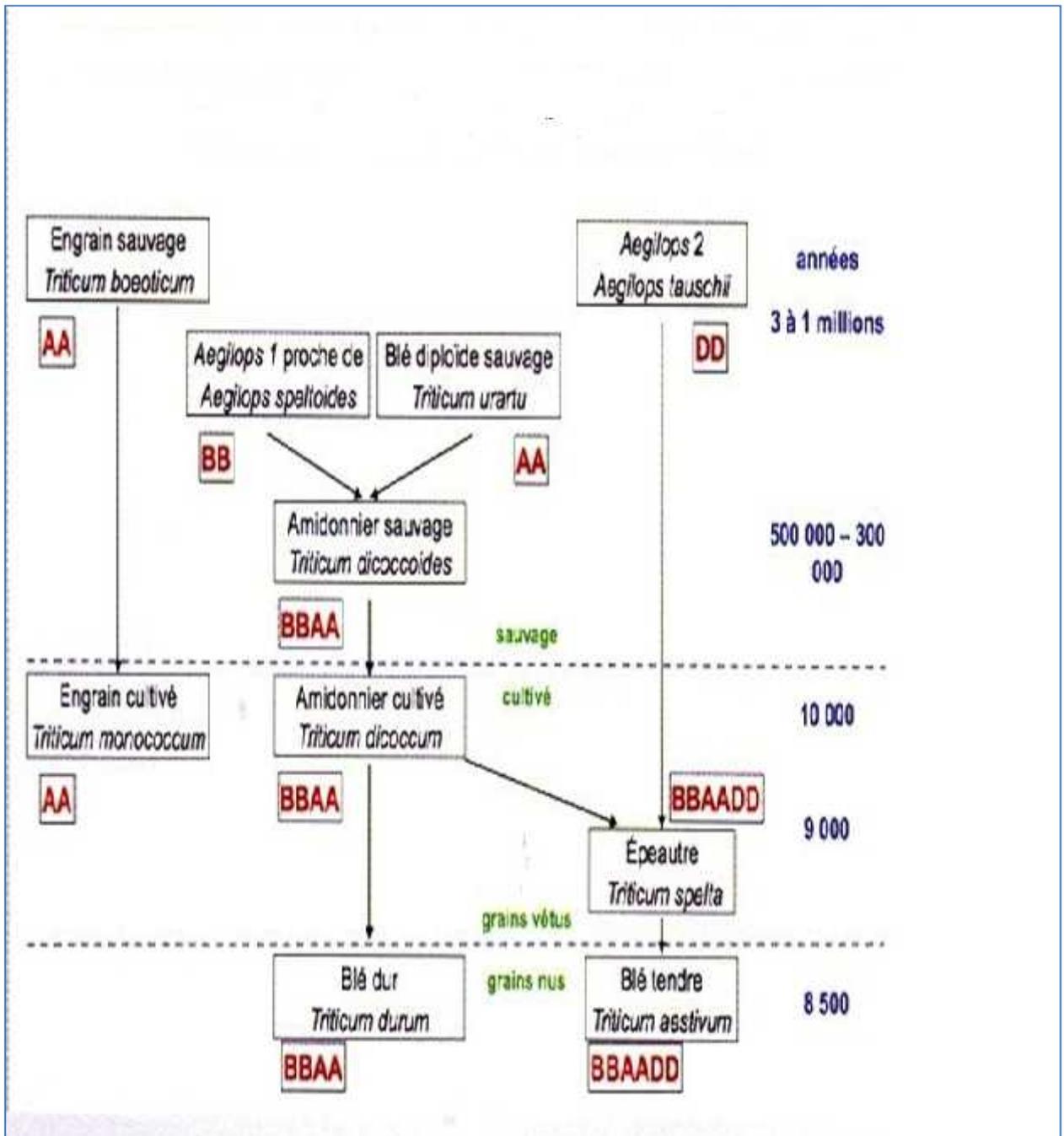


Figure 2: Schéma simplifié montrant l'évolution des blés depuis l'apparition de ses progéniteurs jusqu'au blé dur et blé tendre cultivés aujourd'hui. (Adapté et complété de : <http://www.newhallmil.org.uk/wht-evol.htm>)

.2. Importance économique

.2.1. Au niveau mondial

Les céréales occupent une place primordiale dans le système agricole mondiale (Slama *et al.*, 2005). Elles constituent une source principale de la nutrition humaine et animale grâce à leur apport énergétique élevé (plus de 60%) ainsi que leur apport protéique qui est de 75 à 80% de la ration alimentaire (Djermoun, 2009). Selon le premier bulletin prévisionnel 2017 de la FAO sur

l'offre et la demande de céréales en 2016, la production céréalière mondiale a achevé les 2 605,8 millions de tonnes, soit 1,7 pour cent de plus que la production de 2015. Pour l'année 2017 elle devrait atteindre 2 597 millions de tonnes en, volume qui représente seulement 0,3 % (9,0 millions de tonnes) de moins qu'en 2016, année record, et demeure supérieur à la moyenne enregistrée sur cinq ans.

La production mondiale de céréales en 2016 a chuté légèrement inférieure à la demande en 2016/17. Pour la campagne 2017-2018, un calme relatif devrait continuer de régner sur les marchés et la production mondiale ne décliner que faiblement. À cela s'ajoute la perspective d'une croissance relativement limitée de l'utilisation, aussi une production encore abondante devrait-elle maintenir les stocks mondiaux de céréales à des niveaux quasi records. La FAO a mis à jour ses prévisions, prévoyant maintenant que les réserves céréalières mondiales atteindront un niveau record d'ici la fin des campagnes agricoles de 2017 (Figure 3 et Tableau) (FAO, 2016).

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

Pour la campagne 2017/18, la production déclinera légèrement par rapport à la campagne 2016/17 selon le premier bulletin prévisionnel 2017 de la FAO. L'utilisation mondiale de blé est vu diminuer légèrement dans la plupart du temps et sa consommation est estimée à 730,5 millions de tonnes. Les échanges mondiaux de blé sont évalués à 165 millions de tonnes (Tableau). Les principaux exportateurs de céréales sont l'Argentine, l'Australie, le Canada, les États-Unis et l'Union européenne. En termes de production, la Chine est le 1er producteur mondial, suivi de l'Inde, de la Russie, des Etats-Unis et de la France (FAO, 2016; Frédéric Hénin, 2017).



Figure 3. Production céréalière, utilisation et stocks (Frédéric Hénin, 2017).

Tableau . Marché mondial des céréales (Frédéric Hénin, 2017).

Marché mondial des céréales					
	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17 estimation	2017/18 prévision (06 avr 2017)
(..... millions de tonnes.....)					
Production ¹	2 520.6	2 567.0	2 535.6	2 605.8	2 596.8
Disponibilités ²	3 049.2	3 157.3	3 190.0	3 267.6	3 278.6
Utilisation	2 430.9	2 499.6	2 520.4	2 577.2	2 597.2
Commerce ³	363.6	379.0	394.1	392.5	385.9
Stocks de clôture ⁴	590.3	654.3	661.9	681.9	679.8
(..... pour cent.....)					
Rapport stocks mondiaux-utilisation	21.8	23.7	26.0	25.7	25.9
Rapport stocks des principaux exportateurs-utilisation totale ⁵	18.0	18.2	16.0	17.2	16.7

Tableau . Marché mondial du blé (Frédéric Hénin, 2017).

Marché mondial du blé					
	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17 estimation	2017/18 prévision (06 avr 2017)
(..... millions de tonnes.....)					
Production ¹	711.2	731.0	735.3	760.1	739.9
Disponibilités ²	882.1	912.5	942.2	985.2	980.3
Utilisation	693.5	706.5	713.8	737.6	734.7
Commerce ³	157.7	156.8	166.7	173.0	169.0
Stocks de clôture ⁴	181.5	206.9	225.1	240.5	246.5
(..... pour cent.....)					
Rapport stocks mondiaux- utilisation	24.8	25.9	29.1	30.4	32.4
Rapport stocks des principaux exportateurs- utilisation totale ⁵	14.6	16.8	17.0	19.3	18.8

.2.2. Au niveau national

Durant la campagne moisson-battage 2014-2015, l'Algérie a produit 37,6 millions Qx ; dont : 20, 2 millions de q de blé dur, 6,4 millions de q de blé tendre, 10,3 millions de q d'orge et 0,7 millions d'avoine. Pour l'ensemble de l'année 2015, l'Algérie a importé 8,5 millions de tonnes de blé tendre (qui représentent 70% de toutes les céréales importées) et 500.000 tonnes pour l'année 2016 (INRAA, 2016).

Dans le cadre du programme « Renouveau agricole et rural », lancé en 2010 (MADR, 2010). Le ministère de l'Agriculture algérien, a retenu pour le quinquennat 2015-2019, le défi posé dans plusieurs plans successifs de développement est d'augmenter fortement les surfaces et les rendements en céréales (blés et orge principalement). Ainsi, cette stratégie vise une

augmentation de la production de blé en 2019 à 69,8 millions Qx avec 0 % importations de blé dur et un gain de production de 15 millions de Qx pour une valeur de 800 millions de dollars.

A l'horizon 2020, l'augmentation de la production achèvera 85%, avec, une quasi-autosuffisance en blé dur et une couverture des besoins nationaux en blé tendre à hauteur de 30%. Si le programme de Renouveau agricole parvient à atteindre ses objectifs en termes de production pour le blé dur et le blé tendre, l'Algérie pourrait connaître une transition très attendue vers une plus grande sécurité alimentaire en assurant plus de 50% de ses besoins par la production locale (Jean-Louis et El Hassan, 2014). Les actions à mener pour atteindre ce but sont :

*Lancement d'un plan d'action centré sur la filière blé dur

*Renforcement des capacités de stockage des céréales par la réalisation de 39 silos d'une capacité globale de 8,2 millions Qx

*Renforcement des capacités d'usinage des semences de céréales par la réalisation de 17 nouvelles stations d'usinage

*L'amélioration de la chaîne de qualité de la production de semences de céréales réglementaire

*la poursuite du renforcement et du renouvellement du parc des moissonneuses batteuses (Chérif Oamri, 2016).

.3. Biologie et cycle de développement du blé

.3. 1. Morphologie de blé dur

.3. 1. 1. L'appareil végétatif

Les graminées sont des plantes herbacées de petite taille (Belaid, 1986), se caractérise par deux systèmes de développement:

.3. 1. 1. 1. Système racinaire

Le système racinaire est de type fasciculé, constitué d'un système primaire et un système secondaire. Le système primaire ou racines séminales sont d'origines embryonnaires associées dans le grain aux différentes parties de l'embryon, ce système de racines fonctionne de la germination jusqu'au tallage. Le système secondaire, est un système de racines coronaires ou racines adventices qui se forment plus tard dès le tallage à partir des nœuds à la base de la plante et se substitue parallèlement au système séminal pour constituer le système racinaire permanent (Clarke *et al.*, 2002).

.3. 1. 1. 2. Tige et feuille

Le système aérien de la plante est formé d'un nombre de tiges, partants d'une zone à la base de la plante appelée plateau de tallage, chaque tige, après développement complet de la plante est formée de tige et de feuilles. La tige du blé est une chaume creuse ou pleine de molle (Soltner, 1988), constituée d'entre-nœuds séparés par des nœuds ou zones méristématiques à partir desquelles s'allongent les entre-nœuds et servent comme point d'attache des feuilles (Hamadache, 2001).

Les feuilles sont simples, allongées, alternées à nervures parallèles et comprennent deux parties : une portion inférieure enveloppant l'entre-nœud correspondant à la gaine, et une portion supérieure en forme de lame, c'est le limbe (Jouve et Daoudi, 2001).

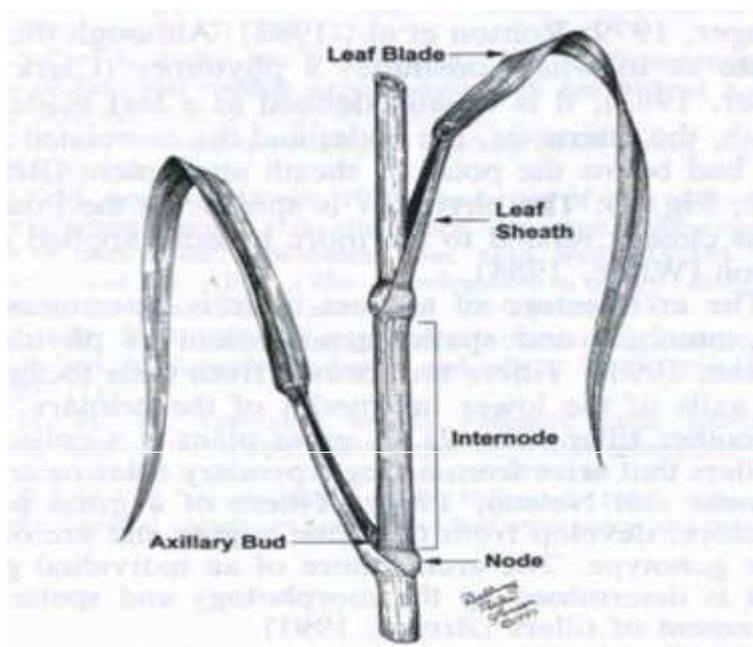


Figure 4. La structure d'une tige feuillée après la floraison d'une tige de blé (Moore et Moser, 1995).

.3. 1. 2. L'appareil reproducteur

Le blé comme les autres céréales à talles, est une plante autogame ou à autofécondation, les fleurs sont groupées en inflorescence correspondant à l'épi. L'apex terminal, à partir d'un certain moment, cesse de fabriquer les ébauches de feuilles pour initier des unités morphologiques de base (les épillets). L'épi de blé est formé de deux rangées d'épillets situées de part et d'autre d'un axe. Un épillet regroupe trois fleurs à l'intérieur de deux glumes, chaque fleur est entourée de deux glumelles (Figure 5) (Gate, 1995). Une fleur entourée de ses deux glumelles contient des pièces stériles, les glumellules, trois étamines et un ovaire surmonté de deux styles

plumeux. L'ovaire, après fécondation de l'ovule, donnera le grain de blé (Figure 6) (Michèle *et al.*, 2006).

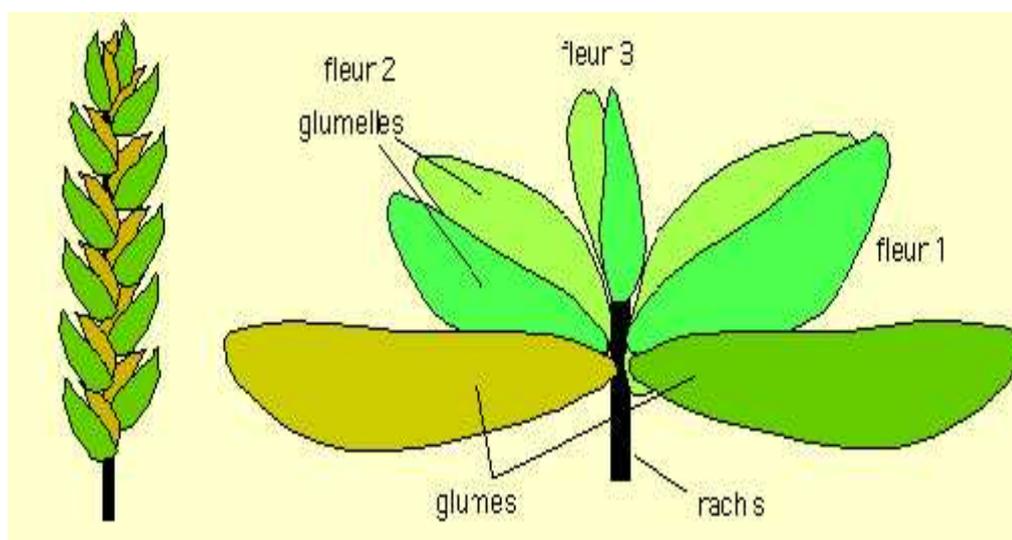


Figure 5. Epi et Epillet de blé (Michèle *et al.*, 2006)

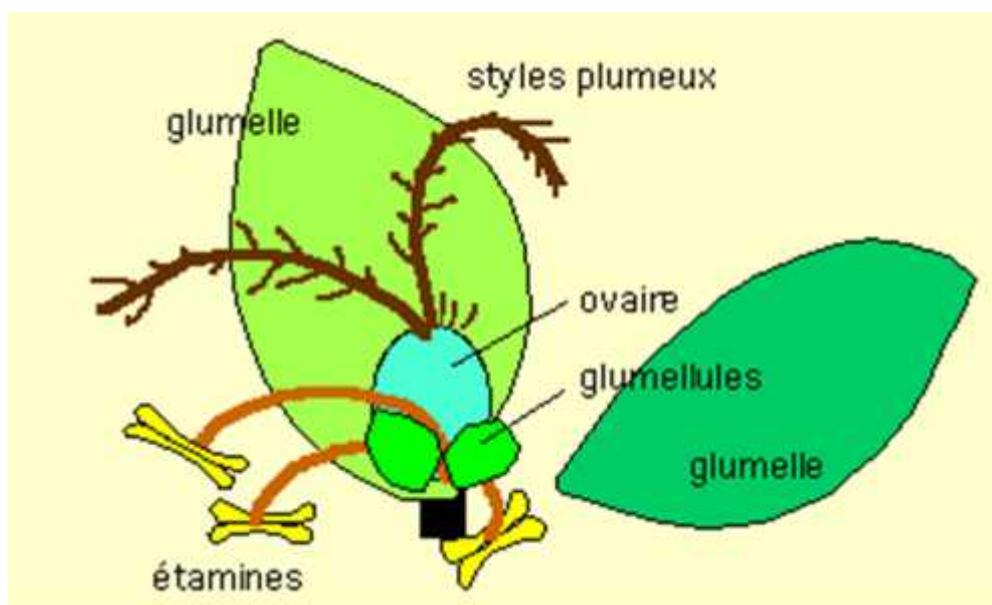


Figure 6. Organe reproducteur de la fleur du blé (Michèle *et al.*, 2006).

.3. 1. 3. Le grain

Le grain de blé est un fruit sec indéhiscent (caryopse) ovoïde, présente sur la face ventrale un sillon qui s'étend sur toute la longueur. Sa structure hétérogène est constituée d'une unique graine intimement soudée à l'enveloppe qui la contient. De la surface externe vers le centre du grain, on distingue l'enveloppe du fruit ou péricarpe, puis l'enveloppe de la graine, et

enfin à l'intérieur de la graine, l'albumen et le germe qui est surmonté par une brosse mesurant entre 5 et 7 mm de long, et entre 2,5 et 3,5 mm d'épaisseur (Figure 7) (Surg et Barron, 2005; Barron *et al.*, 2012).

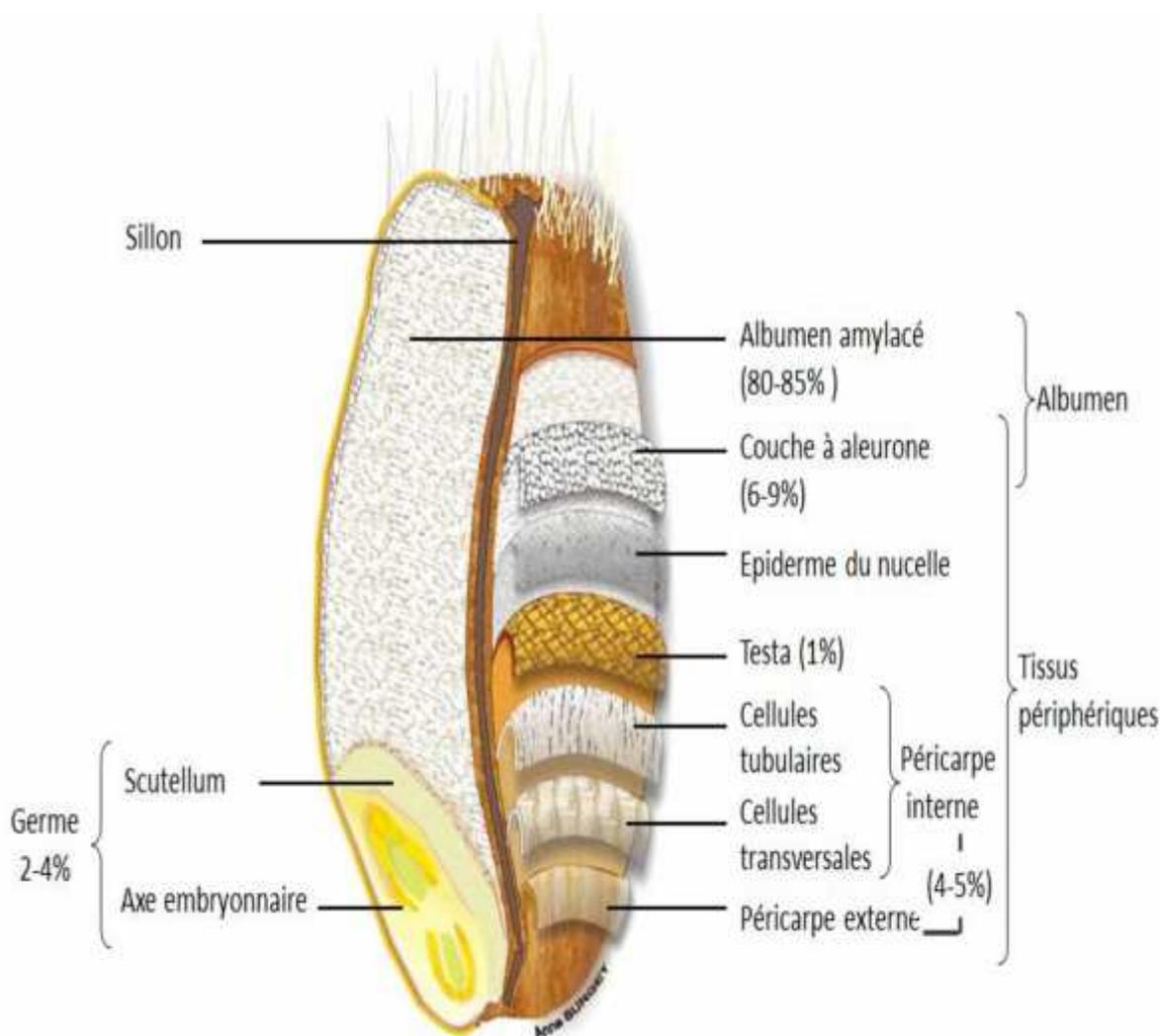


Figure 7. Histologie du grain de blé (Surget et Barron, 2005).

3.2. Cycle de développement du blé

Le développement est l'ensemble des modifications phénologiques qui apparaissent au cours du cycle des cultures, le déclenchement des stades de développement, dépendent des températures et des photopériodismes que subisse la culture depuis sa germination (Boufnar *et al.*, 2006).

Comme toutes les céréales à pailles, le blé possède un cycle biologique annuelle répartie classiquement en deux périodes principales successives :

Période végétative allant de la germination jusqu'à l'ébauche de l'épi et une période reproductrice qui s'étale de l'initiation florale à la maturité (Soltner, 2005).

.3.2.1. Période végétative

C'est la phase durant laquelle la plante ne différencie que des feuilles et des racines (Grandcourt et Prats, 1970). Elle comprend les stades suivants:

. 3. 2. 1. 1. Germination-levée

La germination est une phase physiologique qui correspond à la transition de la phase de vie latente de la graine sèche à la phase de développement de la plantule (Heller *et al.*, 2004). La germination du grain de blé commence quand il en a absorbé environ 25% de son poids d'eau. La racine principale, couverte d'une légère enveloppe ou coléorhize, apparaît, de même que la coléoptile recouvrant la gemmule, perce la couche superficielle du sol, percé à son tour par la première feuille (Grandcourt et Prats, 1970). La levée est notée quand 50 % des plantes sont sorties de la terre. Pendant cette phase, les jeunes plantes sont sensibles au manque d'eau qui provoque une perte des plantes, et au froid qui provoque le déchaussage (Karou *et al.*, 1998).

L'humidité minimale pour la germination du blé est de 35 à 45% de son poids sec de graine alors que la température nécessaire est de 4 à 37 C⁰ (la température considérée optimal est comprise entre 12 et 25 C⁰) (Evans *et al.*, 1975).

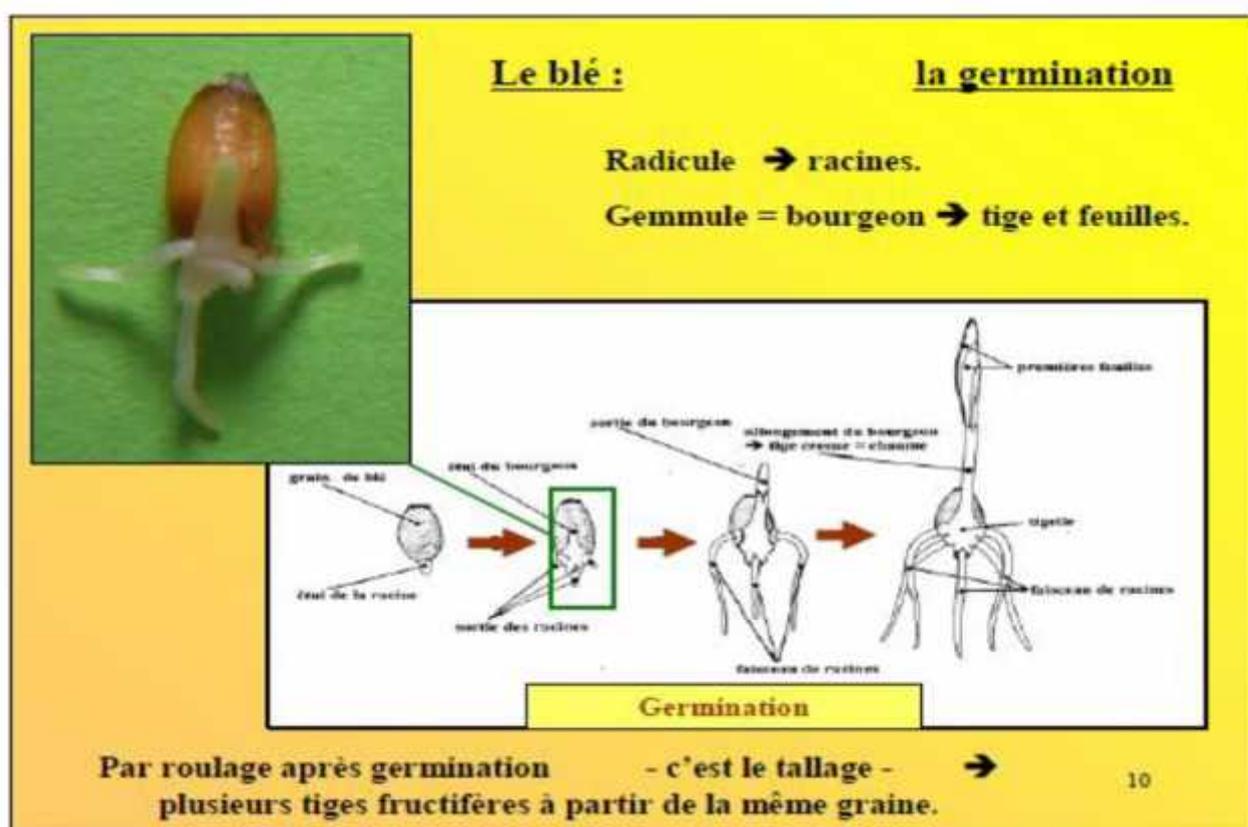


Figure 8. Germination de grain du blé (Clerget, 2011).

.3.2.1. 2. Tallage

Cette phase s'amorce à l'issue du développement de la troisième feuille. Des bourgeons apparaissent à l'aisselle des feuilles et donnent des tiges latérales primaires, chaque tige primaire donne des tiges secondaires, lesquels à leur tour émettent des tiges tertiaires, l'ensemble restant court nouer, formant un plateau de tallage situé juste au niveau du sol. (Belaid, 1986; Gate, 1995). Le fin tallage marque la fin de la période végétative et le début de la phase reproductive (Mazouz, 2006). Le nombre de tiges produites dépend de la variété du climat, de l'alimentation minérale et hydrique de la plante (Masles-Meynard, 1980).

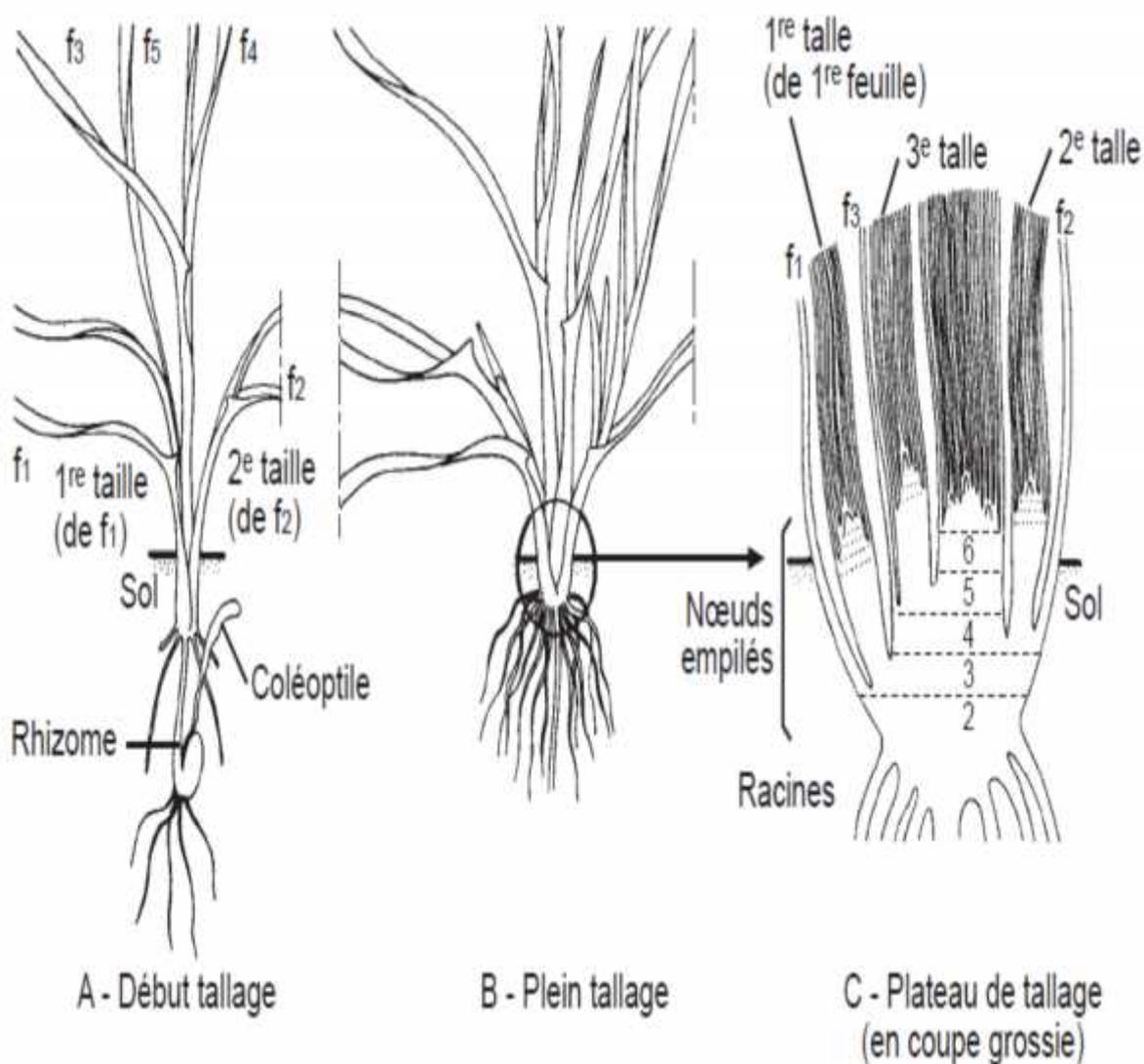


Figure 9. Culture de céréale au Stade de tallage (Boyeldieu, 1999).

.3.2.2. Période Reproductrice

Cette période s'étend de la montaison à la fécondation (Prats *et al.*, (1971).

.3.2.2. 1. Montaison-Gonflement

Ce stade est repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin-maître atteint 1cm de hauteur à partir de la couronne par l'élongation du premier entre-nœud. La montaison constitue la phase la plus critique du développement du blé, tout stress hydrique ou thermique (basses températures variant entre +4 et 0°C au cours de cette phase réduit le nombre d'épis montants par unité de surface (Baldy, 1984 et Gate, 1995). Le stade gonflement est marqué une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui se gonfle (Bozzini, 1988).

.3.2.2. 2. Epiaison- Floraison

On parle de stade épiaison quand l'épi atteint sa longueur définitive et se dégage de la gaine de la dernière feuille. Les épis dégainés fleurissent généralement entre 4 à 8 jours après l'épiaison, les glumelles des fleurs s'ouvrent largement et les sacs polliniques se libèrent, c'est le stade floraison (anthèse) (Bahlouli *et al.*, 2005b). Les basses températures au cours de ce stade réduisent fortement la fertilité des épis (Abbassenne *et al.*, 1998).

.3.2.2. 3. Remplissage du grain

Après la fécondation, le jeune grain vert riche en eau se caractérise par la multiplication cellulaire. En suite la quantité d'eau contenue dans le grain tend à se stabiliser (pallier hydrique) après avoir accumulé le produit de l'activité photosynthétique de la feuille étendard. Le grain qui grossit, met en place ses enveloppes et accumule des éléments carbonés et azotés. Les glucides proviennent de l'activité photosynthétique des feuilles encore vertes (les dernières sorties) et constituent l'amidon du grain. Les acides aminés proviennent de la migration des réserves azotées accumulées dans les parties végétatives (feuilles, tiges, épis) et constituent les protéines du grain (Gate *et al.*, 2003). L'arrêt de la migration des réserves des feuilles et de la tige vers le grain se fait sous l'effet des fortes températures au cours de cette période: c'est l'échaudage du grain. Enfin, le grain perd son humidité et atteint son poids sec final: c'est le dessèchement du grain (Wardlaw, 2002) (Figure 10).

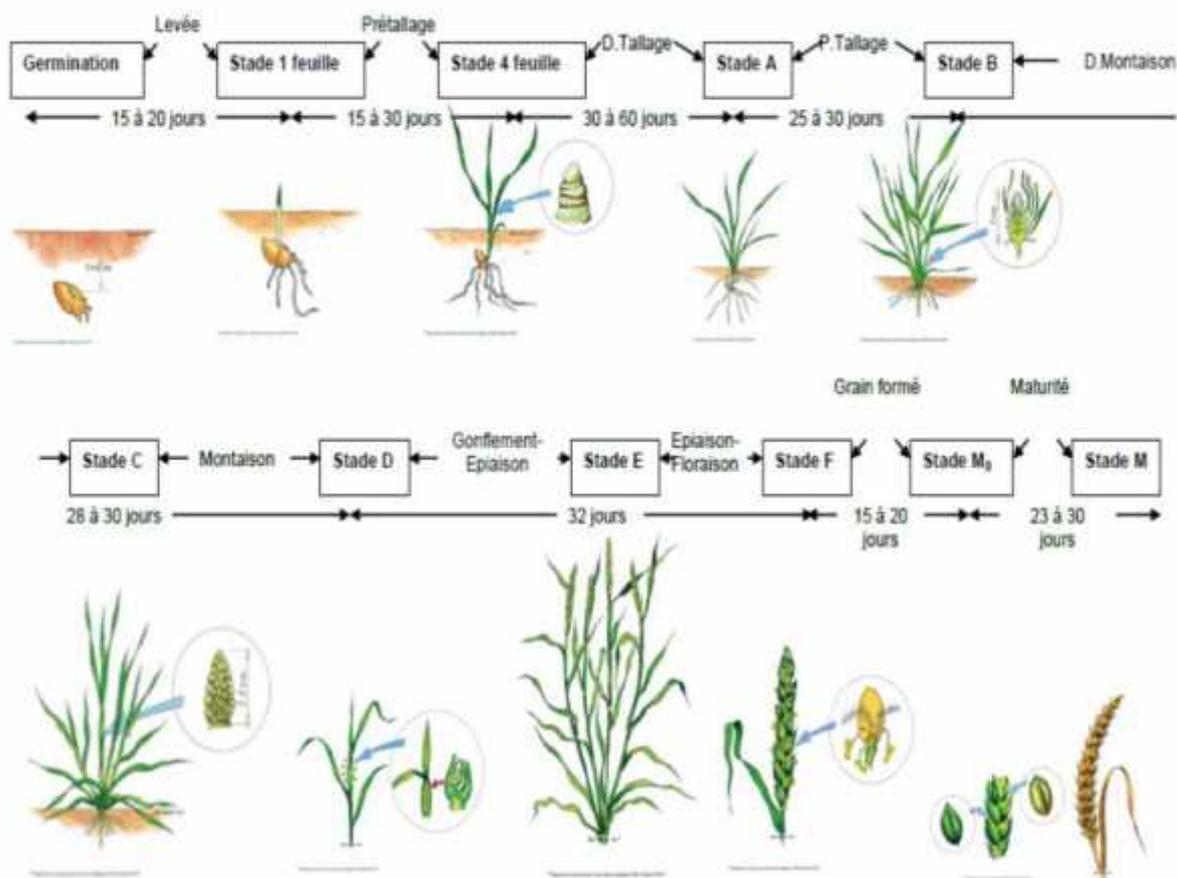


Figure 10: le cycle de développement du blé dur (Bill, 2007).

.4. Exigences du blé

.4. 1. Exigences climatiques

.4. 1. 1. Température

Le développement et la physiologie de la plante sont contrôlés et conditionnés à tout moment par la température. Pour le blé, les températures diffèrent selon les stades de développement (Soltner, 2005). La température caractéristique du zéro de végétation du blé est au-dessus de 0-3°C, tandis-que l'optimum se situe entre 20 et 22 °C jusqu'au 35 °C (Baldy, 1992). Sous conditions optimales la phase semis - levée est accompli avec une somme de température de 150°C, la phase levée- fin tallage nécessite une somme de 500°C, cependant les somme de température pour la phase montaison – floraison et le stade floraison–maturation achèvent 850°C et 800°C respectivement, faisant au total 2350 °C pour tout le cycle (Vilain, 1987), ces exigences dépendent des génotypes, des campagnes agricoles et des caractéristiques environnementales (Araus *et al.*, 2003).

.4. 1. 2. Eau

L'eau constitue le véhicule des éléments nutritifs et assure les réactions métaboliques. Cet élément est indispensable à la croissance et au développement de la plante durant toute la durée du cycle. Les besoins en eau de la culture de blé varient de 450 à 650 mm/an, bien répartis sur le cycle (Baldy, 1974). La consommation de l'eau est liée aux différents stades de croissance. Elle est de 46 mm au stade de fin du tallage au stade de début de la montaison (mars-avril) et elle s'élève à 103 mm à la phase gonflement épiaison (Chennafi *et al.*, 2008b). Une bonne alimentation en eau est particulièrement importante entre l'épiaison et la floraison et entre les stades « grains laiteux » et « grains pâteux » (Barotin, 2004).

.4. 1. 3. Photopériode

Le blé est une plante de jour long, la période optimale d'éclairement qui garantit un bon tallage et favorise une vitesse d'apparition des stades liés au développement floral est supérieure à 14 heures. La lumière est un facteur climatique essentiel qui fournit l'énergie nécessaire à la plante pour produire les glucides grâce au processus de la photosynthèse (Diehl, 1975).

Selon (Prats *et al.*, 1970) un abaissement de l'éclairement provoque une diminution en glucide. Une diminution de la durée d'éclairement, réduit la hauteur de la plante, alors que le retard de la floraison et donc l'épiaison est due à une insuffisance d'éclairement (Soltner, 1998).

.4. 2. Exigences pédologiques

.4. 2. 1. Exigences physiques

L'agriculture est liée d'une manière significative à l'ensemble des contraintes d'origine édaphiques. Le sol peut être déterminant dans l'influence de l'adaptation du blé et sa répartition dans l'espace. Il intervient par sa composition minérale et sa matière organique sur la nutrition ainsi que par sa structure sur la profondeur des lits de semence. Le blé dur exige un sol sain de texture fine limono-argileuse, assurant aux racines fasciculées une grande surface de contact pour une bonne nutrition minérale et une structure stable, résistante à la dégradation des pluies d'hiver riche en colloïdes, argile et humus, capable d'assurer la bonne nutrition nécessaire aux forts rendements (Shao *et al.*, 2006a; Soltner, 1989; Soltner, 2005).

.4. 2. 2. Exigences chimiques

Pour les différents stades de croissances, les éléments minéraux nécessaires prélevés par la plante à partir du sol doivent être disponibles en quantités suffisantes et sous forme assimilable (Prevost, 1999). La satisfaction des besoins des plantes est assurée par la fertilisation en complétant l'offre du sol en éléments minéraux (Llorens, 2001). Durant le cycle de culture, pour

CHAPITRE I. PRÉSENTATION DE LA PLANTE ETUDIÉE

produire un quintal (paille et grain) les besoins du blé sont d'environ 2,2 à 4,8 kg de K_2O , 2,1 à 2,7 kg d'azote et 1,0 à 1,6 kg de P_2O_5 (Prats *et al.*, 1970).

Le phosphore favorise la croissance racinaire et la formation des grains, sa présence en quantités suffisantes dans le sol est un indicateur d'un bon rendement. Les besoins théoriques en phosphore sont estimés à environ 120Kg de P_2O_5 /ha. (Belaid, 1987).

Les besoins en potassium sont élevés durant la période végétative, il améliore la qualité de floraison. Au-delà de ce stade, les besoins diminuent et même une partie du potassium est restituée au sol par les racines (Soltner, 1999). Les besoins des céréales en potassium peuvent dépasser les quantités contenues à la récolte 30 à 50 Kg de K_2O de plus/hectare (Belaid, 1987).

L'azote est l'élément essentiel de la croissance. Pour produire 1 quintal de blé dur il faut 3Kg d'azote. L'azote nécessaire au développement de la plante doit être disponible dès le début de la montaison (Remy et Viaux, 1980). Lors du gonflement floraison, la matière végétale augmente rapidement et le nombre d'épis se détermine, par conséquent les besoins en azote du blé deviennent importants (Grignac, 1981). Un manque en azote à cette période se traduit par une floraison précoce qui peut répercuter sur les rendements (Masle et Meynard, 1981). A la récolte, plus de 75% de l'azote total de la plante se trouve dans les grains.

Introduction

La fluctuation des facteurs abiotiques cause des stress environnementaux qui perturbent les structures normales et la coordination des processus variés au niveau moléculaire, cellulaire, et de la plante entière (Larcher, 2001).

Toutes les plantes sont connues pour percevoir et réagir aux signaux des différents types de stress comme la sécheresse, la chaleur, les herbivores, les pathogènes, la salinité ...etc. Pour la salinité, la signalisation du stress peut être de deux origines soit liées aux ions spécifiques du sel qui est la plus probable ou leur effet osmotique qui active la synthèse de l'acide abscissique (ABA) induit la transcription du gène *AtNHX1* qui code pour la synthèse des transporteurs vacuolaires qui permet la séquestration d'ions Na^+ (Shi et Zhu, 2002).

Les ions Na^+ extracellulaire peuvent être détectés soit par un récepteur membranaire (des protéines membranaires) ou par des enzymes sensibles aux ions Na^+ cytoplasmique.

La concentration élevée en ions Na^+ extracellulaire est perçue par un senseur membranaire de nature inconnue (protéines membranaires) et provoque un changement de concentration en Ca^{2+} dans le cytosol qui déclenche un signal de calcium qui stimule le complexe de protéines kinases SOS3-SOS2. Cette interaction est à l'origine de l'activation de la pompe d'échange Na^+ / H^+ de SOS1 par phosphorylation et de la régulation de l'expression de certains gènes sensibles au sel. En outre, le complexe SOS3-SOS2 peut activer ou réprimer les activités des autres transporteurs impliqués dans l'homéostasie du Na^+ (Zhu, 2003). Ces protéines membranaires (Save Overly Sensitive) peuvent être un capteur possible de Na^+ ainsi que transporteur qui joue un rôle crucial en efflux sodium de cellules de la racine et la longue distance du transport du Na^+ racinaire (Figure 11 et 12) (Shi *et al.*, 2000). L'expression de SOS1 (Save Overly Sensitive) est omniprésente, mais plus forte dans les cellules épidermiques entourant l'extrémité racinaire, ainsi que les cellules du parenchyme bordant le xylème.

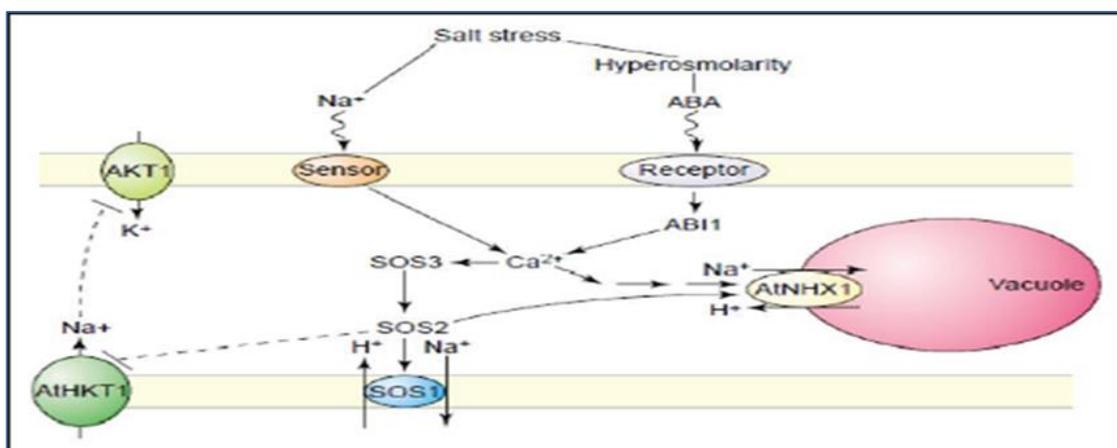


Figure 11: Signalisation cellulaire du stress salin (Zhu, 2003).

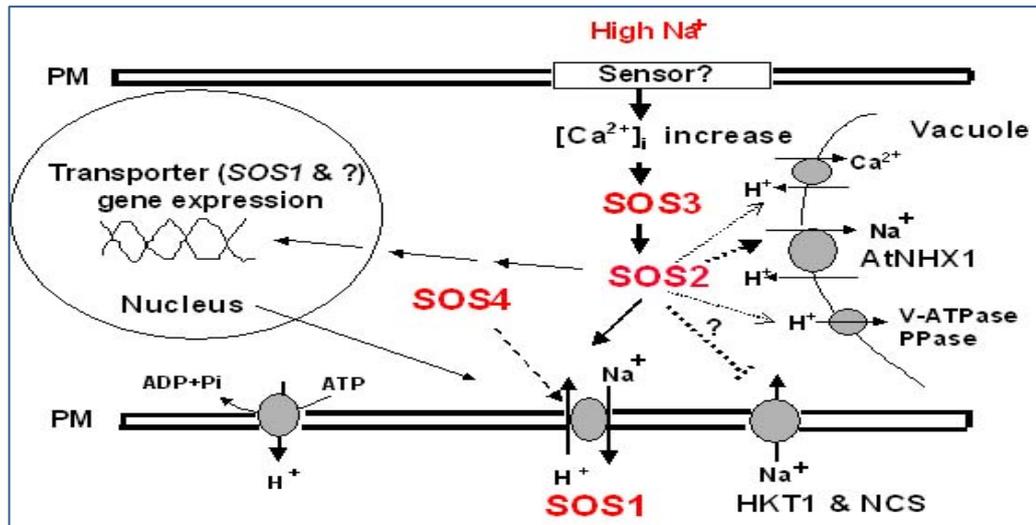


Figure 12: Régulation de la concentration de Na⁺ par la voie de SOS (Zhu, 2003).

II.1. Généralités sur la salinité

La salinité excessive affecte la rhizosphère et limite le développement de la production des végétaux dans leur habitat naturel. Elle est définie comme étant la présence des sels minéraux dissous dans la solution du sol en concentration excessive. Pour un même sol, elle varie avec la teneur en eau et avec la température (Asloum, 1990). Elle est enregistrée dans les écosystèmes aride et semi-aride, qui se caractérisent par la forte irrégularité des précipitations et le fort éclaircissement associés à une importante évaporation favorisant l'accumulation des sels dans le sol (Hayek *et al.*, 2004; Munns *et al.*, 2006). Dans ces zones, l'examen chimique de la solution extraite du sol révèle l'existence de Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻ et NO₃⁻ comme principaux composants (Meriem Barbouchi *et al.*, 2013). Ce type de stress est essentiellement dû au NaCl en conditions naturelles (Sun, 1994). Cela soumette les plantes à un stress permanent, baisse les rendements agricoles, limite la répartition des espèces cultivées voire même menacent d'extinction de certaines et modifier la fertilité et la stabilité structurale des sols (Vlentin, 1994).

II. 1. 1. Origine de la salinité

La salinisation des sols présente deux origines : Une naturelle dites salinisation primaire, d'origine géologique, marine ou lagunaire liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de dynamique des eaux (Servant, 1975; Gaucher et Burdin, 1974). Les zones de sols salés «naturels» se trouvent principalement dans les points bas de bassins endoréiques arides ou semi-arides appelés playa, laguna, chott ou sebkra. la

salinisation naturelle touche une superficie totale proche de mille millions d'hectares (995 ha) soit près de 5 % de la surface du globe.

La seconde appelée salinisation secondaire, elle est d'origine anthropique, due essentiellement à des changements d'usages des terres comme la déforestation des versants et le remplacement de la végétation pérenne avec des cultures annuelles, l'utilisation des eaux d'irrigation riches en sel plus le système d'irrigation déséquilibré et le drainage insuffisant ce qui modifie l'équilibre hydrologique du sol entre l'eau appliquée (irrigation ou de pluie) et de l'eau utilisée par les cultures (transpiration) qui peut conduire à une augmentation des niveaux d'eaux salées dans les plaines, et à la salinisation secondaire de vastes surfaces de sols cultivées (IPTRID-FAO, 2006).

II. 1. 2. Définition des sols salés

L'accumulation des sels dans les horizons de surface occasionne généralement la formation d'un sol salin ou sodique (Essington, 2004). La genèse d'un sol salé est conditionnée par le régime hydrique du sol, la forme de sel, les conditions climatiques et la texture des sols. (Keren, 2000; Essington, 2004).

Les sols salés ou sols halomorphes se caractérisent par leur teneur élevée en sels solubles, plus solubles que le gypse dans l'ensemble ou dans une partie du profil ou par la richesse de leur complexe absorbant en ions en particulier le sodium provenant de ces sels et susceptibles de dégrader la structure de l'un de leur horizons ou de tous les horizons, qu'ils les rendent diffuse. Ces deux caractères de ces sols modifient également et diminuent le développement de leur végétation et des cultures que l'on peut y faire (Baize, 2000).

La concentration en sels des solutions des sols est le plus souvent mesurée par la conductivité électrique (CE), exprimée en mmhos/cm ou actuellement en décisiemens en S/m à 25°C° (Robert, 1996). Cependant la salinité d'un sol s'apprécie plus par le comportement des plantes de sorte que cette limite peut être très différente selon la sensibilité des espèces végétales (Calvet, 2003).

II. 1. 3. Classification des sols salés

Les sols salins sont généralement définis en tant que sols ayant une CE de 4 dS/m ou plus. Les sols sodiques sont définis en tant que sols qui ont un (ESP) supérieur à 15 (Cramer, 2002). Les pédologues utilisent des paramètres de salinité et de sodicité pour obtenir des classes de sols salés basées sur la concentration en sels (CE) et le (ESP). Les sols ont été classifiés en trois grands types : salin, Sols salés à alcali ou Sols à alcali dont le caractère commun est de

renfermer, généralement, à un moment ou à un autre de leur genèse de quantités de sels de sodium (Halitim, 1973). Ces types sont :

II. 1. 3. 1. Sols salins ou Solontchaks

Ils sont riches en sels solubles en surface, leur structure est conservée (non dégradée, non diffuse). Le pH de ces sols est généralement inférieur à 8.5. La conductivité électrique (CE) de l'extrait aqueux à saturation est supérieure à 4 dS/m à 25 °C, Ils peuvent avoir aussi une teneur en sodium échangeable assez basse soit le ESP inférieur à 15%. Certains sols salins ne sont pas enrichis en sels de sodium mais en chlorure de Calcium ou de magnésium ou en un chlorure mixte de ces deux alcalino-terreux, la tachyhydrite. Ces sols se rencontrent dans les zones à climat sec. En Algérie ils sont abondants dans les basses plaines et vallées d'Oranais, vallée de Mina, près de Relizane sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine aux bords de certaines Chotts comme le chott Melrhir, Ils ont aussi une grande existence dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et environ. (Durand, 1983).

II. 1. 3. 2. Sols salés à alcali

Ils se caractérisent par un pourcentage de sodium échangeable (ESP) supérieur à 15 % et par une conductivité électrique (CE) de l'extrait de pâte saturée supérieure à 4 dS/m à 25°C, leur pH est supérieur à 8.5 (U.S.S.L (United States Salinity Laboratory, 1954). Leur structure est très dégradée et diffuse dans certains horizons. En surface elle est généralement lamellaire, parfois squameuse sur 1 à quelques centimètres ou boursouflée (sols d'oasis du Sud Algérien, Touggourt ; vallée du Chélif en Algérie). De tels sols sont nettement différents des sols salins à structure conservée grumeleuse ou polyédrique plus ou moins émoussée (Aubert, 1983).

II. 1. 3. 3. Sols à alcali

Les sols à alcali sont caractérisés par la présence d'un horizon limoneux ou argileux présentant une structure dégradée devenue diffuse, sous l'influence des ions sodium ou potassium ou des ions sodium et magnésium sur une épaisseur suffisante d'au moins 15 cm, en surface ou en profondeur mais dans le profil de sol. Ces sols se caractérisent par la présence d'une quantité importante de sodium qui dépasse les 15% de le C.E.C (capacité d'échange cationique), le pourcentage de sodium échangeable (ESP) supérieur à 15 % la conductivité électrique (CE) ne dépasse pas 4 dS/m à 25°C et le pH entre 8.5 et 10 (Aubert, 1983).

II. 1. 4. Répartition géographique des sols salés

II. 1. 4. 1. Salinité dans le monde

Chaque minute le monde perd au moins 3 ha des terres arables à cause de la salinité (Kovda, 1983). Les estimations de la superficie totale représentée par les sols affectés par la salinité est évalué à 954,8 millions d'hectare, soit 23 % des sols cultivés du monde (FAO, 2008). Leur distribution géographique se superpose presque entièrement à celle des zones arides et semi arides et des zones côtières (Durand, 1983).

Le tableau suivant présente la superficie affectée par la salinité dans le monde:

Tableau III. Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008).

Région)	Superficie (millions d'hectares)
Afrique	80,5
Europe	50,8
Amérique du Nord	15,7
Amérique du Sud	129,2
Australie	357,3
Mexique et Amérique centre	2
Asie du Sud Est	20
Asie du centre et du Nord	211,7
Asie du sud	87,6
Total	954,8

II. 1. 4. 2. Salinité en Algérie

En Algérie le phénomène de la salinité est observé dans les zones semi-arides et arides (voir carte ci-jointe), dans les plaines et vallées de l'Ouest du pays (Mina, Cheliff, Habra Sig, Maghnia) dans les hautes plaines de l'Est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), aux abords des Chotts et de Sbkhas (Chott Ech Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhha d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazhrez Gharbi et Chergui, etc..) et dans le grand Sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc...). Ces sols couvrent approximativement 95% du territoire (Benkhelif *et al.*, 1999), représentant environ 25% de la surface agricole utile soit 3,2 millions d'hectares (Halitim, 1988).

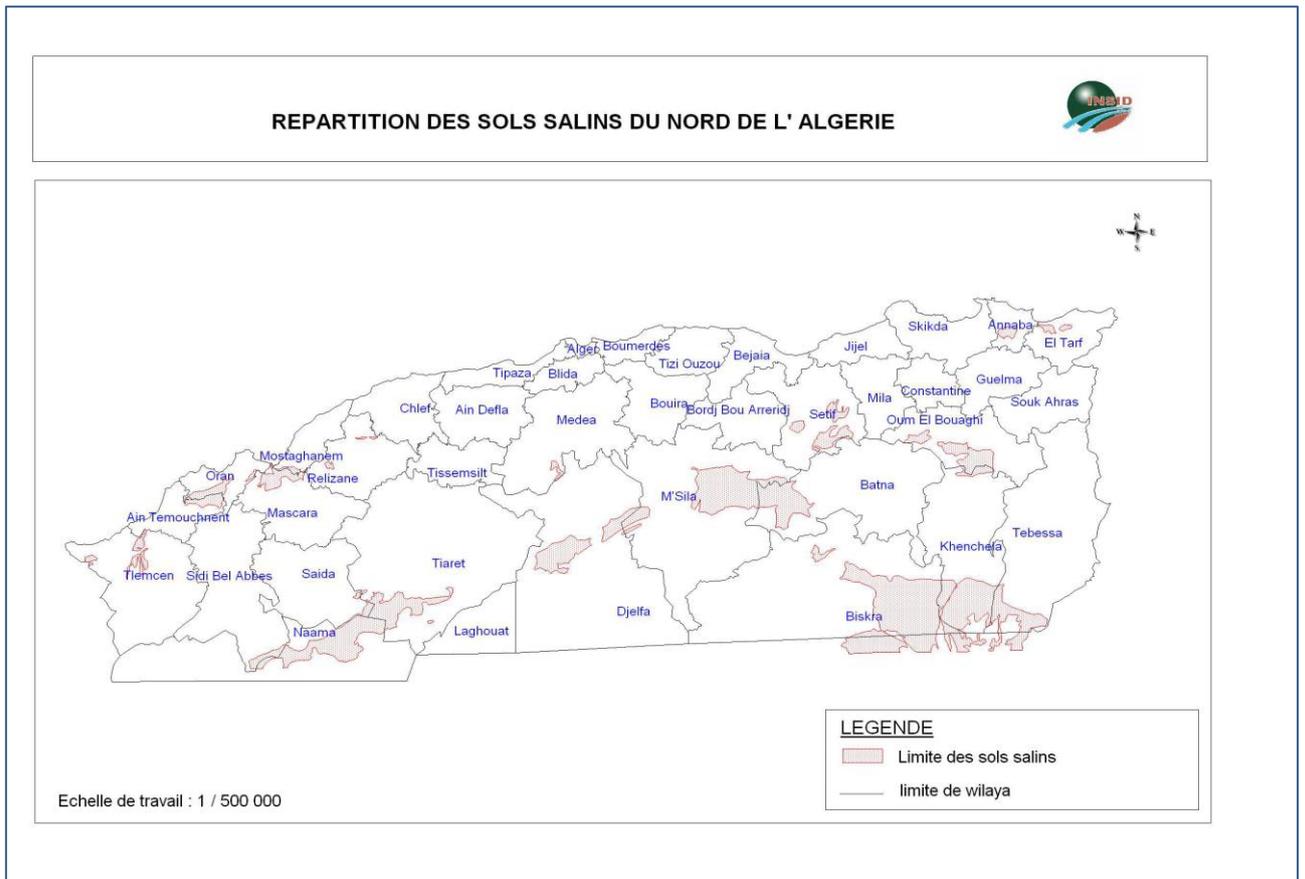


Figure 13: Répartition des sols salins du Nord de l'Algérie (INSID, 2008)

II. 1. 5. Définitions du terme stress

Le stress est un ensemble de conditions nuisibles qui tend à perturber le fonctionnement de processus physiologiques d'un système vivant ou d'un organisme, résultant éventuellement de dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement (Hopkins, 2003).

la notion du stress biologique est le changement plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante ou de l'animal, et la réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie laquelle change sensiblement avec l'adaptation à la nouvelle situation à la limite de dégradation menant à une issue fatale (Leclerc, 1999). Des concentrations élevées en sel dans la rhizosphère provoquent un stress du fait du déficit en eau et de la toxicité des ions. En fait, le terme de stress salin s'applique surtout à un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- . En revanche, la réponse du végétal dépend, entre autres, de son intensité, sa durée et caractéristiques génétiques: espèce et génotype (Hopkins, 2003).

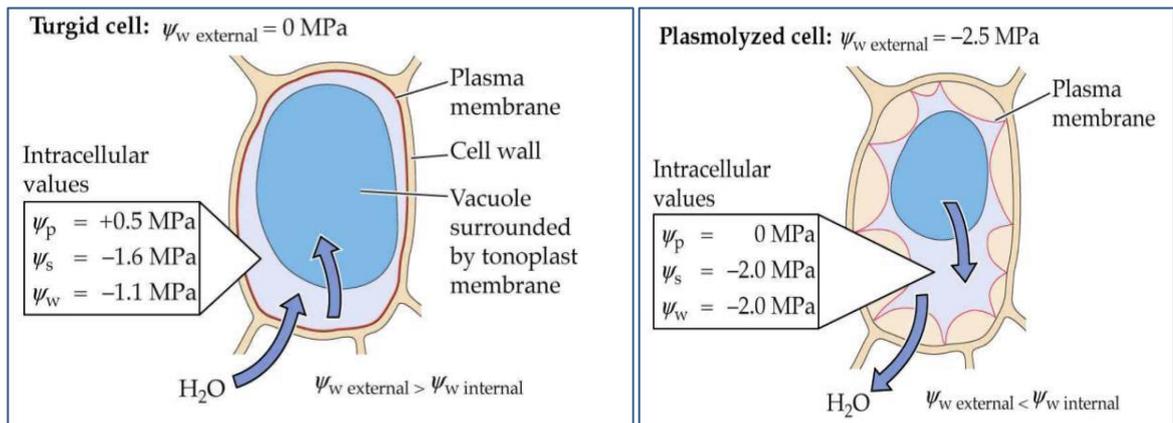
II.1. 6. Composantes de la contrainte saline

La salinité a un effet néfaste sur le développement des végétaux en limitant l'assimilation des éléments nutritifs et en réduisant la qualité de l'eau à disposition pour les végétaux. Un niveau de salinité élevé des sols provoque le flétrissement des plantes (Sustainable Agriculture

and Soil Conservation, 2007-2009). Les effets négatifs de la salinité, qu'elle soit naturelle ou induite, sont généralement considérés sous trois aspects :

II.1. 6. 1. Le stress hydrique

Le stress salin exerce une contrainte primaire immédiatement et non spécifique par une baisse de potentiel osmotique, ce qui entraîne une diminution du potentiel hydrique du sol. La cellule doit alors ajuster son potentiel osmotique afin que son potentiel hydrique demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire et à celui du sol afin d'assurer d'une part, la poursuite de l'absorption de l'eau du sol, et d'autre part, la rétention de l'eau intracellulaire et le maintien de la turgescence. Lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules, ce qui provoque un déficit hydrique et la perte de la turgescence (Figure 14) (Parida et Das, 2004).



Le potentiel hydrique (Ψ_w) = Ψ_s + Ψ_p + Ψ_g où Ψ_s est le potentiel osmotique ou potentiel des solutés ; Ψ_p est le potentiel hydrostatique ou potentiel de pression ; Ψ_g est le potentiel gravitationnel

Figure 14. Illustration schématique du changement de potentiel hydrique du milieu extérieur sur la cellule végétale. (Buchanan *et al.*, 2000).

II.1. 6. 2. Le stress ionique

L'aspect ionique est spécifique du stress salin. Il a moins d'effet par rapport au stress osmotique, en particulier à faible concentration en sel. Il accélère la sénescence et la maturité des feuilles. Dans le cas du stress salin causé par NaCl, il est dû à la toxicité des ions Na^+ et Cl^- accumulés en excès dans la plante qui perturbe l'homéostasie des ions cytosoliques de l'organisme (Munns et Tester, 2008) et affecte l'activité enzymatique cellulaire principalement

dans les tissus photosynthétiques (Hasegawa *et al.*, 2000). L'excès de Na^+ peut dérégler les processus métaboliques en entrant en compétition avec les ions K^+ .

Le chlorure est un soluté majeur dans la vacuole et est impliqué à la fois dans la turgescence, l'osmorégulation cellulaire et le fonctionnement du PSII en tant que cofacteur essentiel (Kawakami *et al.*, 2009). Dans le cytoplasme, le chlorure peut réguler les activités d'enzymes clés. En outre, le Cl^- agit également comme contre anion, et est impliqué dans la stabilisation du potentiel de membrane et la régulation des gradients de pH intracellulaire, il devient toxique pour les plantes en cas d'accumulation à des concentrations élevées dans le cytoplasme entraînant des déséquilibres de charge électrique cellulaire (Teakle et Tyerman, 2010).

II.1. 6. 3. Le stress nutritionnel

L'excès de NaCl, est susceptible de perturber la nutrition minérale des plantes en limitant l'absorption et l'accumulation d'autres éléments nutritifs. Le sodium entre en compétition avec le potassium et le calcium, et le chlorure avec le nitrate, le phosphore et le sulfate (Levigneron *et al.*, 1995), et ceci soit par substitution, soit par compétition au niveau des sites d'absorption membranaire (Zid et Grignon, 1991).

De plus, l'augmentation de NaCl diminue l'absorption du potassium et du calcium et interfère avec leurs fonctions physiologiques (Yoshida, 2002). Par conséquent, la capacité de maintenir des niveaux plus élevés de K^+ et de Ca^{2+} et de faibles niveaux de Na^+ dans les tissus des différents géotypes est l'un des mécanismes clés contribuant à l'expression de la tolérance au sel. Chez le blé et l'orge, une corrélation existe entre la croissance en milieu salin, la vitesse d'absorption de K^+ et son efficacité d'utilisation (Glass et Perley, 1980; Tal, 1984).

II.1. 7. Effet de la salinité sur la plante

Les plantes ont besoin d'une certaine quantité d'ions sous forme de sels pour leur croissance avec des concentrations relativement basse au niveau racinaire, des concentrations supérieures au seuil optimal, même pour des sels essentiels, induiraient un stress pour la plupart des plantes cultivées (Kalaji et Pietkiewicz, 1993).

La réponse la plus fréquente de la plupart des plantes cultivées, face à la salinité, est une réduction de leur croissance (Levigneron *et al.*, 1995). Cependant, le seuil de concentration en sels qui induirait une réduction de croissance et le degré de réduction de cette croissance varient considérablement d'une plante à l'autre. De même, dans une même plante, la réponse face à la salinité varie avec les stades de développement (Maas, 1993).

L'effet néfaste de la salinité se traduit par des modifications morpho-physiologique (Ashraf et Harris, 2004), biochimiques et moléculaires (Grennan, 2006) qui affecte négativement la croissance et la productivité végétale.

II.1. 7. 1. Effets du stress salin sur la croissance et le développement des plantes

Les réponses des plantes à un stress abiotique sont différentes et parfois même opposées entre les stades juvéniles et adultes (Hilal *et al.*, 1998). Les sels accumulés dans le sol peuvent limiter ou complètement arrêter la croissance du végétal suite à un changement du potentiel osmotique, du déséquilibre ionique et de la toxicité ionique dans les cellules (Arbaoui *et al.*, 1999 b). Sous l'effet de la salinité, le rapport PR/PA augmente (Bayuelo *et al.*, 2002). Plusieurs espèces de plantes cultivées comme l'orge (Gouia *et al.*, 1994) et le blé (Xu, 1990), montrent un ralentissement de leur développement avec une croissance racinaire souvent moins affectée que la croissance foliaire (Guerrier, 1996). Face à un excès de sel, les plantes peuvent manifester des réactions, telles que le faible allongement des organes aériens et leurs ramifications (raccourcissement des entre nœuds) (Hamza, 1982), l'inhibition de la division et de l'expression cellulaire (Jamian *et al.*, 2014), ainsi que la réduction de la surface foliaire et par la suite la limitation des flux de carbone vers les méristèmes et les zones de croissance (Munns, 2010).

Il est généralement considéré que la diminution de croissance végétative, exprimée que ce soit par la réduction du nombre de feuilles ou bien de la surface foliaire, représente généralement la première réponse aux génotypes exposés au stress salin (Munns et Termaat, 1986). la diminution de la surface foliaire est la principale stratégie développée pour atténuer les effets de la limitation de la disponibilité de l'eau dans les conditions de stress salin chez le blé (Alem *et al.*, 2002). Un stress salin extrême conduit au nanisme et à l'inhibition de la croissance racinaire, les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir fini leur croissance et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite (Calu, 2006).

En effet, le stress salin conduit à une diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines (Chartzoulakis et Klapaki, 2000). D'un autre coté la salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principale de la réduction de la productivité végétale (Alem *et al.*, 2002).

La photosynthèse est le processus biochimique le plus important par lequel les plantes préparent leur matière alimentaire propre nécessaire à leur développement. À haute salinité, les sels peuvent s'accumuler dans l'apoplaste et déshydrater la cellule, ils peuvent s'accumuler dans le cytoplasme et inhiber les enzymes impliquées dans le métabolisme des hydrates de carbone,

ou ils peuvent s'accumuler dans les chloroplastes et exercer un effet toxique direct sur les processus photosynthétiques (Munns et Tester, 2008).

La quantité excessive de sels/ions (Na^+ et Cl^-) dans le tissu foliaire peut perturber les métabolismes cellulaires et provoquer la dégénérescence des organites cellulaires et elle peut se comporter comme agent dégradant des pigments verts (Abbas *et al.*, 2013). La salinité détruit la structure fine des chloroplastes et provoque l'instabilité des complexes protéines-pigments et par conséquent la diminution de la teneur en chlorophylle (Lapina et Popov, 1984; Reddy et Vora, 1986). Entre autre la réduction de la concentration en chlorophylle en conditions de stress salin est attribuée à l'augmentation de l'activité des enzymes catalytiques, les chlorophyllases (Kaya *et al.*, 2002), l'inhibition de la synthèse de l'acide 5-aminolévulinique, un précurseur de la chlorophylle (Santos, 2004), la destruction des enzymes photosynthétiques (Youssef et Awad, 2008), la diminution du taux d'assimilation du CO_2 important pour le fonctionnement du cycle de Calvin (Fryer *et al.*, 1998) et l'altération du PSII (Ashraf et Harris, 2004). D'un autre côté l'expansion foliaire réduite entraînant une accumulation des glucides inutilisés dans les tissus en croissance peut générer des signaux de rétroaction pour réguler la photosynthèse (Cramer et Bowman, 1991; Fricke *et al.*, 2004; Passioura et Munns 2000; Munns *et al.*, 2000).

Le stress salin modifie les traits morphologiques, physiologiques et biochimiques des plantes. Cet effet peut être lié à des perturbations de concentrations des régulateurs de croissance: (déséquilibre hormonal).

Les phytohormones sont les substances endogènes les plus importantes à la modulation des réponses physiologiques qui conduisent finalement à une adaptation à un environnement défavorable, comme c'est le cas dans la salinité (Khan et Khan, 2013). Ce sont des messagers chimiques produits dans une partie de la plante et translocalisés aux autres parties, pour réguler les réponses aux stimuli environnementaux ou aux changements de développement génétiquement programmés à une concentration extrêmement faible (Javid *et al.*, 2011; Davies, 2004). Ils jouent des rôles clés et coordonnent diverses voies de transduction du signal pendant la réponse au stress abiotique (Kazan, 2015). Ils comprennent l'auxine (IAA), les cytokinines (CK), l'acide abscisique (ABA), l'éthylène (ET), les gibbérellines (AG), l'acide salicylique (SA), les brassinostéroïdes (BR) et les jasmonates (JA). La strigolactone (SL) est une phytohormone relativement nouvelle. La Figure 15 montre les structures chimiques des phytohormones majeures.

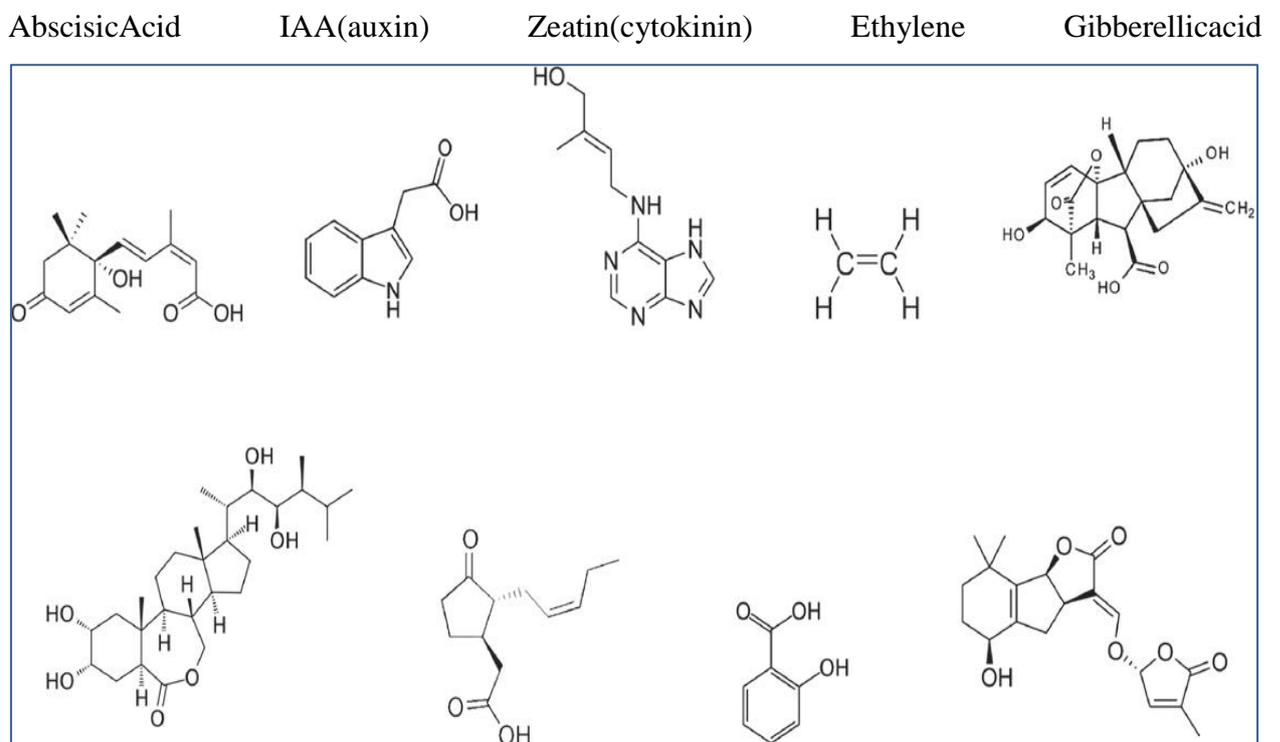
Certains phytohormones, tels que l'ABA, ont été identifiés comme hormones de stress. L'ABA joue un rôle essentiel dans le développement des végétaux: maintien de la dormance des graines, inhibition de la germination, régulation de la croissance, fermeture des stomates,

CHAPITRE II. ETUDE DU STRESS SALIN CHEZ LES PLANTES

abscission des fruits, en plus de la médiation des réponses abiotiques et biotiques du stress. Elle est souvent considérée comme l'hormone de stress car elle agit comme le principal signal interne permettant aux plantes de survivre à des conditions environnementales défavorables telles que le stress salin (Keskin *et al.*, 2010), son accumulation dans les tissus végétaux vient comme une réponse au stress osmotique provoqué par le sel (Li *et al.*, 2010).

L'effet répressif de la salinité sur la germination des graines et la croissance des végétaux pourrait être lié à une diminution des niveaux endogènes de phytohormones (Zholkevich et Pustovoytova, 1993; Jackson, 1997; Debez *et al.*, 2001). L'ABA augmente en réponse à la salinité, tandis que l'indole-3-acide acétique (IAA) et l'acide salicylique (sa) déclinent (Wang *et al.*, 2001). D'autres chercheurs ont rapporté que la salinité provoque une diminution progressive du niveau d'acide indole-3-acétique (IAA) et de cytokinines (Sakhabutdinova *et al.*, 2003).

L'exposition des plantes aux conditions limitantes de l'eau entraîne une diminution des taux de CK (Alvarez *et al.*, 2008). L'exposition des plantes de riz au stress de la salinité réduit significativement les niveaux d'IAA pendant une période d'incubation de 5 jours dans des conditions salines (Nilsen et Orcutt, 1996). Le stress salin peut influencer sur l'homéostasie des hormones en raison des altérations de leur métabolisme et de leur distribution (Schopfer *et al.*, 2002).

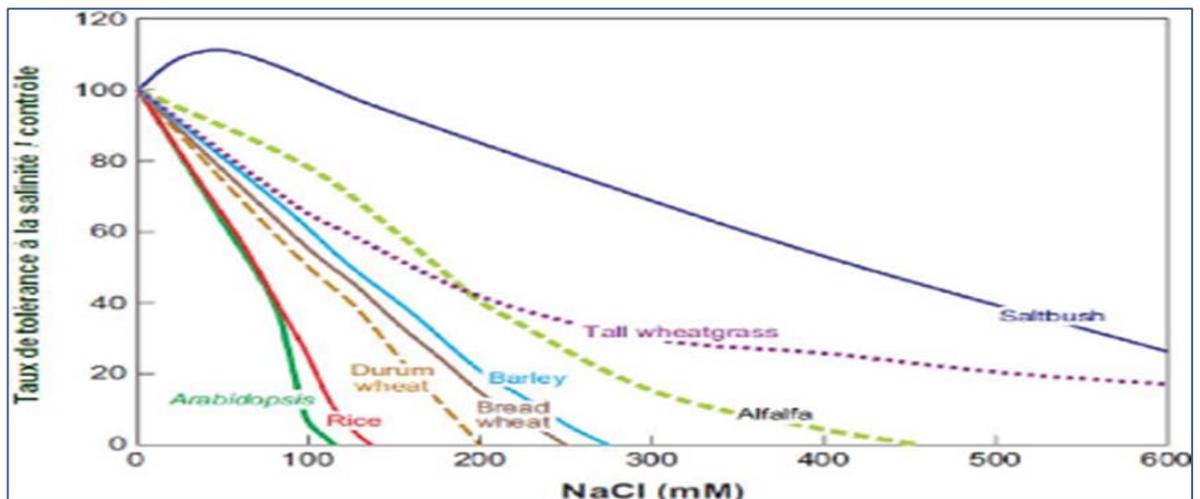


Brassinolide (brassinosteroid) Jasmonic acid Salicylic acid (+)-Strigol (strigolactone)
Figure 15. Principales classes de phytohormones impliquées dans la réponse au stress abiotique et la tolérance dans les plantes. (Shabir *et al.*, 2016).

II.1. 8. Mécanismes de tolérance des plantes à la salinité

La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité à survivre et se reproduire dans des conditions de stress salin. Selon la tolérance au sel, les plantes peuvent être groupées en 2 catégories principales:

- les halophytes qui tolèrent des concentrations relativement élevées en sel, sont des plantes capables de se développer et de croître sous un régime salin de 300 mM de NaCl et peuvent même supporter de hautes concentrations en sel (à peu près 500 mM de NaCl) (Tester et Davenport, 2003)
- Les glycophytes sont des plantes sensibles aux basses concentrations en sel. Ces plantes représentent la majorité des espèces végétales dont leur croissance est ralentie dès que la concentration des milieux externes dépasse 100 mM et devient létale à partir de 300 mM (Greenway et Munns, 1980).



Les données sont pour le riz (*Oryza sativa*), le blé dur (*Triticum turgidum* ssp *durum*), le blé (*Triticum aestivum*), l'orge (*Hordeum vulgare*), *Thinopyrum ponticum*, *Arabidopsis* (*Arabidopsis thaliana*), la luzerne (*Medicago sativa*), et *Atriplex amnicola*

Figure 16. Classification des plantes selon leur niveau de tolérance à la salinité en fonction de la concentration en sel. (Munns et Tester, 2008).

Les halophytes et les glycophytes, pour assurer leur cycle de croissance et de développement, peuvent développer une large gamme de mécanismes qui ne sont pas exclusifs l'un de l'autre, mais qui peuvent se compléter. Diverses classifications des mécanismes de tolérance au sel ont été élaborées (Zid et Grignon, 1991).

II.1. 8. 1. Inclusion

La plante de type incluser capte les ions chlorure (Cl^-) et sodium (Na^+), qui parvient aux feuilles de la même façon que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève xylémique.

A l'intérieur des cellules, le sel, en particulier l'ion sodium est alors stocké dans des compartiments fermés au sein de la cellule (les vacuoles) grâce à des systèmes de "pompes" moléculaires. Le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (Levigneron *et al.*, 1995). La séquestration vacuolaire des ions Na^+ réduit non seulement leurs concentrations dans le cytoplasme, mais contribue également à l'ajustement osmotique qui maintient l'absorption de l'eau de solution saline. D'autres organites, tels que les plastes et les mitochondries, peuvent également accumuler des ions Na^+ et contribuer ainsi à la compartimentation intracellulaire de ces ions toxiques. Certaines espèces de graminées tolérantes au NaCl, comme *Agropyron scirpeum* L. et *Aegilops searsii* L., montrent une concentration élevée en sel dans les tissus foliaires, associée à un compartimentage efficace (Cheeseman, 1988).

II.1. 8. 2. Exclusion

Les plante de type excluser sont incapables de compartimenter le Na^+ donc elles limitent son transport dans leurs organes aériens. Les sels sont très peu retenus dans les tissus photosynthétiques (feuilles), ils sont alors revéhiculés par la sève phloémique jusqu'aux racines (Levigneron *et al.*, 1995; Levitt, 1980). La capacité des géotypes à expulser le Na^+ à partir des racines dans le milieu de croissance et à maintenir un ratio K^+ / Na^+ élevé est une expression de la tolérance au sel (Yoshida, 2002; Zhu, 2002). une corrélation entre la tolérance au sel et l'aptitude à limiter le transport de Na^+ dans les feuilles existe chez le blé et les triticales : les variétés les plus résistantes sont habituellement celles qui transportent le moins de Na^+ dans leurs feuilles (Bizid *et al.*, 1988).

II.1. 8. 3. Sélectivité ionique : efficacité d'utilisation de K^+

La sélectivité de (K^+) par rapport au (Na^+), est un critère physiologique important pour caractériser la tolérance au sel de plusieurs espèces. Dans les conditions optimales, les plantes maintiennent un haut ratio cytosolique K^+/Na^+ grâce à un système d'exclusion active de sodium et un système d'absorption active de potassium pendant l'utilisation du mécanisme cellulaire " la pompe de sodium" (Snoussi *et al.*, 2005),

A l'interface racine/sol, l'excès de Na^+ peut limiter l'approvisionnement de la plante en macroéléments essentiels, tels que K^+ , du fait que les ions Na^+ sont en concurrence avec les ions K^+ . Le prélèvement de K^+ est essentiel pour la turgescence cellulaire et le déroulement des

processus biochimiques sous stress salin. Une composante de la tolérance à la salinité sera donc l'efficacité avec laquelle le K^+ est absorbé et utilisé pour les besoins métaboliques. Une grande variabilité se manifeste à cet égard au sein des espèces et des variétés, ce qui permet d'envisager une sélection pour l'efficacité nutritionnelle en présence de Na^+ . Chez le blé et l'orge, une corrélation existe entre la croissance en milieu salin, la vitesse d'absorption de K^+ et son efficacité d'utilisation (Glass et Perley, 1980; Tal, 1984).

La localisation des ions Na^+ dans les vacuoles est un mécanisme efficace pour éviter les effets toxiques de ces ions dans le cytosol, leurs transport dans les vacuoles est facilité par les cations H^+ /anti-porteurs qui sont inspirées par le gradient électrochimique des protons générés par des enzymes vacuolaires H^+ -translocation, la H^+ -ATPase et la H^+ -PPase, ces phosphatases génèrent le gradient des protons nécessaires requises pour l'activité de la Na^+/H^+ anti-porteurs., la caractérisation fonctionnelle de Na^+ /H^+ anti-porteurs vacuolaires TNHX1 et H^+ -PPase et la pompe TVP1 chez le blé a été rapporté récemment par (Brini *et al.*, 2005). Les niveaux de transcription des antiports vacuolaire H^+ -ATP ase également augmentent lors d'un stress salin (Dietz *et al.*, 2001).

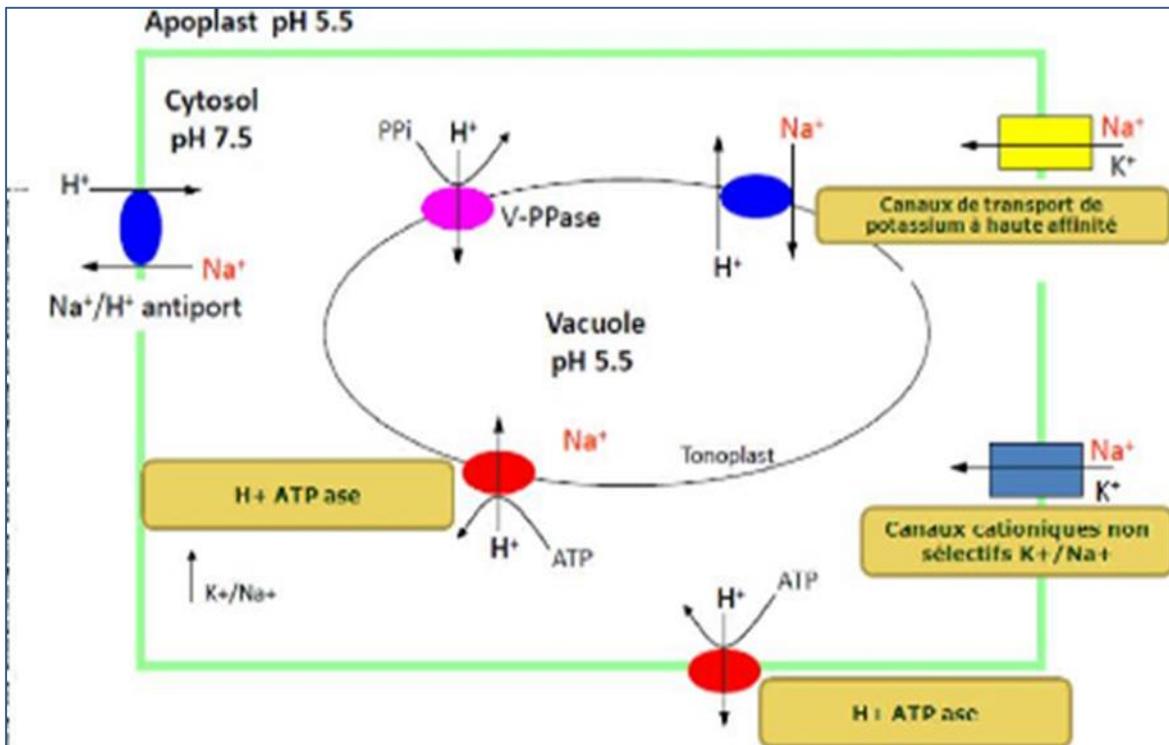


Figure 17: Compartimentation et sélection des ions chez la plante en réponse au stress salin (Mansour *et al.*, 2003).

II.1. 8. 4. Ajustement osmotique

L'ajustement osmotique est l'un des principaux mécanismes physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu. Il permet le maintien de nombreuses fonctions (Majumder *et al.*, 2010), physiologique (photosynthèse, transpiration, croissance...) et peut intervenir à tous les stades du développement du végétal (Hassani *et al.*, 2008). Sa production est due à une compartimentation d'ions toxiques loin du cytoplasme dans la vacuole et/ou à travers la synthèse et l'accumulation de composés organiques, de petite masse moléculaire nommés solutés compatibles parce qu'ils n'interfèrent pas avec les réactions normales biochimiques (Panda et Das, 2005). En plus du rôle d'osmorégulateurs, qui conduit à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence, ces derniers peuvent offrir une osmoprotection en stabilisant les macromolécules spécifiques (enzymes) (contribuer à la stabilité des structures membranaires (Bartels et Sunkar, 2005) et constituerait une source de carbone et d'azote (Sairam et Tyagi, 2004).

Les métabolites impliqués dans cet ajustement sont assez variés, parmi eux, on évoque fréquemment les sucres solubles et la proline (Monneveux, 1991). L'accumulation de ces composés varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité (Ashraf, 2002).

II.1. 8. 4. 1. Accumulation de la proline

Les teneurs en proline s'accroissent rapidement chez de nombreuses monocotylédones ou dicotylédones soumises à un stress salin (Leprince *et al.*, 2003; Silva-Ortega *et al.*, 2008; Levigneron *et al.*, 1995).

La proline s'accumule aussi bien chez les glycophytes que chez les halophytes (Nabors *et al.*, 1980) pour restaurer l'équilibre osmotique entre cytoplasme et vacuole (Roudani *et al.*, 1996). Cette augmentation de la concentration de proline cytoplasmique est consécutive d'une intensification de la transformation de l'acide glutamique en proline ou également via l'arginine et l'ornithine comme précurseurs (Lignowski et Slittstoesser, 1971; Messedi *et al.*, 2006). L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires : stimulation de sa synthèse (Bogges *et al.*, 1976), inhibition de son oxydation (Rayapati et Stewart, 1991) et/ou altération de la biosynthèse des protéines (Stewart *et al.*, 1977). Sa synthèse est une mesure adaptative prise par les plantes (Denden *et al.*, 2005) et sa teneur chez diverses espèces de plantes stressées est corrélée à leur capacité de tolérance, elle est généralement plus élevée chez les plantes tolérantes que les plantes sensibles (Ashraf et Foolad, 2007).

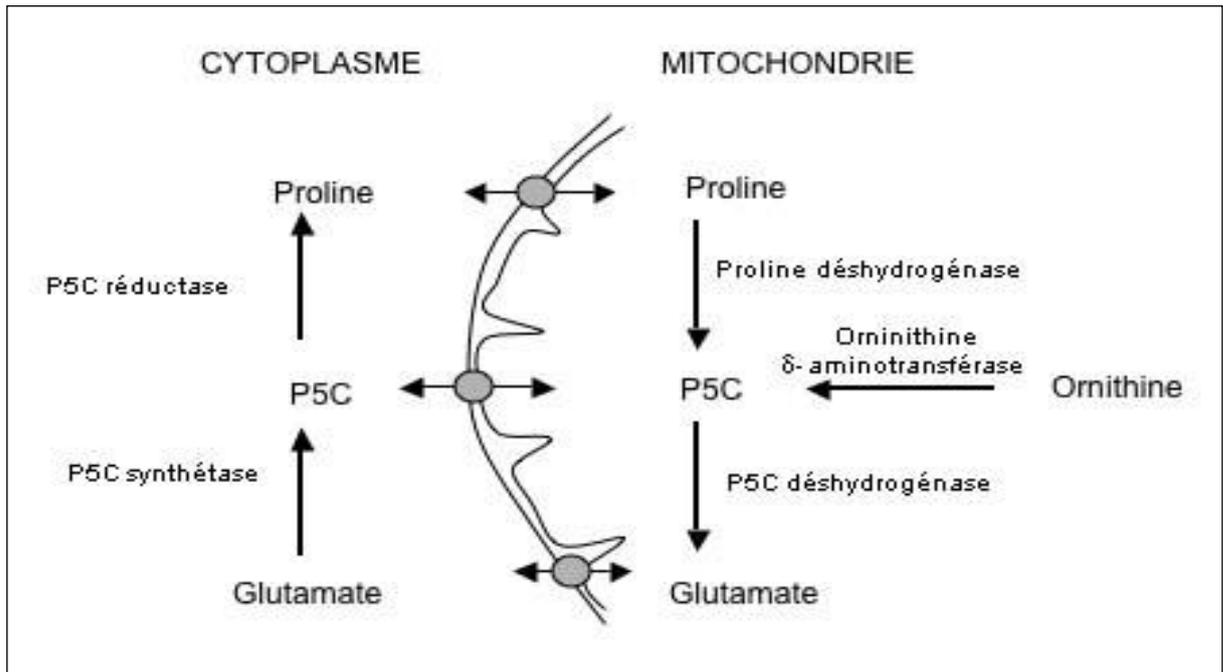


Figure 18: Métabolisme de la proline chez les plantes (Delauney *et al.*, 1993).

II. 1. 8. 4. 2. Accumulation des Sucres solubles

Comme de nombreuses autres molécules, les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour l'ajustement osmotique. Ces sucres sont abondants dans le cas de concentration fortement salins et déshydratants (Levigneron *et al.*, 1995). Ils protègent les membranes contre la déshydratation (Schwab et Gaff, 1986). L'augmentation de ces composés résultants d'un blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une forte hydrolyse de l'amidon est observée Chez diverses espèces, plus ou moins résistantes (Asloum, 1990).

II. 1. 8. 4. 3. Régulation de la croissance

Toutes les réponses physiologiques à divers stress tels que la sécheresse ou la salinité provoquent un déséquilibre hormonal endogène (Itai, 1999). La réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique (Zhu, 2001). En effet ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour limiter les effets du stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles. Pour illustrer cette tendance, dans la nature, la croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'une espèce ou variété. En plus du contrôle de la croissance par les signaux hormonaux, la réduction de la croissance résulte de la dépense de ressources dans les stratégies d'adaptation (Zhu, 2001).

***PARTIE I. ETUDE
EXPERIMENTALE***

Objectif scientifique

L'objectif de cette expérience est la correction de l'effet nocif du stress salin par la pulvérisation de quatre types de phytohormones.

. 1. Matériel végétal

L'expérimentation est menée sur des graines de blé dur *Triticum durum* Desf. var. Kebir fournies par l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) d'El Khroub - Constantine (Algérie) en 20014. Les principales caractéristiques de ce génotype sont :

- **Origine** : le Mexique.
- **Epis** : blanches et courtes avec épis noirs non Surpeuplés.
- **Nombre du grain** : 26 grain /épi.
- **Longueur de la lige** : 100 cm (creuse).
- **Maturité** : tardive par rapport aux autres variétés.
- **Rendement** : 2 à 5t /ha (moyenne).

Vue les études insuffisantes concernant ce génotype nous l'avons choisi pour réaliser ce travail.

. 2. Matériel pédologique

Le sol utilisé pour la culture est ramené d'un champ au niveau de l'Université des Frères Mentouri Constantine (Bio pole Chaabet Ersas) Nord-est Algérien.

. 3. Traitements appliqués

. 3. 1. Phytohormones

Pour cette étude, nous avons utilisé quatre hormones végétales comme activateurs de croissance à trois niveaux (10, 20 et 30 p.p.m.) pour chacune.

- **Les Auxines** : l'Indole Acétique Acide (IAA) et l'Indole Butyrique Acide (IBA).
- **Les Cytokinines** : la kinétine (Kn) et la Benzyle-Amino-Purine (BAP).

Ces hormones ont été pulvérisées sur la partie végétative tôt (le matin) pour éviter l'évaporation. Les trois concentrations sont obtenues par dissolution de 10, 20 et 30 mg de chaque hormone dans 1 ml d'éthanol puis réajustement des volumes jusqu'au 1000 ml d'eau distillée. Après avoir la solubilité totale de l'hormone, les solutions hormonales sont conservées dans des flacons en verre opaque (pour éviter leur oxydation par la lumière) à un endroit relativement frais (Parce que c'est le milieu approprié pour la croissance de certains microorganismes).

. 3. 2.Solutions salines

Les solutions salines sont obtenues par dissolution de 10000 et 15000 mg de NaCl dans un litre d'eau.

. 4. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est de type factoriel à deux facteurs.

- Le premier facteur représente le traitement salin à trois niveaux (0, 10000 et 15000 mg/l NaCl)
- Le 2^{ème} facteur représente le traitement par quatre phytohormones (acide indole-3-acétique (IAA), Indole Biutirique Acide (IBA), kinétine (K) et la Benzyle-Amino-Purine (BAP)) avec trois niveaux pour chaque hormone (10, 20 et 30 p.p.m.),

Pour chaque traitement le nombre de répétition est de trois pots. Chaque répétition (pot) comporte 12 plants. Le nombre d'unités expérimentales (pots) est calculé comme suit :

((Niveaux de sels x hormones x niveaux d'hormone) + Témoins) x répétitions=117 unités (pots)

$$((3 \times 4 \times 3) + 3) \times 3 = 117$$

Tableau IV. Distribution des traitements et des niveaux

H	BAP			IAA			IBA			Kn			T
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	0
NH													
	SEL												
S0	BAP	BAP	BAP	IAA	IAA	IAA	IBA	IBA	IBA	Kn	Kn	Kn	T
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	0
	S0	S0	S0	S0	S0								
	BAP	BAP	BAP	IAA	IAA	IAA	IBA	IBA	IBA	Kn	Kn	Kn	T
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	0
	S0	S0	S0	S0	S0								
	BAP	BAP	BAP	IAA	IAA	IAA	IBA	IBA	IBA	Kn	Kn	Kn	T
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	0
	S0	S0	S0	S0	S0								
S1	BAP	BAP	BAP	IAA	IAA	IAA	IBA	IBA	IBA	Kn	Kn	Kn	T
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	0
	S1	S1	S1	S1	S1								
	BAP	BAP	BAP	IAA	IAA	IAA	IBA	IBA	IBA	Kn	Kn	Kn	T
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	0
	S1	S1	S1	S1	S1								
	BAP	BAP	BAP	IAA	IAA	IAA	IBA	IBA	IBA	Kn	Kn	Kn	T
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	0
	S1	S1	S1	S1	S1								
S2	BAP	BAP	BAP	IAA	IAA	IAA	IBA	IBA	IBA	Kn	Kn	Kn	T
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	0
	S2	S2	S2	S2	S2								
	BAP	BAP	BAP	IAA	IAA	IAA	IBA	IBA	IBA	Kn	Kn	Kn	T
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	0
	S2	S2	S2	S2	S2								
	BAP	BAP	BAP	IAA	IAA	IAA	IBA	IBA	IBA	Kn	Kn	Kn	T
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	0
	S2	S2	S2	S2	S2								

- **IAA:** acide indole-3-acétique
- **IBA:** Indole Biutirique Acide
- **Kn:**kinétine
- **BAP:**Benzyle-Amino-Purine
- **NH:** niveaux d'hormones
- **H;** hormones
- **T:** Plants stressés non traités par les hormones
- **S0:**0 mg/l sel (NaCl)
- **S1:** 10000 mg/l sel (NaCl)
- **S2:**15000 mg/l sel (NaCl)

. 5. Conduite de la culture

Après désinfection par l'hypochlorite de sodium (0,5%) pendant 15 mn, les graines du blé dur sont rincées abondamment à l'eau distillée, puis mises à germer dans des boîtes de Pétri sur papier filtre imbibé d'eau distillée (20 graines par boîte). Les boîtes sont placées à l'obscurité dans un germoir où la température était fixée à 20°C. Suite à l'émergence de la radicule, il est procédé à un repiquage dans des pots en plastique contenant environ 2 kg de sol culturale homogène argileuse, avec un pourcentage important de matière organique, pH neutre jusqu'à alcalin léger et non salin par une moyenne de 16 plantules / pot cultivées au fin de novembre. Les pots sont soumis dans la serre à une température entre (17- 40°C) et une humidité relative estimée entre (65-90%). L'irrigation s'effectue chaque deux jour par l'eau du robinet (100 ml).

*A partir de la troisième semaine et après avoir sélectionné 12 plants par pot pour éviter le phénomène de compétition et mieux cerner l'effet des différents traitements sur les paramètres étudiés, l'irrigation est effectuée par les différentes solutions salines

*Après 15 jours de traitement de salinité (6^{ème} semaine) et dès le début du stade tallage, on applique le traitement hormonal par pulvérisation de la partie végétative,

*Une semaine après (7^{ème} semaine), les paramètres suivants sont mesurés: Surface foliaire, teneur des feuilles en proline, teneur des feuilles en sucre solubles, chlorophylle A, chlorophylle B et caroténoïdes.

*Deux semaines plus tard (9^{ème} semaine), et dès le début du stade montaison, ces plants sont pulvérisés pour une deuxième fois par les mêmes solutions hormonales.

*Après 17 semaines dès le semis, les mêmes paramètres sont mesurés une deuxième fois. Sachant que les plantes témoins ont été pulvérisées avec de l'eau distillée pour la première et la deuxième application du traitement hormonal (Bill, 2007).

Afin de connaître les caractéristiques physico-chimiques du sol utilisé pour la culture en pot, on a également analysé la Granulométrie, Matière Organique, pH et Conductivité Electrique de l'extrait de ce dernier.

. 6. Paramètres étudiés

. 6. 1. Analyses du Sol

Après le séchage du sol à l'air libre puis broyé à l'aide d'un mortier pour fractionner les agrégats et en fin tamisé à 2 mm pour séparer la terre fine de taille < à 2 mm (Sable grossier, Sable fin, Argiles et Limons) de la terre grossière (graviers 2 à 5 mm et de cailloux > 5 mm).

L'analyse des paramètres pédologiques au laboratoire s'effectue seulement sur la fraction de terre fine du sol (éléments de taille < à 2mm):

- Mesure de la Conductivité Electrique dans l'extrait 1/5 ;
- Détermination du pH ;
- Détermination des fractions granulométriques : sable grossier, sable moyen et éléments fins.

. 6. 1. 1. Analyse Granulométrique

L'analyse granulométrique du sol est une analyse qui permet la classification des éléments du sol d'après leur grosseur et la détermination du % de chaque fonction. Elle s'effectue seulement sur la fraction de terre fine du sol (éléments de taille < à 2 mm). Les éléments grossiers (graviers 2 à 5 mm et de cailloux > 5 mm) n'entrent pas dans la composition granulométrique d'un sol cultivé.

La détermination du pourcentage d'argile et de limon se fait en se basant sur le principe de sédimentation selon la loi de Stokes à l'aide de la pipette de Robinson (Pansu et *al.*, 1998). Les proportions de sable sont déterminées par tamisage.

L'analyse est réalisée sur 20 g de terre fine. Après libération des particules les unes des autres par destruction des ciments organiques et minéraux, leurs séparation est faite par sédimentation selon la loi de Stocke pour l'argile et le limon fin. Les prélèvements de ces constituants sont faits par la pipette de Robinson.

$$\% \text{ argile} = A / V \times 1000 \times 100 / p$$

$$\% \text{ limon fin} = B / V \times 1000 \times 100 / p$$

$$\% \text{ Sable} = C / p \times 100$$

Avec :

* **A**: poids net de l'argile prélevée dans le volume V de la pipette de Robinson

* **B**: poids net du limon fin prélevé dans le volume V de la pipette de Robinson

* **p**: 20 g du sol

* **C**: poids du sable refus du tamis.

La texture du sol est classée selon les éléments dominants.

. 6. 1. 2. Le pH

Le pH est un mode d'expression de la concentration en ions hydrogène dans un apport terre fine/eau. La valeur souhaitable est située entre 6,5 et 7,5 pour la majorité des sols et cultures (Dinon E. et Gerstmans, 2008). Pour 20g de sol sec tamisés à 2mm, nous avons ajouté 50 ml d'eau distillée dans un bécher de 100 ml. Après agitation, nous avons laissé la solution en contact pendant 2 heures. Ensuite, nous avons déterminé le pH à l'aide d'un pH-mètre à électrodes. Les valeurs sont comparées aux normes d'une échelle pH des sols pour l'extrait 1/2,5 (DIAEA /DRHA /SEEN, 2008).

. 6. 1. 3. Mesure de la Conductivité Electrique

La Conductivité Electrique est déterminée à partir de l'extrait du sol dilué au 1/5 dans l'eau distillée. Pour la préparation de l'extrait, on a pesé 5g du sol tamisé et on a ajouté 25 ml d'eau distillée. Après agitation (30mn) et décantation, la CE de l'extrait a été mesurée à l'aide d'un conductimètre. Les résultats exprimés en déci siemens par mètre (dS/m) ou en millimes par centimètre (mS/cm) (USSSL, 1954) sont comparés aux normes de classification des sols d'après leur Conductivité Electrique (DIAEA /DRHA /SEEN, 2008).

. 6. 1. 4. Matière Organique (Carbone Organique)

La décomposition de la matière organique fournit au sol les éléments nutritifs nécessaires à l'activité microbienne et à la croissance des plantes (Arfang, 2011). est évaluée selon la méthode Walkey et Black, Le carbone organique est oxydé par du Bichromate de Potassium ($K_2Cr_2O_7$) en milieu sulfurique. La quantité réduite est proportionnelle à la teneur en Carbone Organique. L'excès de Bichromate de Potassium est titré par une solution réductrice, sel de MOHR (SO_4Fe , $SO_4(NH_4)_2$, $6H_2O$ à 0,5N), en présence de Diphénylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert (Walkley et Black, 1934). La matière organique est déduite par de formule suivante :

$$A : C\% = (a-b) \times 0,615 \text{ mg} \times (100/20) \times (100/P) \times (1/1000)$$

***a** : la quantité de sel de Mohr utilisée pour titrer le témoin

***b** : la quantité de sel de Mohr utilisée pour l'échantillon à doser

* **0,615** : facteur d'équivalence entre le sel de Mohr et le carbone (en mg)

* **100 / 20** : 20 ml est utilisée à partir de 100 ml

* **P** : poids du sol (1g)

* **1/1000** : facteur de la conversion

$$B: MO \% = C\% \times 1,72 .$$

* **MO** : Matière Organique

* **C** : Carbone Organique

Les résultats obtenus sont comparés aux normes de classification des sols d'après leur teneur en matière organique (DIAEA/DRHA /SEEN,2008).

. 6. 2. Paramètre Morpho-Physiologique de la plantes

. 6. 2. 1. Surface Foliaire (cm²)

La mesure de la surface foliaire, qui est un indice nécessaire pour la détermination de la croissance est réalisée selon la méthode de (Paul et *al.*, 1979). Cette dernière consiste à reproduire la surface d'une feuille sur du papier calque. Ainsi, la surface de la feuille est estimée à partir du poids de la feuille en papier par rapport au poids d'une surface de 1 cm² du même papier. La surface foliaire est calculée suivant la formule :

$$\text{SF (cm}^2\text{)} = \text{PF. SP (1cm}^2\text{)} / \text{PP (1cm}^2\text{)}$$

***SF**: surface foliaires

***PF**: poids de la feuille

***SP**: surface papier (1cm²)

***PP**: poids du papier.

. 6. 2. 2. Teneur en Proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par Troll et Lindsley, (1955) simplifiée et mise au point par Dreir et Goring, (1974) et modifiée par Monneveux et Nemmar (1986). Le principe de cette technique est la quantification de la réaction Proline-Ninhydrine par mesure spectrophotométrie.

La proline se couple avec la Ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon. 100 mg de matière fraîche foliaire sont prélevés de chaque répétition et mis dans des tubes à essais auxquels on a ajouté 2 ml de Méthanol à 40%. Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'Alcool) sont portés à l'ébullition au bain-marie à 85 °C pendant 60 min. Après refroidissement, 1 ml de l'extrait est prélevé de chaque tube et mis dans de nouveaux tubes auxquels, nous avons ajouté 1 ml d'Acide Acétique. Ensuite, nous avons ajouté, dans chaque tube, 1 ml de mélange contenant 120 ml d'Eau Distillée, 300 ml d'Acide Acétique, 80 ml d'Acide Ortho phosphorique (H₃PO₄, Densité 1,7) et 25 mg de Ninhydrine.

Le mélange est porté à l'ébullition durant 30 min. La solution vire vers le rouge. Après refroidissement des solutions, le chromatophore est extrait avec 5 ml de toluène.

Deux phases se séparent après agitation au vortex. On prélève la phase supérieure contenant le chromatophore à la qu'elle on ajoute 5 mg du Sulfate de Sodium Oxydé Na₂SO₄ à l'aide d'une spatule pour éliminer l'eau qu'elle contient.

La lecture de la densité optique des échantillons est faite à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 528 nm, correspondant à son maximum d'absorption.

La teneur en proline est calculée par l'équation :

$$Y = Do. 0,62\mu\text{g} / \text{g MF}$$

***Do**: Densité optique

***MF**: matière fraîche

. 6. 2. 3. Teneur en Sucres Solubles

Les sucres solubles totaux sont dosés par la méthode de Dubois et *al.*, (1956). Elle consiste à prendre 100 mg de matériel végétal, dans des tubes à essai, et ajouter 3 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres, puis à laisser à une température ambiante pendant 48 heures. Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube on a ajouté 20 ml d'eau distillée à l'extrait (solution à analyser).

Dans des tubes en verre propres, nous avons mis 2 ml de la solution à analyser et 1 ml de phénol à 5 % (le phénol est dilué dans de l'eau distillée) puis rapidement 5 ml d'acide sulfurique concentré 96% ($d = 1,86$) tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. Une solution jaune orange est obtenue à la surface, nous l'avons passé au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. Les tubes sont laissés pendant 10 mn, ils sont ensuite placés au bain-marie pour 10 à 20 mn à une température de 30°C. La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures. La lecture de la densité optique des échantillons est faite à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 490 nm. Les teneurs en sucres solubles sont calculés par l'équation:

$$Y = Do. 1,657\text{mg/g MF}.$$

. 6. 2. 4. Teneur en Chlorophylle (A, B) et Caroténoïdes.

Les concentrations de la Chlorophylle (A, B) et Caroténoïdes de la feuille est mesurée selon la méthode de (Vernon et Seenly, 1966) avec une modification par (Hegazi et *al.*, 1998) .

Pour 50 mg d'échantillon frais, nous rajoutons 20 ml d'une solution préparée à partir 75% d'éthanol et de 25% d'acétone. L'ensemble est conservé à l'obscurité à 4°C pendant 48h. La densité optique est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre (type UV-visible JENWAY 6300) aux longueurs d'onde 665, 649 et 480 nm. Les concentrations de Chlorophylle (A, B) et les caroténoïdes exprimées en mg / g MF, sont données par les formules suivantes (Touchard, 2006).

***Chlorophylle A** = $(13, 7. DO_{665}) - (5, 76. DO_{649})$

***Chlorophylle B** = $(25, 8. DO_{649}) - (7, 60. DO_{665})$

***Caroténoïdes** = $(100. DO_{480}) - (1, 82. ChlA - 85, 02 .ChB) / 198.$

***Do** : Densité Optique

***Chl A** : Concentration en Chlorophylle A.

***Chl B** : Concentration en Chlorophylle B.

. 7. Etude Statistique

Nos paramètres étudiés sont soumis à un test statistique effectué par l'analyse de la variance à deux facteurs. Ceci est suivi d'une comparaison de Newman-Keulsmeans (NSK) avec un seuil de confiance de 95% et une Analyse multi variée en composantes principales (ACP) à l'aide du logiciel Excel Stat. version 2016.

IV. 1. RÉSULTATS

IV. 1. 1. Analyses Physico-chimiques du Sol

Les différents résultats de l'analyse physico-chimique du sol (Texture, Matière Organique, pH et Conductivité Electrique).sont illustrés dans le tableau V.

Tableau V. Analyse des paramètres Physico-chimiques du Sol (Texture, Matière Organique, pH et Conductivité Electrique).

Sable Grossier	Sable Fin	Limon	Argile	Texture du Sol
7,37 %	5,33%	20%	67%.	Argileuse
Matière Organique		CE25°C MS/CM		pH
2,38%		1,38		7,8

IV. 1. 1. 1. Analyse Granulométrique

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer quantitativement la distribution des particules de sol par classes de diamètres. Elle permet d'évaluer la stabilité structurale du sol, d'après la proportion existante entre Sable grossier, Sable fin, Argiles et Limons. La distribution de la taille des particules du sol a un effet sur plusieurs propriétés du sol telles que la conductivité capillaire du sol, l'humidité disponible, la perméabilité, le tassement, etc

Les résultats analytiques, montrent que le sol est caractérisé par une homogénéité morphologique de texture Argileuse avec un pourcentage d'Argile dominant de 65 % (Tableau V),

IV. 1. 1. 2. pH

Le pH est un paramètre qui joue un rôle très important pour la dynamique du sol, Il est indicateur de l'acidité ou de l'alcalinité d'un sol et l'un des facteurs qui influe directement sur l'absorption des éléments nutritifs par la plante.

Les résultats de l'analyse du pH montrent que le sol étudié a un pH neutre jusqu'à alcalin léger. Il est de 7,8 (Tableau V).

IV. 1. 1. 3. Conductivité Electrique

La Conductivité Electrique est une mesure qui renseigne d'une manière globale sur la concentration possible en sels solubles présent dans le sol et permet également de déterminer le

degré de la salinité du sol. D'après nos résultats, la valeur enregistrée est égale à 1,38 MS/cm (Tableau V) ce qui indique que le sol étudié est non salins.

IV. 1. 1. 4. Matière Organique (Carbone Organique)

La matière organique du sol est constituée par l'ensemble des composés carbonés d'origine animale ou végétale. Elle comprend une fraction inerte (résidus végétaux et animaux) et une fraction vivante constituée par les organismes vivants du sol.

Les résultats de notre étude montrent que le sol analysé contient un pourcentage important de matière organique. Il est de l'ordre de 2,38% (Tableau V).

IV. 1. 2. Paramètres Morpho-Physiologiques des plants

IV. 1. 2. 1. Effet du stress salin sur les paramètres morpho-physiologiques au stade tallage et montaison

IV. 1. 2. 1. 1. Surface Foliaire (Cm²)

IV. 1. 2. 1. 1. 1. Surface Foliaire (Cm²) au stade tallage

La surface foliaire des plants testés uniquement par le sel (non pulvérisés) a diminué considérablement avec l'augmentation de la concentration du sel pour le stade tallage. Les résultats de l'analyse de la variance montrent une différence très hautement significative entre les trois traitements de sel $p < 0,000$. Le test de Newman-Keuls (SNK) test à $P = 0,05$ fait ressortir trois groupes homogènes (a, b et c), le groupe (c) est représenté par les valeurs de la surface foliaire les plus élevées des plants non stressés (milieu 0 mg/l NaCl) avec des moyennes de 13,92 Cm². Tandis que les groupes (b et a) sont représentés par les valeurs de la surface foliaire les plus basses chez les plants stressés (milieux, 10000 et 15000 mg/l NaCl) avec des moyennes de 12, 23 et 4,90 Cm² respectivement (Tableau VI et Figures 19).

IV. 1. 2. 1. 1. 2. Surface Foliaire (Cm²) au stade montaison

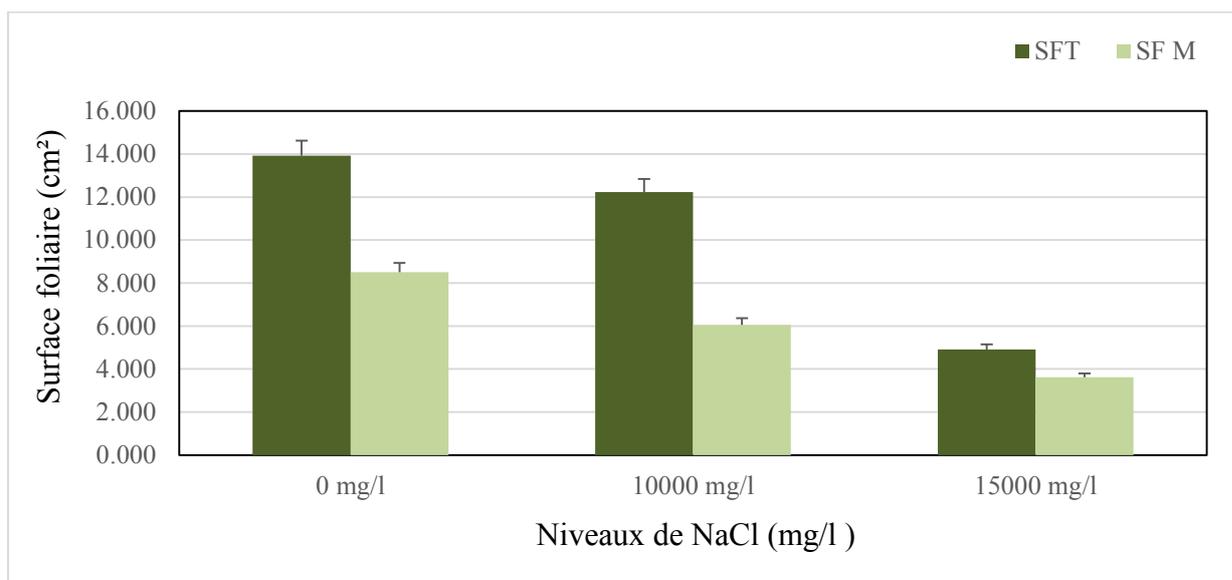
L'analyse de la variance montrent une différence très hautement significative entre les trois traitements de sel $p < 0,000$. Le test de Newman-Keuls (SNK) test à $P = 0,05$ fait ressortir trois groupes homogènes (a, b et c) dont les valeurs de la surface foliaire les plus basses représentent le groupe homogène (a et b) avec des moyennes de 3,61 et 6,06 Cm² pour les niveaux de stress 15000 et 10000 mg/l respectivement. Cependant, le groupe (c) est représenté par les valeurs les plus élevées avec des moyennes de 8,50 Cm² pour le niveau 0 mg/l NaCl. Les valeurs de la surface foliaire des plants au stade montaison pour les trois niveaux de stress demeurent plus réduites que celles des plants au stade tallage (Tableau VI et Figures 19).

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tableau VI: Test de signification de Newman-Keuls (SNK) de la Surface Foliaire au stade tallage (SFT) et stade montaison (SFM) des plants soumis aux différents niveaux de salinité au seuil de signification à $P = 0,05$

Niveaux de NaCl	SFT	SF M
0 mg/l	13.92 c	8.50 c
10000 mg/l	12.23 b	6.06 b
15000 mg/l	4.90 a	3.61 a
Pr > F	0.000	0.000
Significatif	Oui	Oui

Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes.



La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 19. Effet des différents niveaux de salinité (0, 10000 et 15000 mg/l NaCl) sur la Surface Foliaire au stade tallage (SFT) et stade montaison (SFM).

IV. 1. 2. 1. 2. Teneur en Chlorophylle (A, B) et Caroténoïdes.

IV. 1. 2. 1. 2. 1. Teneur en Chlorophylle A au stade tallage

L'examen des résultats de l'effet du NaCl sur la teneur en chlorophylle A, montre que la différence entre les trois traitements salins demeure non significative $p < 0,050$. Le test de Newman-Keuls au seuil de 5% a donné un seul groupe homogène (a) représenté par les moyennes 0,08, 0,11 et 0,06 mg/g MF enregistrées chez les plants cultivés dans les milieux 0, 10000 et 15000 mg/l NaCl respectivement (Tableau VII et la Figure 20).

IV. 1. 2. 1. 2. 2. Teneur en Chlorophylle A au stade montaison

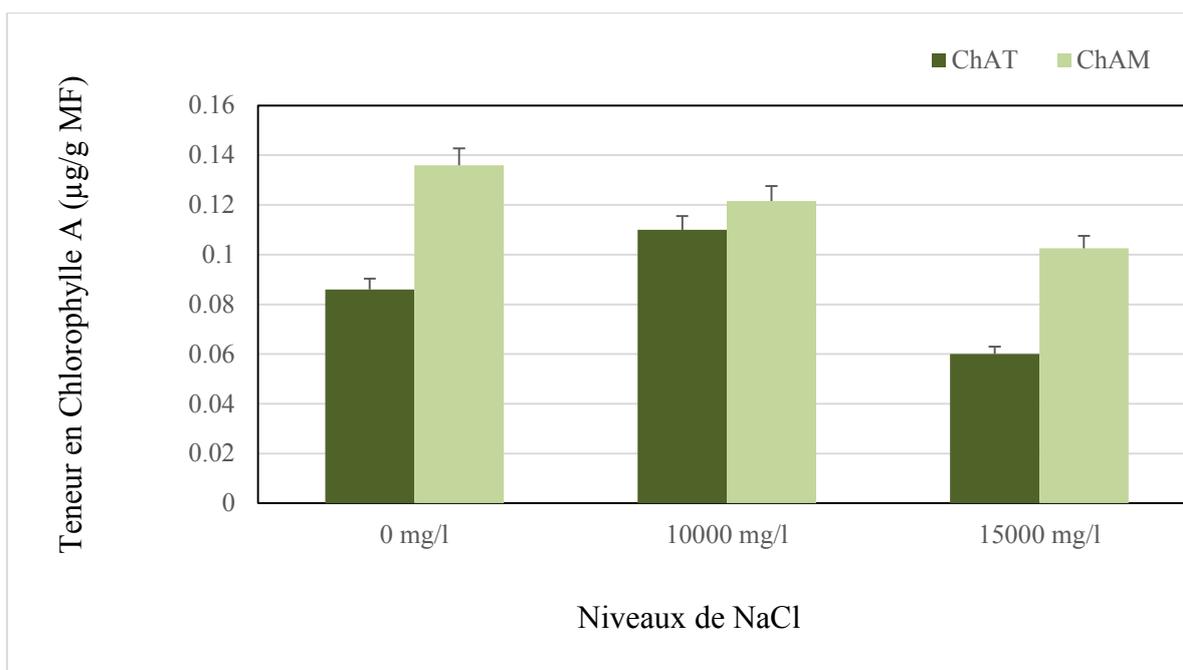
Les moyennes des résultats obtenus révèlent l'existence d'un effet très hautement significatif ($p < 0,000$) entre les traitements salins.

Selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%, les moyennes sont réparties en deux groupes homogènes dont les plus élevées 0,13 et 0,12 mg/g MF représentent le groupe (b) pour les milieux 0 et 10000 mg/l NaCl respectivement. Les moyennes les plus basses 0,10 mg/g MF représentent le groupe (a) pour le milieu salin 15000 mg/l NaCl (Tableau VII et Figure 20).

Tableau VII: Test de signification de Newman-Keuls (SNK) de la teneur en Chlorophylle A (mg/g MF) au stade tallage (ChAT) et stade montaison (ChAM) des plants soumis aux différents niveaux de salinité au seuil de signification à $P = 0,05$.

Niveaux de NaCl	ChAT	ChAM
0 mg/l	0.08 a	0,13 b
10000 mg/l	0.11 a	0,12 b
15000 mg/l	0.06 a	0,10 a
Pr > F	0.050	0.000
Significatif	Non	Oui

Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes.



La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 20. Effet des différents niveaux de salinité (0, 1000 et 15000 mg/l NaCl) sur la teneur en Chlorophylle A (mg/g MF) au stade tallage (ChAT) et stade montaison (ChAM).

IV. 1. 2. 1. 2. 3. Teneur en Chlorophylle B au stade tallage

Les résultats de l'analyse de la variance obtenus, montrent que le traitement salin a exercé un effet très hautement significatif ($p < 0.000$) sur le contenu de la chlorophylle B pour le stade tallage. Le test de Newman-Keuls au seuil de 5% fait ressortir trois groupes homogènes (a, b et c) dont les moyennes maximales 0,29 mg/g MF pour les plants non stressés (milieu 0 mg/l NaCl) représentent le groupe (c) par contre les moyennes les plus faibles 0,26 mg/g MF, représentent le groupe (a) chez les plants cultivés dans le milieu salin le plus élevé (15000 mg/l NaCl) (le Tableau VIII et Figure 21).

IV. 1. 2. 1. 2. 4. Teneur en Chlorophylle B au stade montaison

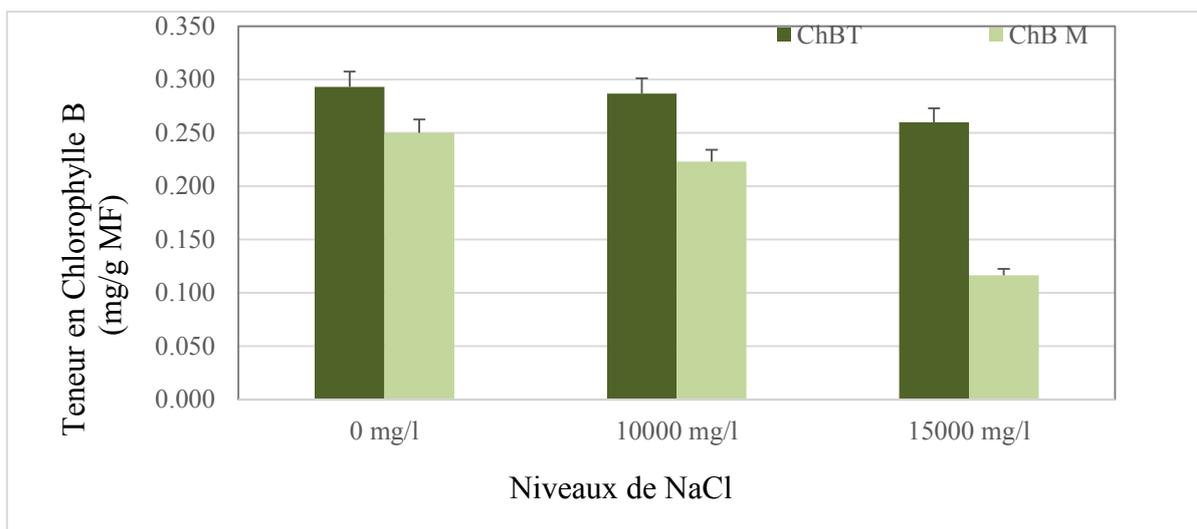
Les résultats de l'effet de sel sur la teneur en Chlorophylle B au stade montaison indiquent l'existence d'une différence très hautement significative ($p < 0.000$) entre les traitements salins 15000, 10000 et 0 mg/l NaCl. Selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%, le groupe (a) est représenté par les moyennes les plus réduites 0,11 mg/g MF chez les plants du milieu 15000 mg/g NaCl, alors que les moyennes les plus élevés 0,25 mg/g MF sont enregistrées pour les plants non stressés (milieu 0 mg/l NaCl) (Tableau VIII et Figure 21).

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tableau VIII: Test de signification de Newman-Keuls (SNK) de la teneur en Chlorophylle B (mg/g MF) au stade tallage (ChBT) et stade montaison (ChBM) des plants soumis aux différents niveaux de salinité au seuil de signification à P = 0,05.

Niveaux de NaCl	ChBT	ChB M
0 mg/l	0.29 c	0,25 b
10000 mg/l	0.28 b	0,22b
15000 mg/l	0.26 a	0,11 a
Pr > F	0.000	0.000
Significatif	Oui	Oui

Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes.



La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 21. Effet des différents niveaux de salinité (0, 1000 et 15000 mg/l NaCl) sur la teneur en Chlorophylle B (mg/g MF) au stade tallage (ChBT) et stade montaison (ChBM).

IV. 1. 2. 1. 2. 5. Teneur en Caroténoïdes au stade tallage

D'après les résultats de l'analyse de la variance, le stress salin a provoqué une diminution très hautement significative $p < 0.0001$ de la teneur en caroténoïdes au stade tallage. Le test de Newman-Keuls (SNK) test à P = 0,05 dégage trois groupes homogènes (a, b et c) dont les valeurs les plus faibles 0,26 mg/g MF représentent le groupe (a) pour le milieu salin 15000 mg/l NaCl), tandis que les moyennes les plus élevés 0,40 mg/g MF représentent le groupe (c) pour les plants du milieu 0 mg/l NaCl (Tableau IX et Figure 22).

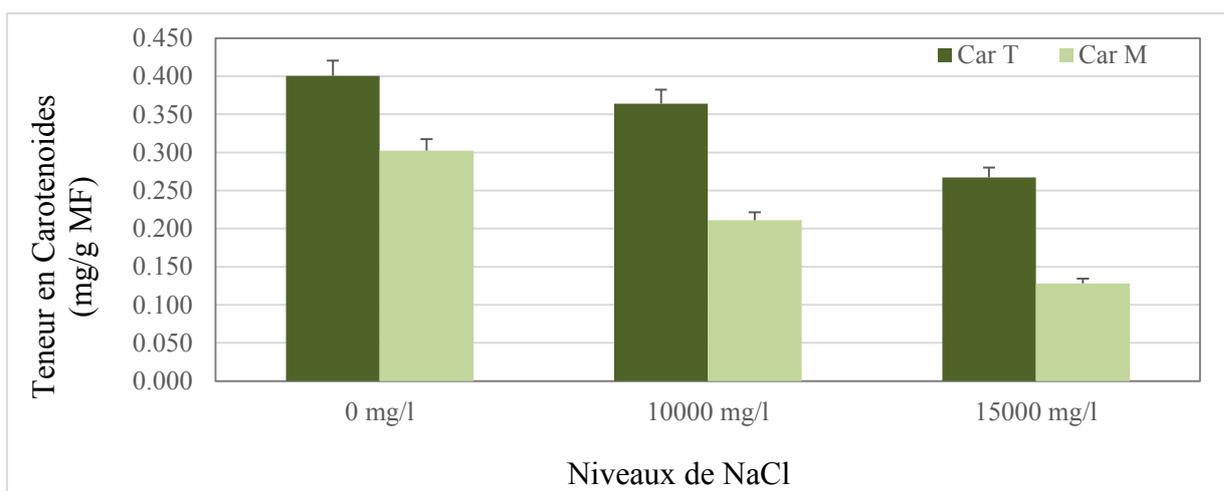
IV. 1. 2. 1. 2. 6. Teneur en Caroténoïdes au stade montaison

Pour le stade montaison, l'analyse de la variance montre que le stress salin a provoqué une diminution hautement significative $p < 0.03$ de la teneur en caroténoïdes. Le test de Newman-Keuls (SNK) test à $P = 0,05$ fait ressortir trois groupes homogènes (a, ab et b). Le groupe (a) représente les moyennes des teneurs les plus faibles 0,12 mg/g MF du milieu salin 15000 mg/l NaCl et le groupe (b) pour les valeurs les plus élevées 0,30 mg/g MF du milieu 0 mg/l NaCl (Tableau IX et Figure 22).

Tableau IX: Test de signification de Newman-Keuls (SNK) de la teneur en Caroténoïdes (mg/g MF) au stade tallage (CaT) et stade montaison (CaM) des plants soumis aux différents niveaux de salinité au seuil de signification à $P = 0,05$.

Niveaux de NaCl	Car T	Car M
0 mg/l	0,40 c	0,30 b
10000 mg/l	0,36 b	0,21 ab
15000 mg/l	0,26 a	0,12 a
Pr > F	0.000	0.035
Significatif	Oui	Oui

Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes.



La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 22. Effet des différents niveaux de salinité (0, 10000 et 15000 mg/l NaCl) sur la teneur en Caroténoïdes (mg/g MF) au stade tallage (CarT) et stade montaison (CarM).

IV. 1. 2. 1. 3. Effet du stress salin sur la teneur en Proline

IV. 1. 2. 1. 3. 1. Teneur en Proline au stade tallage

D'après les résultats statistiques obtenus de l'effet de sel sur la teneur en Proline, les deux niveaux salins (10000 mg/l et 15000 mg/l NaCl) ont exercé un effet très hautement significatif ($P < 0,000$) sur ce paramètre pour le stade de tallage. Le test de Newman-Keuls (SNK) test à $P = 0,05$ donne trois groupes homogènes (a, b et c) dont les moyennes les plus élevées 1035,00 $\mu\text{g/g}$ MF enregistrées dans le milieu 15000 mg/l NaCl représentent le groupe (c) tandis que les teneurs les plus faibles 59,84 $\mu\text{g/g}$ MF qui forment le groupe (a) sont notées pour les plants non stressés (Tableau X et Figure 23).

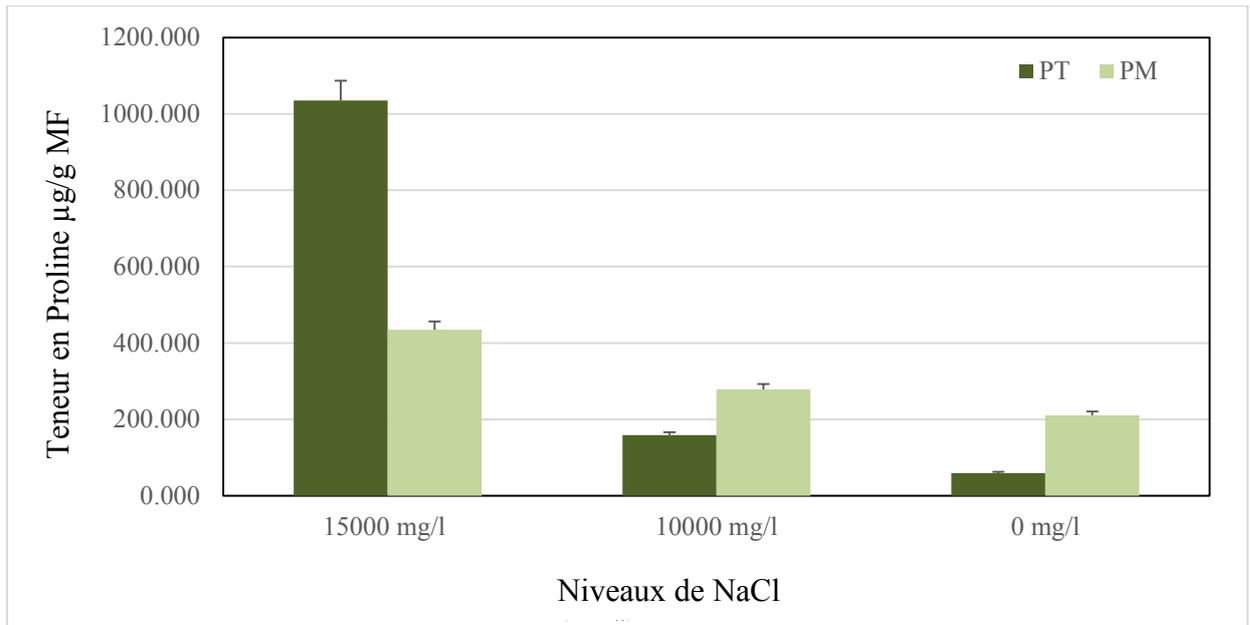
IV. 1. 2. 1. 3. 1. Teneur en Proline au stade montaison

Pour le stade montaison, l'analyse de la variance indique une différence très hautement significative ($P < 0,000$) entre les trois traitements. Le test de Newman-Keuls (SNK) test à $P = 0,05$ fait ressortir trois groupes homogènes (a, b et c) dont les moyennes les plus élevées 435,00 $\mu\text{g/g}$ MF enregistrées dans le milieu 15000 mg/l NaCl représentent le groupe (c). Les moyennes les plus faibles de la teneur en proline sont marquées chez les plants non stressés du milieu 0 mg/l NaCl, Elles sont représentées par le groupe (a) (Tableau X et Figure 23).

Tableau X: Test de signification de Newman-Keuls (SNK) de la teneur en Proline ($\mu\text{g/g}$ MF) au stade tallage (PT) et stade montaison (PM) des plants soumis aux différents niveaux de salinité au seuil de signification à $P = 0,05$.

Niveaux de NaCl	PT	PM
15000 mg/l	1035,000 c	435,00 c
10000 mg/l	159,00 b	279,00 b
0 mg/l	59,84 a	210,50 a
Pr > F	0.000	0.000
Significatif	Oui	Oui

Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes.



La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 23. Effet des différents niveaux de salinité (0, 10000 et 15000 mg/l NaCl) sur la teneur en Proline (µg/g MF) au stade tallage (PT) et stade montaison (PM).

IV. 1. 2. 1. 4. Effet du stress salin sur la teneur en Sucres solubles

IV. 1. 2. 1. 4. 1. Teneur en Sucres solubles au stade tallage

Pour ce paramètre, le sel n'a exercé aucun effet ($P < 0,051$) au stade tallage. En effet, le test de Newman-Keuls (SNK) test à $P = 0,05$ a dégagé un seul groupe homogène (a) pour les deux traitements salins et le milieu 0 mg/l NaCl (Tableau XI et Figure.24).

IV. 1. 2. 1. 4. 1. Teneur en Sucres solubles au stade montaison

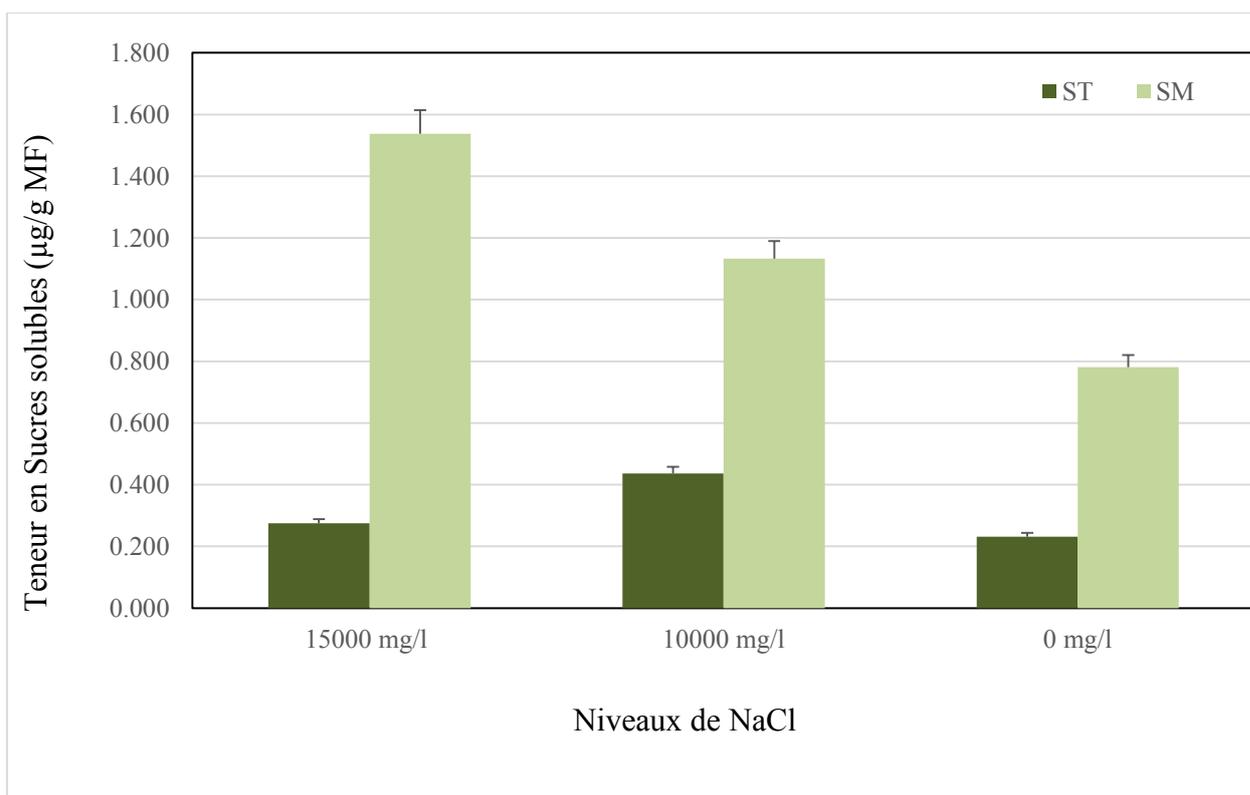
Les résultats statistiques de l'effet de sel montrent que le sel a exercé un effet néfaste sur la teneur en Sucres solubles, la différence entre les différents traitements est très hautement significatif ($P < 0,000$). Le test de Newman-Keuls (SNK) test à $P = 0,05$ fait ressortir trois groupes homogènes (a, b et c) dont les moyennes maximales 1,53 µg/g MF qui représentent le groupe (a) sont marquées pour le milieu 15000 mg/l NaCl. Cependant les moyennes les plus basses 0,78 µg/g MF et qui représentent le groupe (c), sont enregistrées chez les plants non stressés cultivés dans le milieu 0 mg/l NaCl. (Tableau XI et Figure.24).

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tableau XI: Test de signification de Newman-Keuls (SNK) de la teneur en Sucre soluble ($\mu\text{g/g}$ MF) au stade tallage (ST) et stade montaison (PM) des plants soumis aux différents niveaux de salinité au seuil de signification à $P = 0,05$.

Niveaux de NaCl	ST	SM
15000 mg/l	0.27 a	1.53 a
10000 mg/l	0.43 a	1.13b b
0 mg/l	0.23 a	0.78 c
Pr > F	0.051	0.000
Significatif	Non	Oui

Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes.



La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 24. Effet des différents niveaux de salinité (0, 10000 et 15000 mg/l NaCl) sur la teneur en Sucres solubles ($\mu\text{g/g}$ MF) au stade tallage (ST) et stade montaison (SM).

IV. 1. 2. 2. Effet de l'interaction Hormones*NaCl sur les paramètres morpho-physiologiques aux stades tallage et montaison.

IV. 1. 2. 2. 1. Surface foliaire (Cm²).

IV. 1. 2. 2. 1. 1. Surface foliaire (Cm²) au stade tallage.

La pulvérisation des plants salinisés avec l'un des phytohormones (auxine (IAA), Indole Biutirique Acide (IBA), kinétine (Kn) et la Benzyle-Amino-Purine (BAP) a occasionné une augmentation marquée de la surface foliaire. L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative entre les différents traitements hormonaux et salins $p < 0,0001$ ainsi une différence hautement significative est enregistrée entre les différentes combinaisons Hormones*NaCl $p < 0,009$ (Tableau XII).

Le test de Newman-Keuls (SNK) test à $P = 0,05$ fait ressortir 9 groupes homogènes, dont les valeurs les plus élevées 17,01 Cm² qui représentent le groupe (E) sont notées chez les plants traités par la Kn à 10 p.p.m. dans le milieu 0 mg/l NaCl. Pour le milieu de stress 10000 mg/l NaCl, les valeurs de la surface foliaire atteignent 15,95 Cm² avec le traitement par la Kn à 10 p.p.m. et l'IBA à 30 p.p.m, elles sont représentées par le groupe (CDE). Le traitement par la BAP et la Kn avec la dose 30 p.p.m. et l'IAA avec la dose 20 p.p.m. favorise l'expansion des feuilles aux niveaux de salinisation 15000 mg/l NaCl dont les moyennes sont de 13,29 Cm², elles sont représentées par le groupe homogène (BCDE) (Figure 25).

Tableau XII. Analyse de la variance de la Surface foliaire (Cm²) au stade tallage (SFT).

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Hormones	12	198.603	16.550	6.473	< 0,0001	Oui
NaCl	2	107.402	53.701	21.003	< 0,0001	Oui
Hormones*NaCl	24	144.145	6.006	2.349	0.009	Oui

DDL. Degré de liberté, **F.** Coefficient de Fisher-Snedecor (test à $P = 5 \%$).

IV. 1. 2. 2. 1.2. Surface foliaire (Cm²) au stade montaison.

L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative entre les différents traitements hormonaux, salins et leurs interactions $p < 0,0001$ (Tableau XIII). Le test de Newman-Keuls au seuil de 5% dégage 6 groupes homogènes, dont le groupe (G) représente les valeurs maximales de la surface foliaire (12,33 Cm²) pour les plants cultivés dans le milieu 0

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

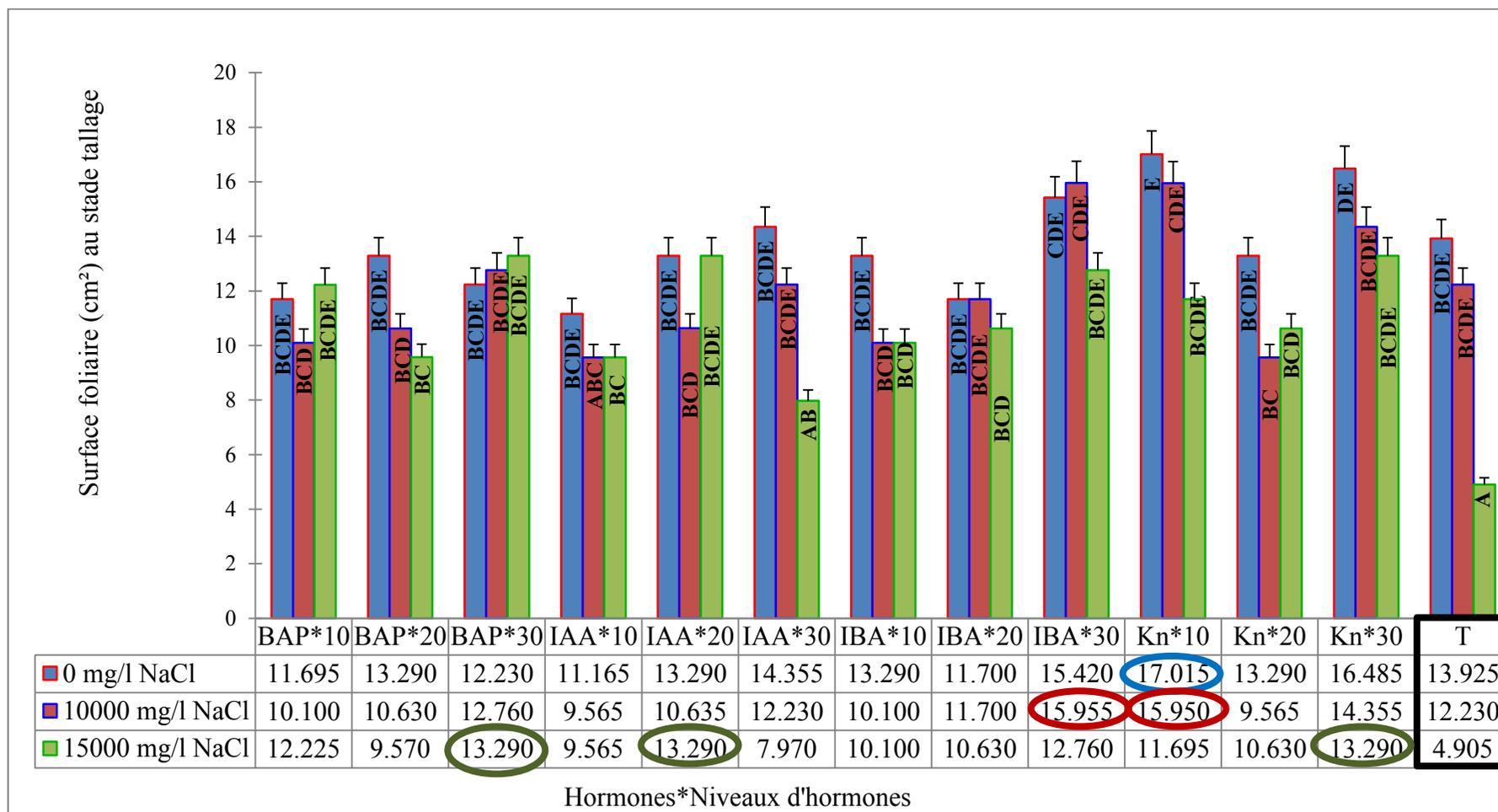
mg/l NaCl, traités par la Kn à 30 p.p.m. Un accroissement prononcé de la surface foliaire (8,39 Cm²) est enregistré chez les plants cultivés dans le milieu de stress 10000 mg/l NaCl) après traitement avec la Kn à 30 et 10 p.p.m., d'où la formation d'un groupe homogène (CDEF). Le traitement par l'IBA avec la dose 30 p.p.m. a permis l'augmentation des moyennes à 9,51 Cm² et la formation d'un groupe homogène (DEFG) chez les plants cultivés dans le milieu de stress 15000 mg/l NaCl (Figure 26).

Tableau XIII. Analyse de la variance de la Surface foliaire (Cm²) au stade montaison (SFM)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Hormones	12	66.065	5.505	4.920	< 0,0001	Oui
NaCl	2	163.851	81.925	73.218	< 0,0001	Oui
Hormones*NaCl	24	114.808	4.784	4.275	< 0,0001	Oui

DDL.Degré de liberté, **F.** Coefficient de Fisher-Snedecor (test à P = 5 %).

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

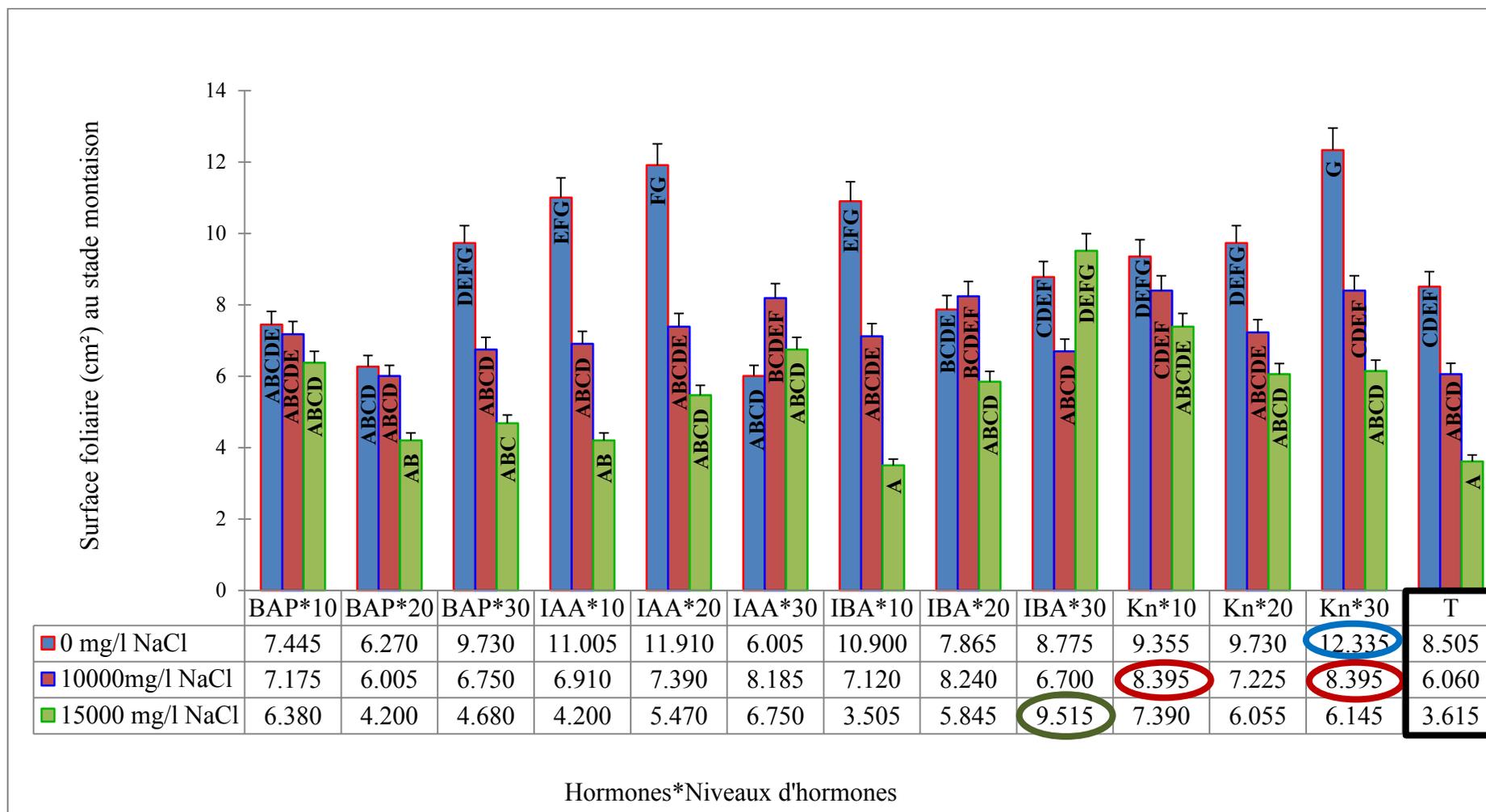


Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%. La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 25. Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la surface foliaire au stade tallage.

IAA: acide indole-3-acétique **IBA:** Indole Biutirique Acide **Kn:** kinétine **BAP:** Benzyle-Amino-Purine **T:** Plants stressés non traités par les hormones (témoins).

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION



Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%. La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 26. Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la surface foliaire (stade montaison).

IV. 1. 2. 2. 2. Teneur en Chlorophylle A.

IV. 1. 2. 2. 2. 1. Teneur en Chlorophylle A au stade tallage.

Pour ce paramètre, l'analyse de la variance montre l'existence d'un effet très hautement significatif entre les différents traitements hormonaux, salins et même entre les interactions de ces deux derniers $p < 0.0001$ (Tableau XIV).

Le stade tallage est marqué par une augmentation très remarquable de la chlorophylle A chez les plants traités par l'IAA à 30 p.p.m. pour les deux milieux salins 10000 mg/l et 15000 mg/l NaCl les moyennes atteignent 0,89 et 0,90 mg/g MF respectivement. Elles forment le groupe homogène (B) les autres traitements dans les trois milieux forment le groupe (A) selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5% (Figure 27).

Tableau XIV. Analyse de la variance de la teneur en Chlorophylle A au stade tallage (ChAT).

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Hormones	12	1.596	0.133	191.61	< 0,0001	Oui
NaCl	2	0.048	0.024	34.46	< 0,0001	Oui
Hormones*NaCl	24	0.808	0.034	48.50	< 0,0001	Oui

DDL. Degré de liberté, **F.** Coefficient de Fisher-Snedecor (test à P = 5 %).

IV. 1. 2. 2. 2. 2. Teneur en Chlorophylle A au stade montaison.

Les résultats de l'analyse de la variance montrent l'existence d'un effet très hautement significatif des deux facteurs et de leurs interactions ($p < 0.0001$) (Tableau XV).

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5% fait ressortir plusieurs groupes homogènes. Pour le milieu 0 mg/l NaCl, le traitement avec la Kn à 20 p.p.m a donné les meilleurs teneurs, les moyennes représentées par le groupe (LM) sont de 0,202 mg/gMF. Le traitement des plants cultivés dans le milieu 10000 mg/l NaCl avec l'IAA à 30 p.p.m. a donné les meilleurs teneurs, les moyennes représentées par le groupe (M) sont de 0,209 mg/gMF. Pour les plants cultivés dans le milieu 15000 mg/l NaCl, la teneur maximal représentée par le groupe (HIJKL) a achevé 0,170 mg/gMF après traitement par l'IAA à 20 p.p.m. (Figure 28).

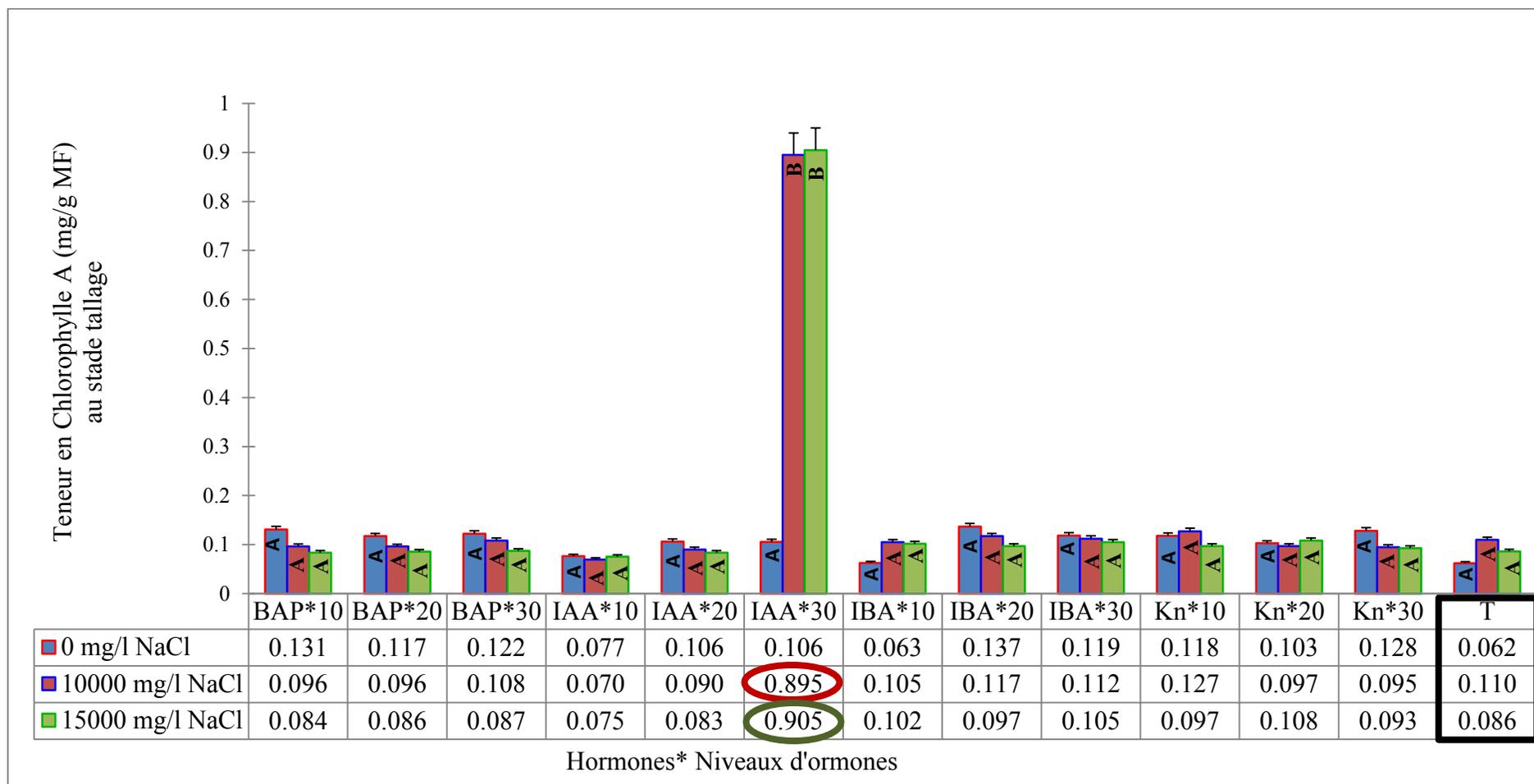
CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tableau XV- 2. 6. Analyse de la variance de la teneur en Chlorophylle A au stade montaison (ChAM)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Hormones	12	0.057	0.005	37.90	< 0,0001	Oui
NaCl	2	0.005	0.002	18.46	< 0,0001	Oui
Hormones*NaCl	24	0.014	0.001	4.78	< 0,0001	Oui

DDL. Degré de liberté, **F.** Coefficient de Fisher-Snedecor (test à P = 5 %).

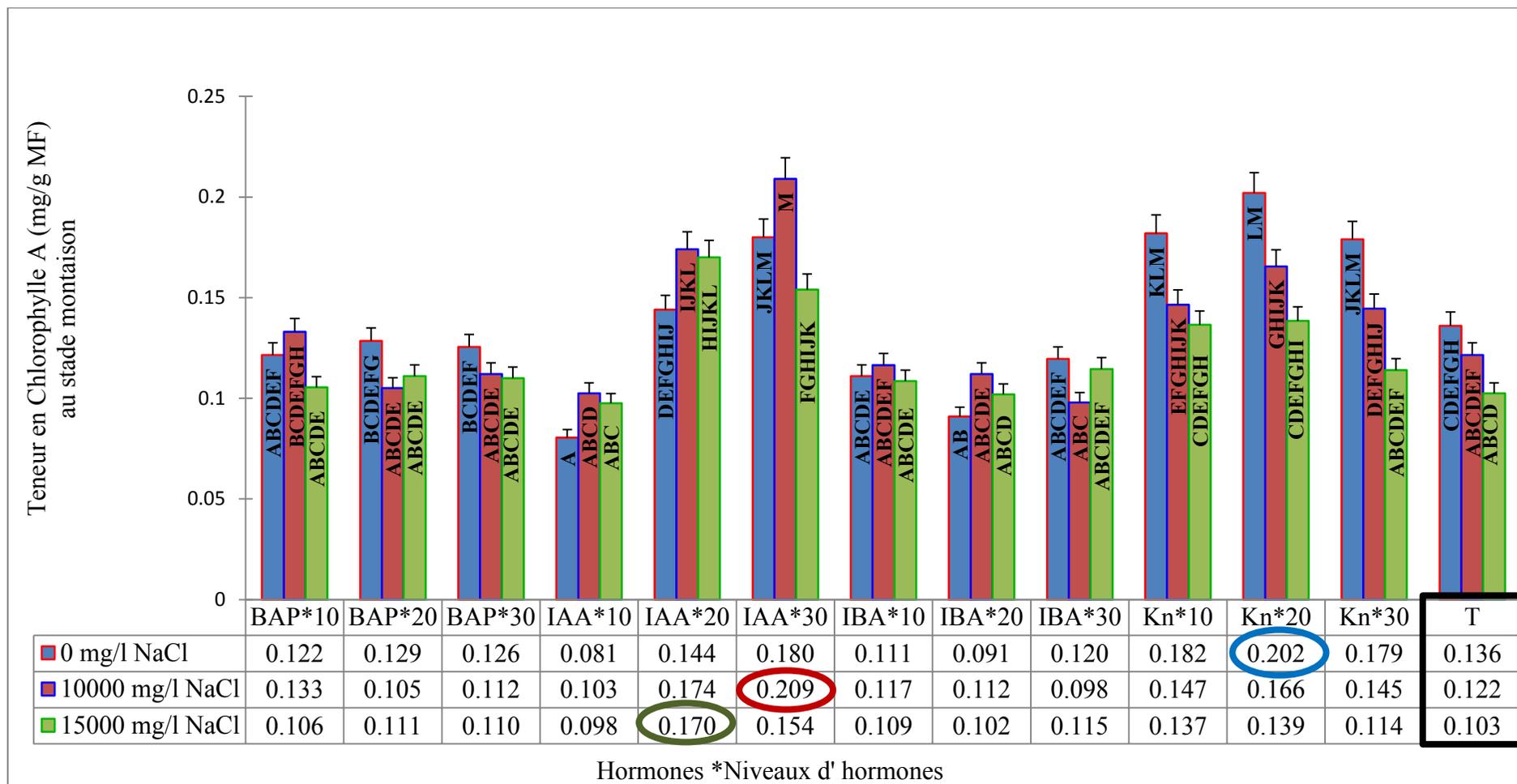
CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION



Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%. La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 27. Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la Chlorophylle A (stade tallage).

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION



Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%. La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 28. Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la Chlorophylle A (stade montaison).

IV. 1. 2. 2. 3. Teneur en Chlorophylle B

IV. 1. 2. 2. 3. 1. Teneur en Chlorophylle B au stade tallage.

L'analyse de la variance montre que la différence entre les traitements hormonaux est hautement significative $p < 0.001$ et elle est très hautement significative pour les traitements salins $p < 0.0001$, cependant elle demeure significative pour l'interaction entre ces deux derniers $p < 0.02$ (Tableau XVI). Les valeurs maximales 0,316, 0,294 et 0,282 mg/gMF sont obtenues après traitement par l'IBA à 10 p.p.m., Kn à 10 p.p.m. et 20 p.p.m. pour les milieux 0 mg/l, 10000 g/l et 15000 mg/l NaCl respectivement, les groupes homogènes résultants du test de Newman-Keuls au seuil de 5% sont illustrés dans la figure 29.

Tableau XVI. Analyse de la variance de la teneur en Chlorophylle B au stade tallage (ChBT)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Hormones	12	0.006	0.000	3.78	0.001	Oui
NaCl	2	0.011	0.005	41.44	< 0,0001	Oui
Hormones*NaCl	24	0.006	0.000	2.04	0.023	Oui

DDL. Degré de liberté, **F.** Coefficient de Fisher-Snedecor (test à P = 5 %).

IV. 1. 2. 2. 3. 2. Teneur en Chlorophylle B au stade montaison.

Concernant le stade montaison l'analyse de la variance montre que la différence entre les traitements hormonaux, salins et leur combinaison est très hautement significative $p < 0.0001$ (Tableau XVII). Les moyennes les plus élevées sont enregistrées chez les plants traités par la BAP à 20 et 10 p.p.m. avec des moyennes de 0,257 et 0,250 mg/g MF pour les milieux 15000 mg/l et 10000 mg/l NaCl respectivement. Pour le milieu 0 mg/l NaCl l'augmentation de la teneur est obtenue après traitement par la Kn avec la dose 20 p.p.m la moyenne est de 0,257 mg/gMF. Les différents groupes homogènes résultants du test de Newman-Keuls au seuil de 5% sont notés sur la figure 30.

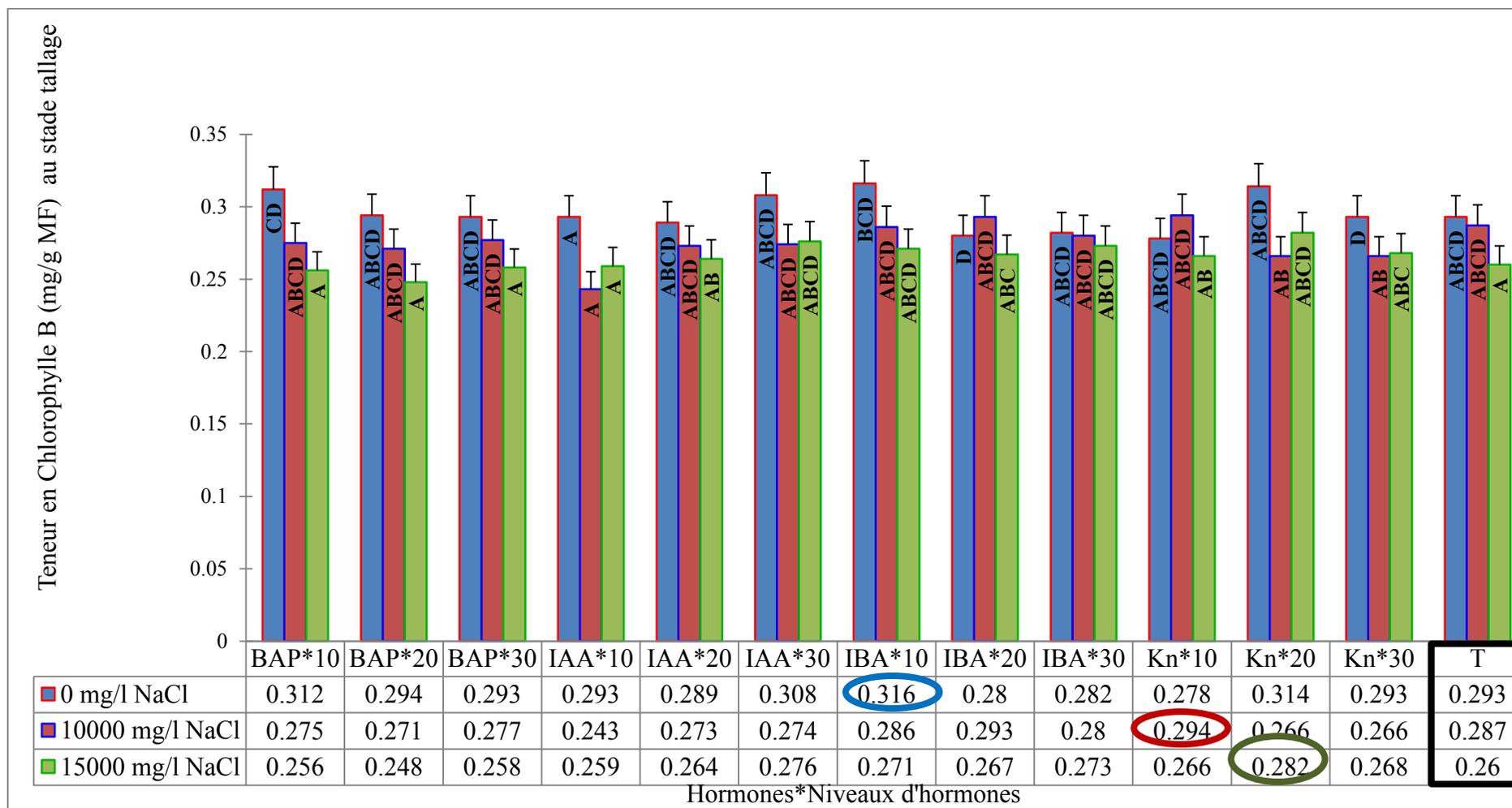
CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tableau XVII. Analyse de la variance de la teneur en Chlorophylle B au stade montaison (ChBM)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Hormones	12	0.016	0.001	7.89	< 0,0001	Oui
NaCl	2	0.004	0.002	11.40	0.000	Oui
Hormones*NaCl	24	0.030	0.001	7.64	< 0,0001	Oui

DDL. Degré de liberté, **F.** Coefficient de Fisher-Snedecor (test à P = 5 %).

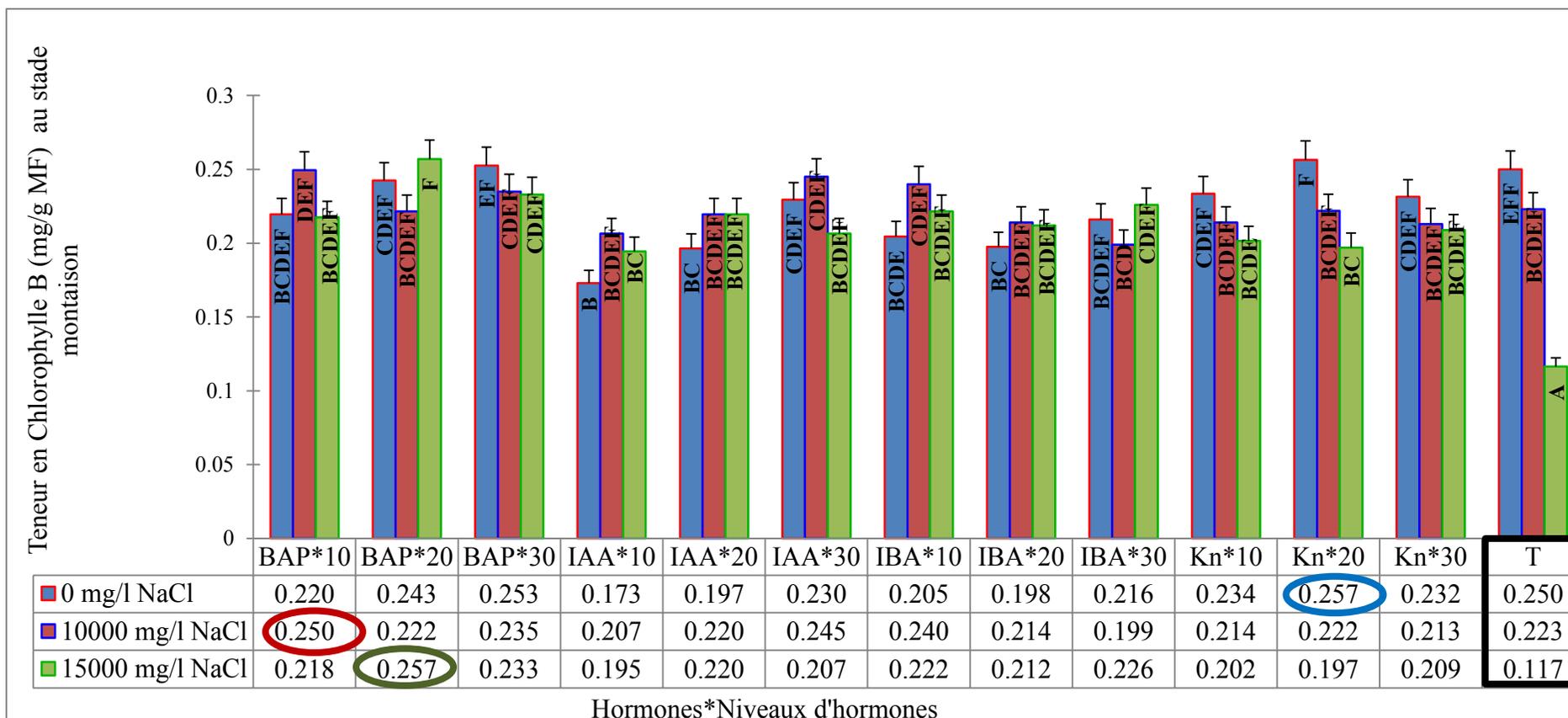
CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION



Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%. La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 29. Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la Chlorophylle B (stade tallage).

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION



Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%. La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 30. Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la Chlorophylle B (stade montaison).

IV. 1. 2. 2. 4. Teneur en Caroténoïdes

IV. 1. 2. 2. 4. 1. Teneur en Caroténoïdes au stade tallage.

Le stress salin a exercé un effet très hautement significatif sur la teneur en Carotenoides $p < 0.0001$. Le traitement par les phytohormones a enregistré une augmentation remarquable en caroténoïdes selon le type et la dose d'hormone appliquées $p < 0.0001$. La différence entre les différentes combinaisons (Hormones*NaCl) est aussi très hautement significative $p < 0.003$ selon l'ANOVA (Tableau XVIII), dont les valeurs les plus élevées sont notées après traitement par la BAP à 10 p.p.m. pour les milieux 0 mg/l et 10000 mg/l NaCl avec des moyennes de 0,49 mg/g MF et la Kn à 20 p.p.m. pour le milieu salin le plus élevé 15000 mg/l NaCl avec une moyenne de 0,34 mg/g MF. Le test de Newman-Keuls au seuil de 5% fait ressortir plusieurs groupes homogènes (Figure 31).

Tableau XVIII. Analyse de la variance de la teneur en Caroténoïdes au stade tallage (CarT)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Hormones	12	0.140	0.012	6.546	< 0,0001	Oui
NaCl	2	0.141	0.071	39.479	< 0,0001	Oui
Hormones*NaCl	24	0.114	0.005	2.665	0.003	Oui

DDL. Degré de liberté, **F.** Coefficient de Fisher-Snedecor (test à P = 5 %).

IV. 1. 2. 2. 4. 2. Teneur en Caroténoïdes au stade montaison.

Pour le stade montaison les résultats statistique désignent que la différence entre les différents traitements salins, hormonaux et l'interaction entre eux est très hautement significative $p < 0.0001$ (Tableau XIX). Selon le test de Newman-Keuls (SNK) test à P = 0,05, les valeurs les plus élevées 0,47 mg/g MF représentent le groupe (D) après traitement par la K à 30 p.p.m. au milieu 0 mg/l NaCl et 0,30 mg/g MF représentent le groupe (C) après traitement par la BAP à 10 p.p.m. au milieu 10000 mg/l NaCl. Pour le milieu 15000 mg/l NaCl les moyennes maximales de la teneur en caroténoïdes qui appartiennent au groupe (BC) sont obtenues après traitement par la BAP avec la dose 30 p.p.m. (Figure 32).

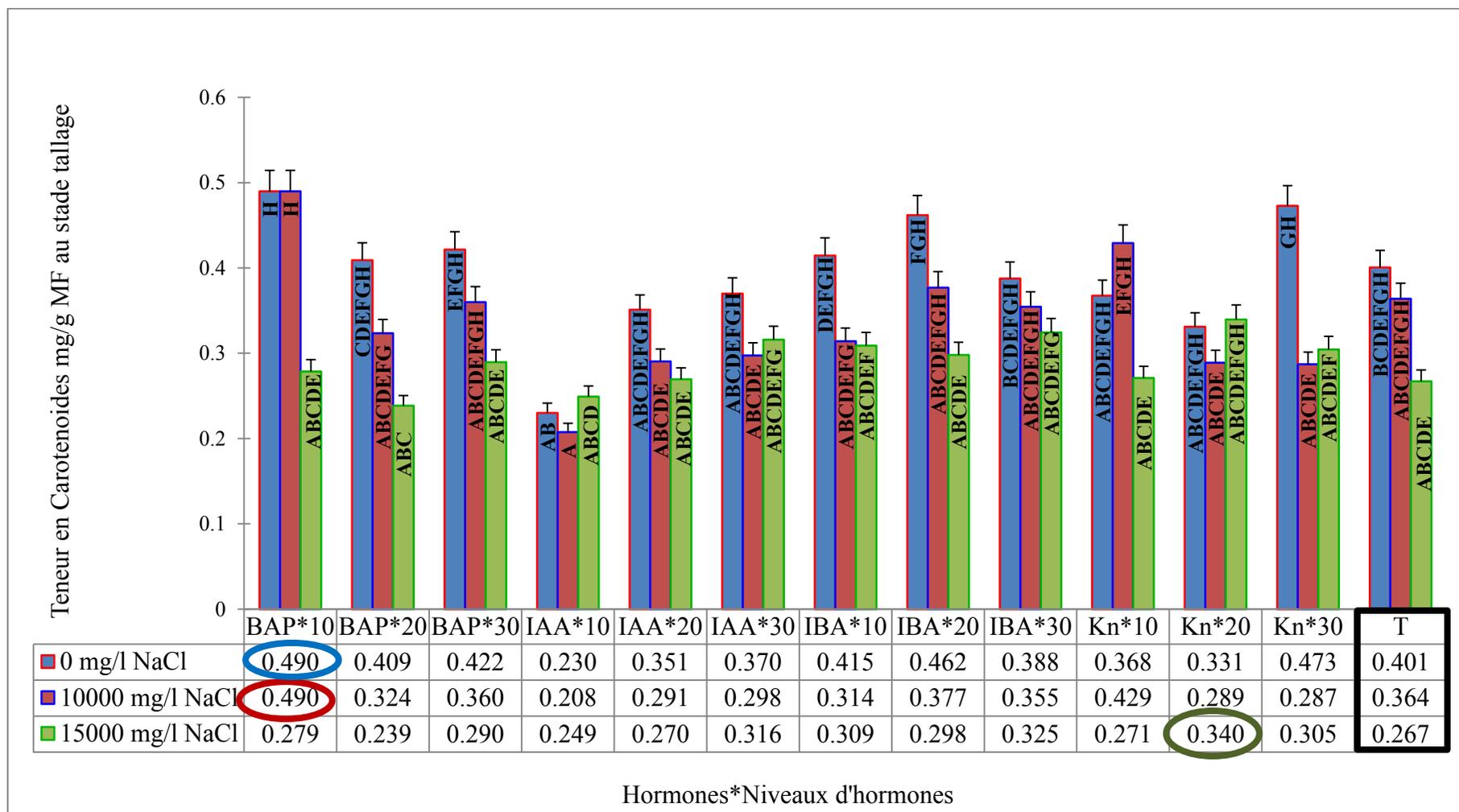
CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tableau XIX. Analyse de la variance de la teneur en Caroténoïdes au stade montaison (CarM)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Hormones	12	4.799	0.400	115.22	< 0,0001	Oui
NaCl	2	0.100	0.050	14.41	< 0,0001	Oui
Hormones*NaCl	24	0.275	0.011	3.29	0.000	Oui

DDL. Degré de liberté, **F.** Coefficient de Fisher-Snedecor (test à P = 5 %).

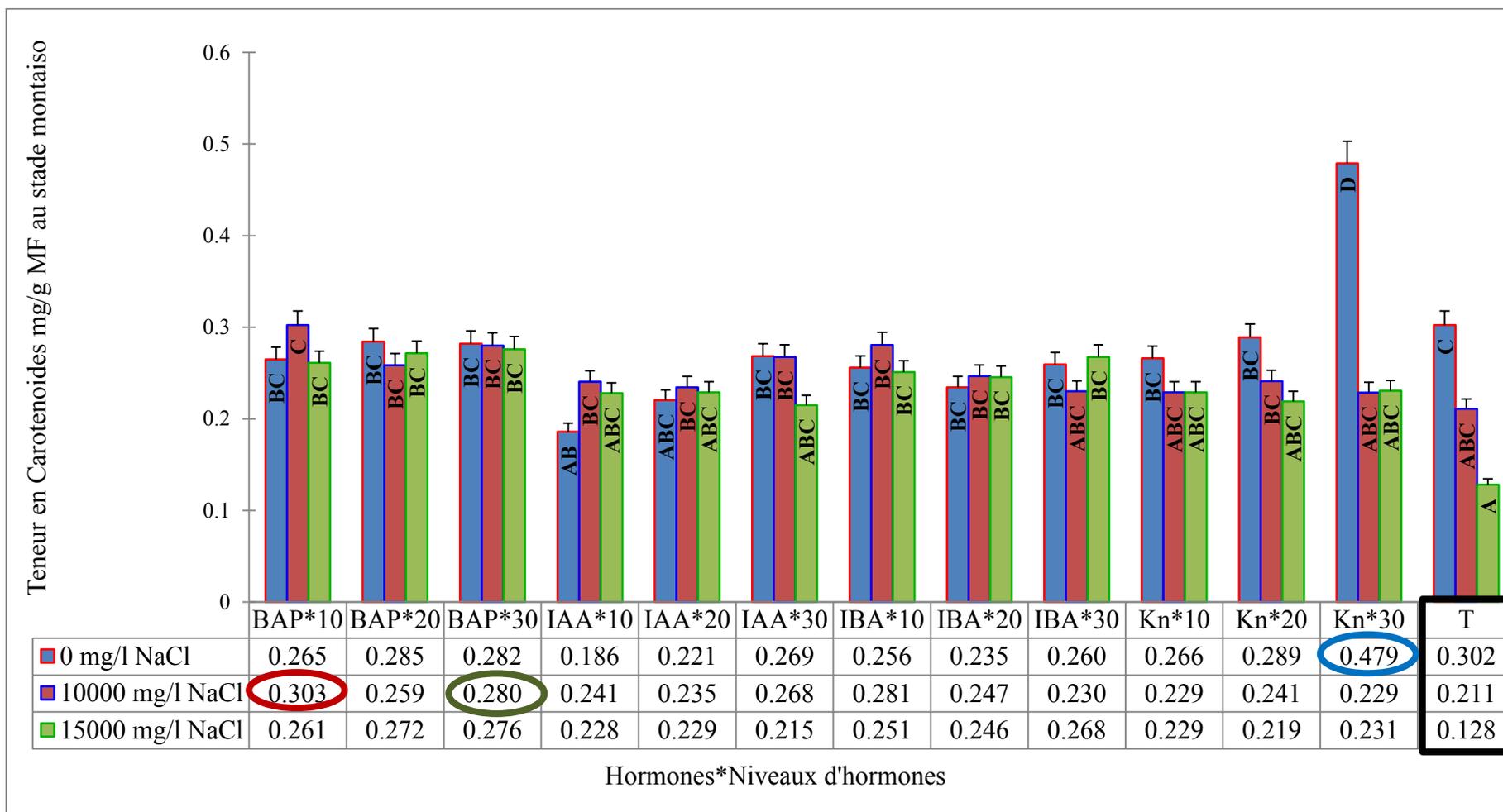
CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION



Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%. La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 31. Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la teneur en Caroténoïdes (stade tallage).

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION



Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%. La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 32. Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la teneur en Caroténoïdes (stade montaison).

IV. 1. 2. 2. 5. Teneur en Proline

IV. 1. 2. 2. 5. 1. Teneur en Proline au stade tallage.

D'après les résultats illustrés dans (Tableau XX) le traitement salin, hormonale et l'interaction entre eux a causé un effet très hautement significatif ($P < 0,0001$) sur la teneur en Proline. Le test de Newman-Keuls (SNK) test à $P = 0,05$ avec les différents groupes homogènes (Figure 33) montre une diminution remarquable de la teneur en Proline chez les plants stressés et traités par les différentes hormones par rapport au plants stressés et non traités par les hormones. La réduction de la proline est notée pour les trois doses de chaque hormone dans le milieu salin 15000 mg/l NaCl. La teneur minimale est de 244,00 $\mu\text{g/g}$ MF pour la BAP avec la dose 10 p.p.m. toujours pour le milieu 15000 mg/l NaCl. Les plants cultivés dans le milieu 10000 mg/l NaCl et traité par la Kn avec la dose 30 p.p.m ont enregistré les teneurs minimales dont les moyennes sont de 0,202 $\mu\text{g/g}$ MF. Pour le milieu 0 mg/l NaCl les plants traités par l'IAA avec la dose 10 p.p.m. ont noté une réduction de ce paramètre jusqu'à 0,195 $\mu\text{g/g}$ MF.

Tableau XX. Analyse de la variance de la teneur en Proline au stade tallage (PT)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Hormones	12	706328.96	58860.74	5.58	< 0,0001	Oui
NaCl	2	3277237.50	1638618.75	155.35	< 0,0001	Oui
Hormones*NaCl	24	1111588.19	46316.17	4.391	< 0,0001	Oui

DDL. Degré de liberté, **F.** Coefficient de Fisher-Snedecor (test à $P = 5 \%$).

IV. 1. 2. 2. 5. 2. Teneur en Proline au stade montaison.

Pour le stade montaison l'analyse de la variance révèle l'existence d'une différence très hautement significative entre les différents traitements hormonaux et salins $P < 0,0001$. Ainsi une différence hautement significative est notée entre les différentes interactions (Hormones*NaCl) $P < 0,01$ (Tableau XXI). Le test de Newman-Keuls (SNK) test à $P = 0,05$ classe ces effets en plusieurs groupes homogènes différents Pour les trois milieux 0, 10000 et 15000 mg/l NaCl la réduction de la teneur en Proline a achevé son minimum, 115,00, 126.00 et 168,00 $\mu\text{g/g}$ MF respectivement après traitement par la Kn avec la dose 30 p.p.m. (Figure 34).

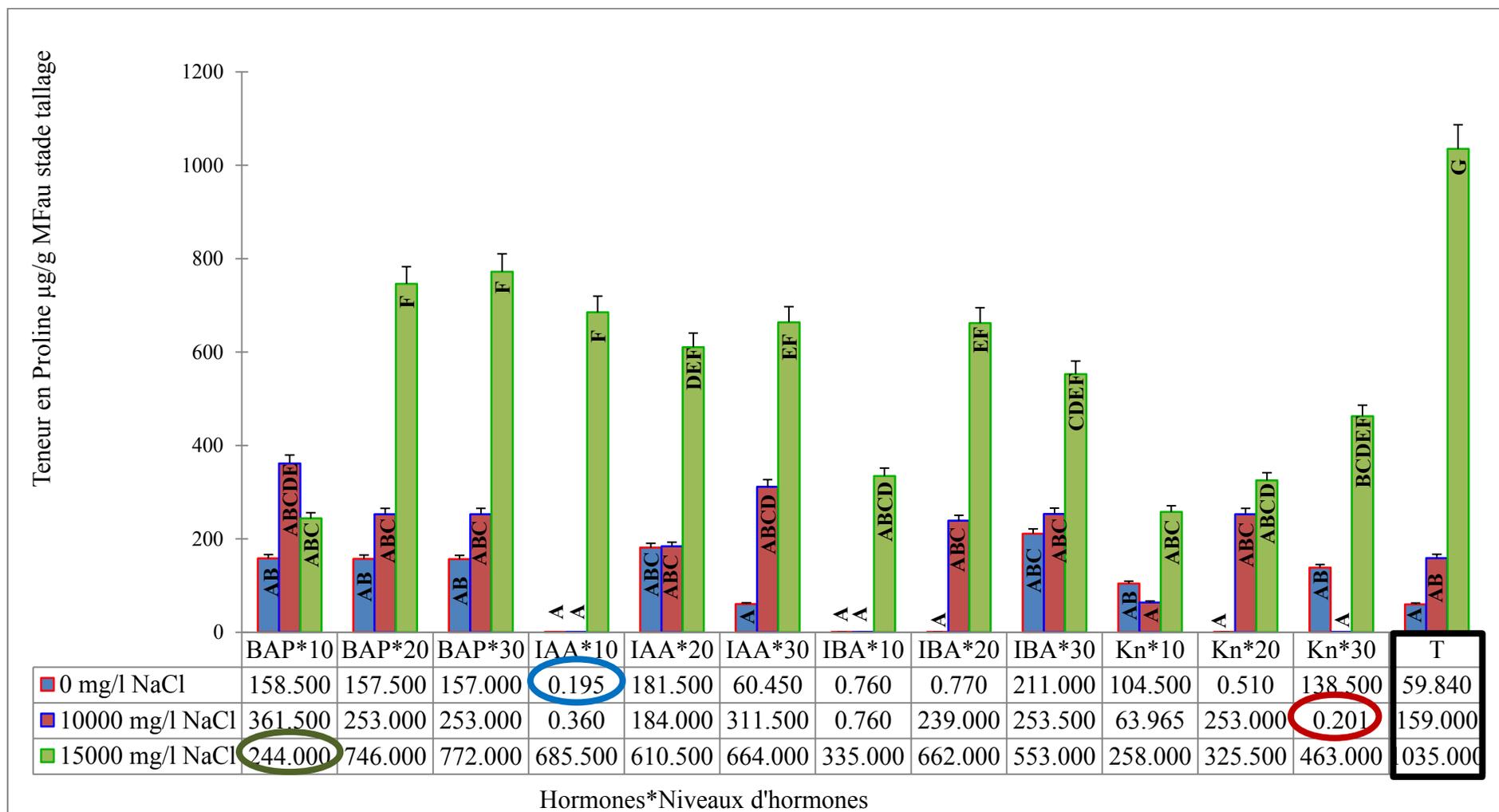
CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tableau XXI. Analyse de la variance de la teneur en Proline au stade montaison (PM)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Hormones	12	715094.87	59591.23	17.769	< 0,0001	Oui
NaCl	2	392955.76	196477.88	58.585	< 0,0001	Oui
Hormones*NaCl	24	179823.89	7492.66	2.234	0.012	Oui

DDL. Degré de liberté, **F.** Coefficient de Fisher-Snedecor (test à P = 5 %).

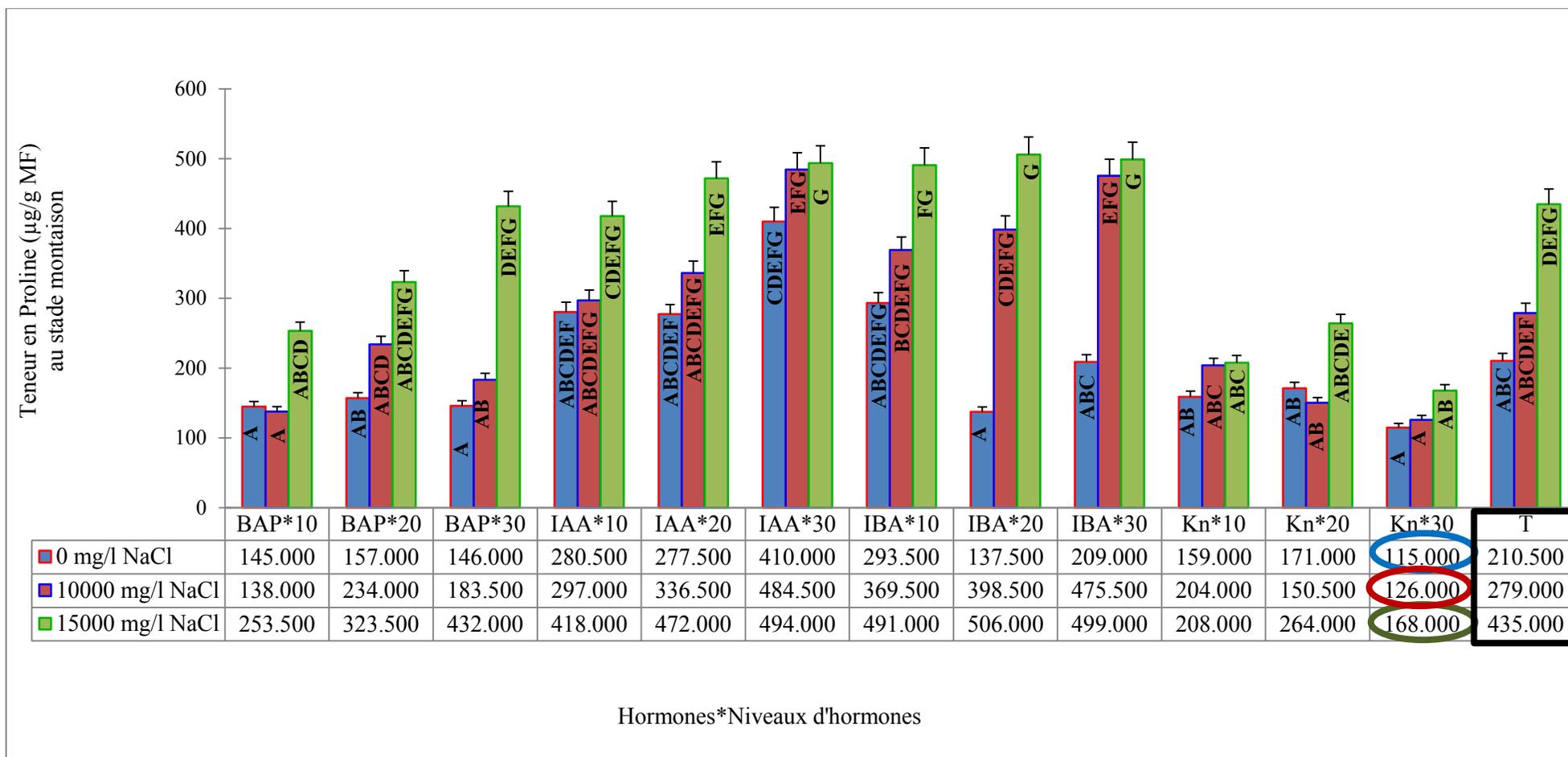
CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION



Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%. La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 33. Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la teneur en Proline (stade tallage).

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION



Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%. La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 34. Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la teneur en Proline (stade montaison).

IV. 1. 2. 2. 6. Teneur en Sucres Solubles

IV. 1. 2. 2. 6. 1. Teneur en Sucres Solubles au stade tallage.

Le stress salin n'a exercé aucun effet sur la teneur des plants en sucres solubles $P < 0,09$. La pulvérisation de la partie aérienne par les phytohormones a favorisé l'augmentation des sucres solubles chez les plants testés. Cette augmentation diffère selon le type, la dose d'hormone et le niveau de stress. L'analyse de la variance révèle l'existence d'une différence très hautement significative entre les différentes interactions (Hormones*NaCl) $P < 0,0001$ (Tableau XXII). Pour ce stade de croissance, les moyennes maximales, 2,398 et 1,534 $\mu\text{g/g}$ MF sont enregistrées après traitements par l'IAA à 30 et 20 p.p.m. dans les milieux 0 mg/l et 15000 mg/l NaCl respectivement. L'IBA avec la dose 20 p.p.m. a stimulé l'accroissement de la teneur jusqu'à 1,597 $\mu\text{g/g}$ MF chez les plants cultivés dans le milieu 10000 mg/l. le test de Newman-Keuls (SNK) test à $P = 0,05$ fait ressortir différents groupes homogènes (Figure 35).

Tableau XXII. Analyse de la variance de la teneur en Sucres Solubles au stade tallage (ST)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Hormones	12	3.98	0.33	3.96	0.001	Oui
NaCl	2	0.42	0.21	2.54	0.091	Non
Hormones*NaCl	24	11.52	0.48	5.72	< 0,0001	Oui

DDL. Degré de liberté, **F.** Coefficient de Fisher-Snedecor (test à $P = 5 \%$).

IV. 1. 2. 2. 6. 2. Teneur en Sucres Solubles au stade montaison.

L'analyse de la variance montre l'existence d'une différence très hautement significative entre les différents traitements hormonaux et salins $P < 0,0001$. Ainsi la différence entre les différentes combinaisons (Hormones*NaCl) demeure significative $P < 0,02$ (Tableau XXIII). Le stade montaison, chez les plants traités par les hormones est marqué par une augmentation remarquable de la teneur en sucres solubles dans les trois milieux salins.

Les valeurs les plus élevées 1,88, 2,43 et 2,44 $\mu\text{g/g}$ MF pour les milieux 0 mg/l, 10000 mg/l et 15000 mg/l NaCl .respectivement sont obtenues après traitement par la IAA à 10 p.p.m. Notons que le traitement par la Kn à 30 p.p.m. a causé une diminution remarquable de ce paramètre dans les trois milieux. Le test de Newman-Keuls (SNK) test à $P = 0,05$ fait ressortir différents groupes homogènes (Figure 36).

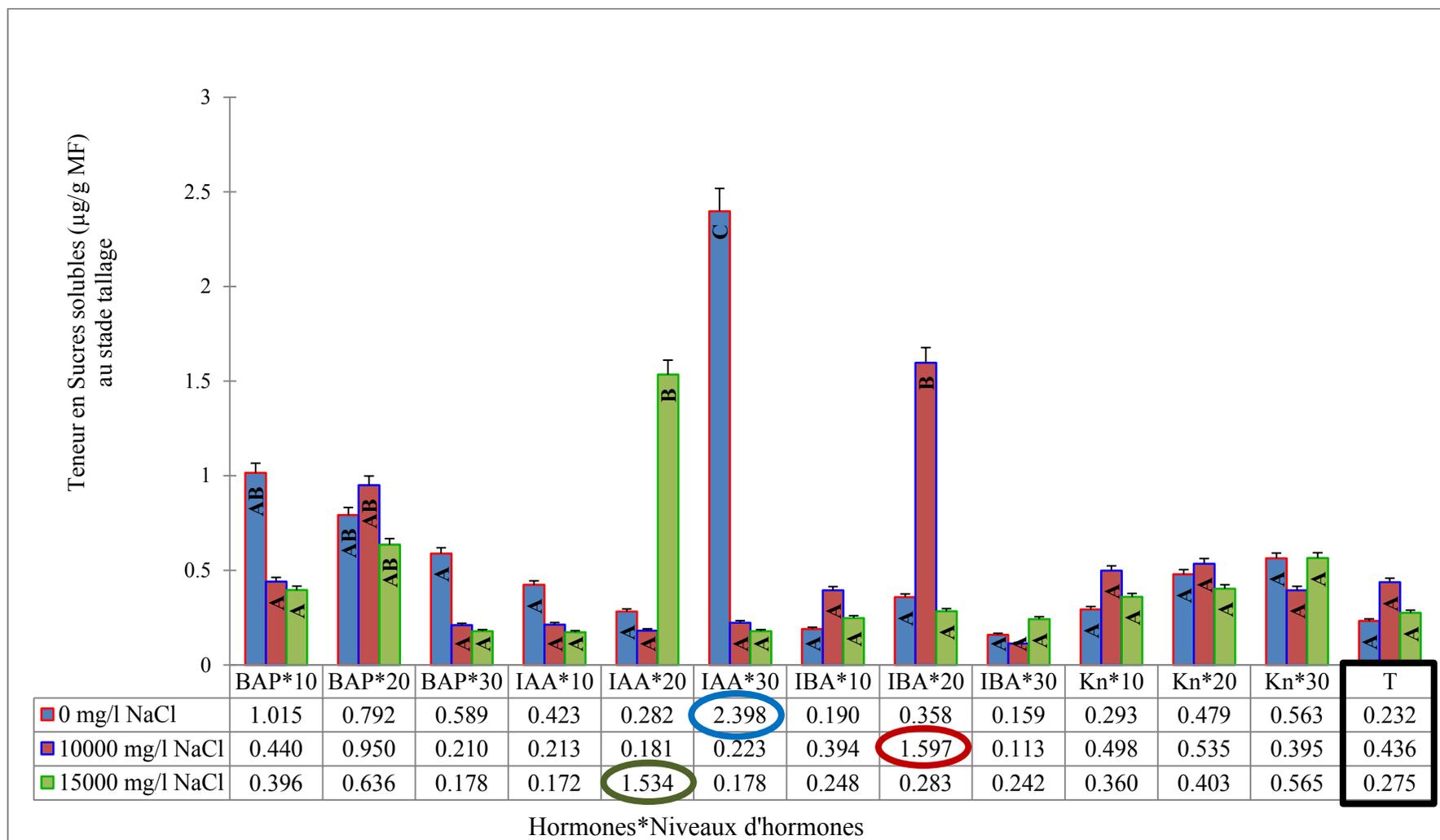
CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tableau XXIII. Analyse de la variance de la teneur en Sucres Solubles au stade montaison (SM)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Hormones	12	10.933	0.911	29.99	< 0,0001	Oui
NaCl	2	3.409	1.705	56.11	< 0,0001	Oui
Hormones*NaCl	24	1.444	0.060	1.98	0.028	Oui

DDL. Degré de liberté, **F.** Coefficient de Fisher-Snedecor (test à P = 5 %).

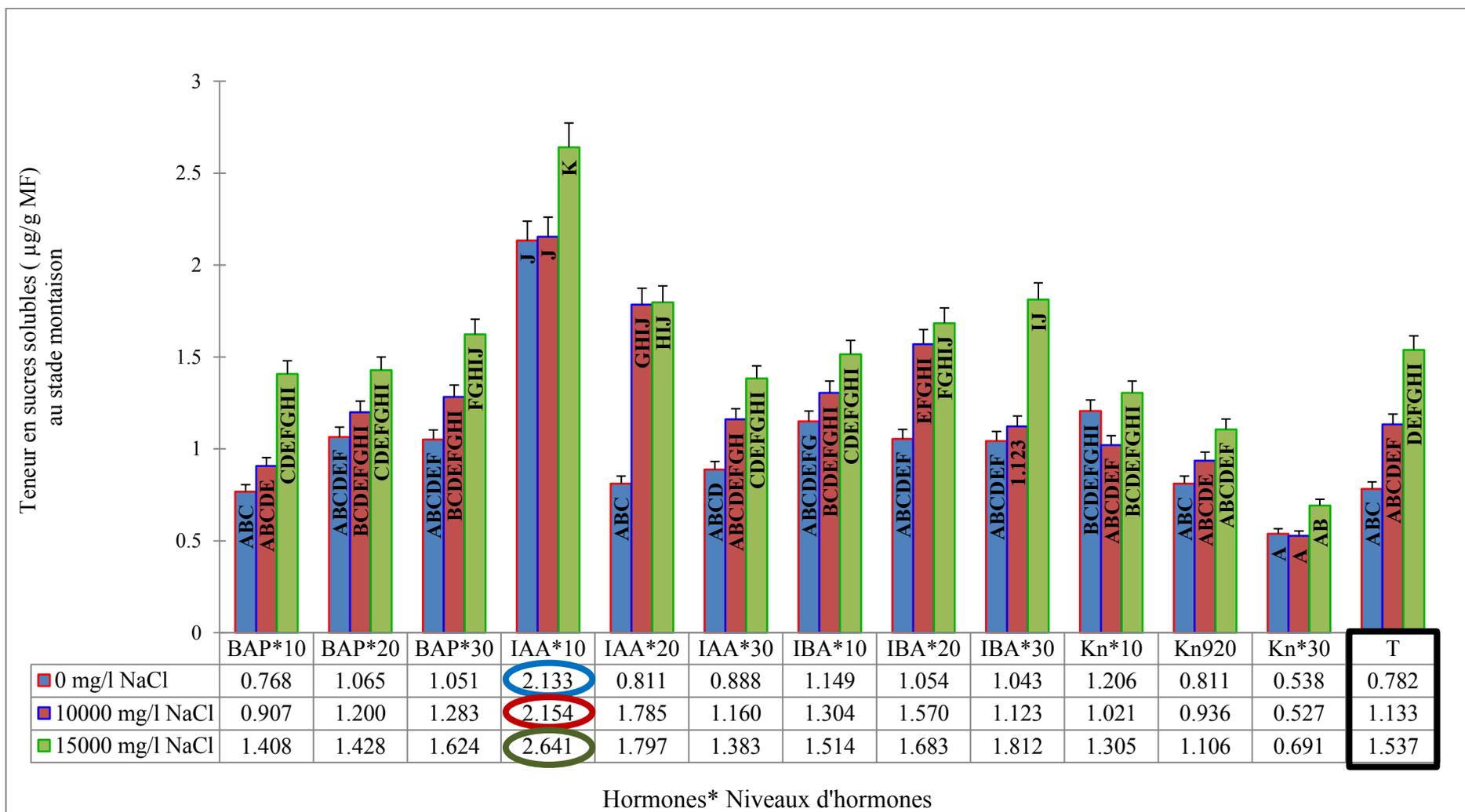
CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION



Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%. La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 35. Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la teneur en Sucres Solubles (stade tallage).

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION



Les valeurs avec des lettres différentes sur chaque colonne sont significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%. La barre sur chaque colonne montre l'erreur standard.

Figure 36. Effet des niveaux de salinité et de phytohormones sur la teneur en Sucres Solubles (stade montaison).

IV. 1. 2. 3. Analyse multivariée en composantes principales (ACP) des paramètres étudiés

L'analyse des composantes principales (ACP) a mis en évidence la corrélation entre les 12 paramètres étudiés pour l'interaction des traitements hormonaux et la salinité (Tableau XXIV). Elle a dégagé deux grands axes de variation (F1 et F2) qui forme le premier plan en rapportant 52,89 % de la variabilité totale. L'axe F1, en expliquant 39,24% de la variation totale est défini par les variables reliées à la Chlorophylle B au stade tallage (ChBT) qui a une contribution de 77,9%, la Chlorophylle B au stade montaison (ChBM) a 53,9%, les Caroténoïdes au stade tallage (CarT) a 78,7%, les Caroténoïdes au stade montaison (CarM) a 68,00%, Surface foliaire au stade tallage (SFT) a 71,7% et la Surface foliaire au stade montaison (SFM) a 68,00%.

Les Sucres solubles au stade tallage (ST) sont faiblement corrélés à l'axe F1 avec une contribution de 18,6%. Des corrélations négatives existent entre l'axe F1 et la Proline au stade tallage (PT) et montaison (PM) avec des contributions de 70,5% et 66,10% respectivement. Les Sucres solubles au stade montaison (SM) sont aussi corrélés négativement à l'axe F1 avec une contribution de 76,3%, et corrélée en même temps négativement avec la PT et la PM.

L'axe F2 qui exprime un faible pourcentage de la variabilité totale 13,65% est fortement corrélé à la Chlorophylle A au stade tallage (ChAT) et montaison (ChAM) avec des contributions de 71,8% et 69,9 % successivement (Figure 37).

La matrice de corrélation (ANNEX 1) révèle l'existence de deux corrélations positives la première entre les pigments chlorophylliens et la surface foliaire (CAT, ChBT, SFM, SFT, CaM, ChBM et ChAM) et la deuxième entre la PT, PM et les SM. Ces derniers sont corrélés négativement avec les pigments chlorophylliens et la surface foliaire.

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tableau XXIV. Corrélations entre les variables et les facteurs

Variabes	F1	F2
ChAT	-0.067	0.718
ChAM	0.444	0.699
ChBT	0.779	-0.154
ChB M	0.539	0.483
CarT	0.787	-0.149
CarM	0.680	0.274
PT	-0.705	0.266
PM	-0.661	0.404
ST	0.186	0.175
SM	-0.763	-0.036
SFT	0.717	0.006
SFM	0.680	-0.121

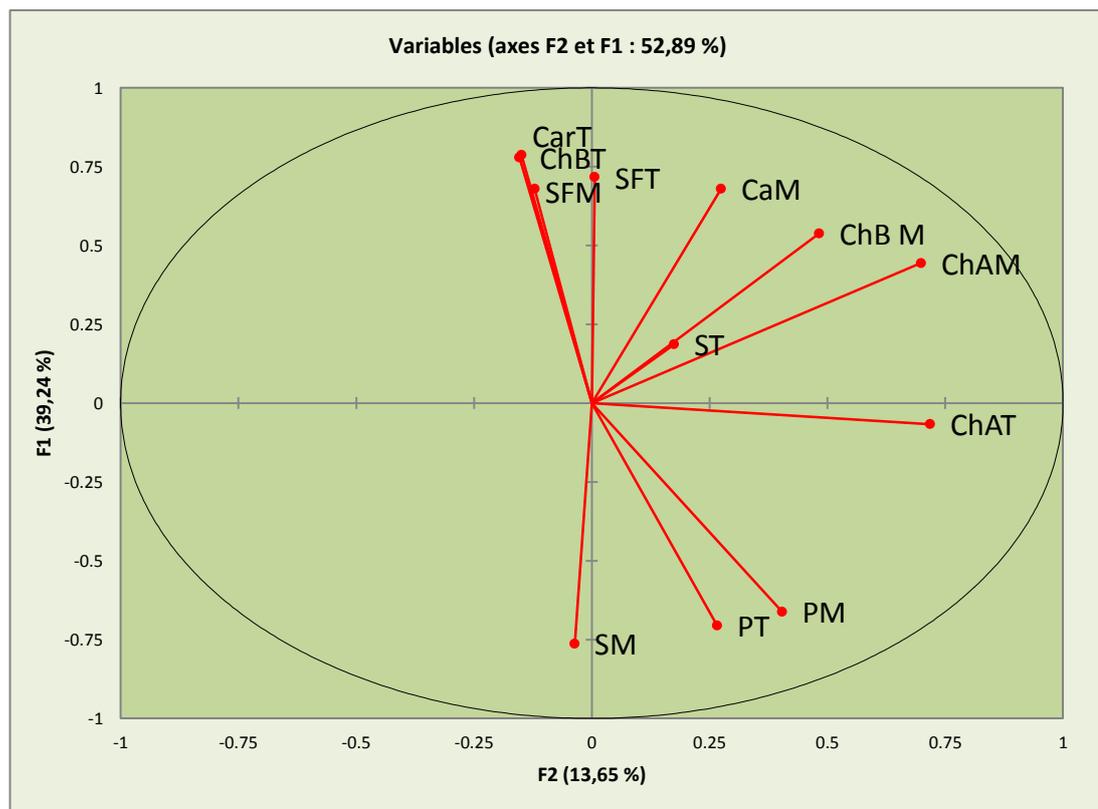


Figure 37. Analyse en Composantes Principales des paramètres morpho physiologiques étudiés

IV. 2. DISCUSSION

Dans les régions arides et semi arides, la salinité constitue une contrainte majeure à la productivité et au développement agricole (Rozema and Flowers, 2008; Abdel Latef, 2010). Le NaCl peut nuire la croissance et le développement des plantes cultivées, suite à un changement du potentiel osmotique, du déséquilibre ionique (Arbaoui *et al.*, 1999 b) et à l'émergence d'un stress oxydatif induit par les composantes osmotiques et ioniques du stress salin dans les cellules (Kosova *et al.*, 2013).

Les effets du sel sur les plantes dépendent à la fois de leur stade de développement (Munns *et al.*, 1995) et de la durée de l'exposition aux contraintes salines (Munns et Termaat, 1986). Les plantes réagissent au stress environnemental par un ensemble des modifications morphologiques, anatomiques, physiologiques et biochimiques, ce qui permet le maintien de la croissance, du développement et de la production (Li *et al.*, 2003; Denden, *et al.*, 2008).

La réponse immédiate des glycophytes au stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente (Wang et Nil, 2000). La diminution de la surface foliaire est la principale stratégie développée pour atténuer les effets de la limitation de la disponibilité de l'eau dans les conditions de stress salin chez le blé (Alem *et al.*, 2002).

Les résultats de notre expérimentation montrent que l'impact du sel sur l'expansion foliaire des plants testés uniquement par le sel (non pulvérisés par les hormones de croissance) est plus marqué avec une réduction importante de la surface foliaire en présence des fortes concentrations en NaCl. Des résultats similaires ont été rapportés chez le blé (Hu *et al.*, 2005; Brugnoli et Lauteri, 1991). la réduction de la croissance chez les plantes cultivées a été signalée dans un milieu à 100 mM NaCl dont la surface foliaire ne dépasse pas 60 % par rapport au control (Laaziza Ben Khaled *et al.*, 2007). Ainsi, la diminution de la surface foliaire chez le maïs, le coton et le blé sous la contrainte saline résulte d'une réduction de la croissance (Ali *et al.*, 2004; Hamdia *et al.*, 2014).

Les réponses des plantes à un stress abiotique sont différentes et parfois même opposées entre les stades juvéniles et adultes (Hilal *et al.*, 1998). La salinité a des effets différents chez les feuilles matures jeunes ou âgées (Munns et Tester, 2008). Dans notre cas la salinité affecte négativement la surface foliaire pour les deux stades de croissance mais la réduction de cette dernière demeure plus marquée pour le stade montaison.

La réduction de la surface foliaire face à une contrainte saline a été considérée comme un processus d'adaptation à travers une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau (Omami *et al.*, 2006), ce qui permet la survie de la plante (Lebon *et al.*, 2004). Chez la plupart des glycophytes,

le limbe est la partie foliaire la plus affectée par le traitement salin comme conséquence à la fois d'une réduction du nombre mais aussi de la taille des cellules (Skiryecz et Inzé, 2010). Cette modification morphologique est due à une contrainte osmotique primaire qui va être complétée plus tardivement à un stress ionique, principalement une déficience en K^+ et Ca^{2+} , et une accumulation du Na^+ et Cl^- (Teakle et Tyerman, 2010). La croissance des plantes est contrôlée par des signaux hormonaux (Heller, 1990). En effet, la diminution de l'expansion foliaire est soumise à un double contrôle, comprenant les équilibres hydriques et les signaux hormonaux provenant des racines qui sont responsables des perturbations de la vitesse d'élongation cellulaire (Munns *et al.*, 2000). Le stress hydrique dû au stress salin provoque une augmentation de la concentration en hormones inhibitrices de la croissance (Acide Abscissique (ABA)) dans la partie où il y a une réduction des concentrations en hormone stimulatrices de croissance telle que les cytokinines (Bois, 2005) et l'IAA et SA (Acide salicylique) (Wang *et al.*, 2001). Ceci résulte en une croissance réduite.

La pulvérisation de ces plants stressés par l'un des quatre hormones, l'IAA, IBA, Kn ou la BAP avec leurs trois niveaux 10, 20 et 30 p.p.m. a occasionné un accroissement remarquable de la surface foliaire par rapport à celle des plants témoins (non pulvérisés) avec des proportions différentes aux deux stades de croissance (tallage et montaison).

D'une façon générale le traitement hormonal a atténué l'effet néfaste du sel. Une augmentation similaire de la surface foliaire par application des phytohormones a été observé (Sriharan *et al.*, 2005; Vamil *et al.*, 2010).

Cette augmentation observée de la surface foliaire chez les plants stressés par le sel après les traitements hormonaux peut indiquer que l'application des phytohormones augmente l'efficacité de l'absorption, de la conservation et de l'utilisation de l'eau et par conséquent, il y a eu une augmentation rapide de la division cellulaire, de l'agrandissement des cellules et de l'accumulation des unités de construction (Javid *et al.*, 2011).

La chlorophylle est l'un des pigments les plus importants et est responsable de la couleur verte dans les plantes. Les changements dans les paramètres photosynthétiques pourraient potentiellement être utilisés comme méthode de dépistage de la tolérance à la salinité chez les plantes. C'est parce que les cultivars plus tolérants devraient présenter moins de perturbations dans les processus photosynthétiques (Belkhodja *et al.*, 1999).

Nos résultats signalent que le stress salin n'a exercé aucun effet dépressif sur la teneur en chlorophylle A au stade tallage. Par contre l'intensité du stress au stade montaison a causé une diminution remarquable surtout dans les milieux salins les plus élevés.

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La Chlorophylle B aussi est influencée négativement par le régime salin durant les deux stades de croissance dont les teneurs les plus basses sont notées pour les milieux salins les plus élevés 15000 mg/l NaCl. Notons que la teneur en Chlorophylle B est plus affectée durant le stade montaison.

Des résultats similaires ont été rapportés par plusieurs chercheurs chez différentes espèces végétales. Une diminution de la teneur en chlorophylle A été notée dans des conditions salines chez le *Triticum aestivum* L. (Iqbal *et al.*, 2006; Ashraf *et al.*, 2005), *Pouloonia imperialis* L. (Astorga *et al.*, 2010), Haricot (Beinsan *et al.*, 2003) et *Carthamus tinctorius* L. (Siddiqi *et al.*, 2009).

Concernant la teneur en caroténoïdes, le sel a provoqué une diminution remarquable chez les plants cultivés dans les milieux de stress les plus élevés aux deux stades de croissance. Signalons toujours que la teneur en caroténoïdes est globalement réduite au stade montaison par rapport au stade tallage. Les effets du sel sur les plantes dépendent à la fois de leur stade de développement et de la durée de l'exposition aux contraintes salines (Munns *et al.*, 1995; Munns et Termaat, 1986).

La réduction des concentrations de la chlorophylle est probablement due à l'effet inhibiteur des ions (Na^+ et Cl^-) accumulés dans le tissu foliaire sur la biosynthèse de différentes fractions de chlorophylle. Le NaCl a un effet antagoniste sur l'absorption de l'azote (N), qui est une composante essentielle de la structure de la molécule de chlorophylle (Feigin *et al.*, 1991; Grattan et Grievous, 1994). Entre autre la réduction de la concentration en chlorophylle en conditions de stress salin est attribuée à l'augmentation de l'activité des enzymes catalytiques, les chlorophyllases (Kaya *et al.*, 2002; Majumdar *et al.*, 1991; Levent *et al.*, 2008) et/ou désordre de la structure des chloroplastes qui provoque l'instabilité des complexes protéines-pigments (Sabir *et al.*, 2009).

De plus, il existe de fortes preuves que le sel affecte les métabolismes cellulaires et provoquer la dégénérescence des organites cellulaires (Abbas *et al.*, 2013; Iqbal *et al.*, 2006), inhibe la synthèse de l'acide 5-aminolévulinique, un précurseur de la chlorophylle (Santos, 2004), détruit les enzymes photosynthétiques (Youssef et Awad, 2008), diminue le taux d'assimilation du CO_2 important pour le fonctionnement du cycle de Calvin (Fryer *et al.*, 1998) et altère le PSII (Ashraf et Harris, 2004).

D'un autre côté la diminution de l'activité photosynthétique, lors d'un stress salin, est en relation avec la surface foliaire dont l'expansion foliaire réduite entraînant une accumulation des glucides inutilisés dans les tissus en croissance peut générer des signaux de rétroaction pour

réguler la photosynthèse (Cramer et Bowman, 1991; Fricke *et al.*, 2004; Passioura et Munns 2000; Munns *et al.*, 2000).

Effectivement, nos résultats de l'analyse de la composante principale (ACP) confirment l'existence d'une corrélation positive entre la surface foliaire et les pigments chlorophylliens.

En tant que pigments accessoires, les caroténoïdes participent à des processus de transfert d'électron photoinduit et protègent les dommages photooxydative de la chlorophylle (Rodriguez *et al.*, 1997). La diminution de la teneur totale en caroténoïdes (TCC) peut être expliquée en raison soit d'un taux de synthèse faible, soit d'une dégradation accrue induite par les espèces réactives d'oxygène (ROS). Ainsi, cela a été proposé par de nombreux auteurs. De plus, il existe de fortes preuves que le sel affecte les enzymes photosynthétiques, les chlorophylles et les caroténoïdes (Stepien et Klobus, 2006).

Le traitement hormonal a provoqué une augmentation en teneur de la chlorophylle A, B et Caroténoïdes selon la dose, le type d'hormone et les niveaux de sel pour les deux stades de croissance.

Les plants stressés et traités par les différentes phytohormones avec leurs trois doses durant les deux stades de croissances ont enregistré un accroissement notable de la chlorophylle (A et B) et caroténoïdes. Cette augmentation diffère selon le type d'hormone et la dose appliquée.

L'augmentation de la teneur en chlorophylle et en caroténoïdes par l'application des régulateurs de croissance a été observée par plusieurs chercheurs. un accroissement général du contenu des pigments avec des traitements phytohormonaux a été enregistré chez les plantes de maïs, de blé, de coton, de fèves et de persil, surtout chez les plantes de coton et de persil (Iqbal *et al.*, 2006). Ceci peut être dû à l'inhibition de la dégradation des pigments ou à la stimulation de la synthèse protochlorophylle par phytohormones. D'une façon générale, les phytohormones jouent un rôle important dans la modération des effets de la salinité sur les traits photosynthétiques et la stabilité membranaire (Pazuki *et al.*, 2013).

Pour limiter les conséquences d'un stress osmotique, les cellules doivent mettre en place un dispositif permettant le maintien de l'absorption d'eau et la protection des structures les plus sensibles comme les membranes et les systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes, c'est la stratégie de l'ajustement osmotique (Radhouane, 2013).

Les métabolites impliqués dans cet ajustement sont assez variés, parmi eux, on évoque fréquemment les sucres solubles et la proline (Monneveux, 1991). L'accumulation de ces composés varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité (Ashraf, 2002).

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus dans ce travail montrent que les teneurs en proline des feuilles des plants soumis au stress salin, sont plus élevées que celles des plants bien alimentés en eau et sans adjonction de sel. Ces teneurs sont toutefois, d'autant plus importantes que le niveau du sel dans le milieu de culture est élevé durant les deux stades de croissance.

L'accumulation rapide de la proline est une réponse typique au stress salin et des réactions similaires ont été observées par des chercheurs antérieurs chez le riz (Lin *et al.*, 2002). La proline accumulée dans différentes espèces végétales en raison du stress hydrique est induite soit par l'addition de sels, soit par la diminution de la teneur en eau (Buhl *et al.*, 1983; Singh *et al.*, 1973; Tall *et al.*, 1979). Dans d'autres recherches sur l'orge *Hordeum vulgare* L., il a été rapporté que la proline est un composant réducteur de la pression d'osmose en réponse à l'augmentation de la salinité (Ueda *et al.*, 2007). En outre, l'augmentation de la teneur en proline chez le coton (Desingh *et al.*, 2007) et du blé (Khan *et al.*, 2004) a été synchronisée avec l'augmentation du niveau de salinité. Dans les feuilles de nombreuses plantes soumises à un stress modéré ou sévère, un changement frappant dans le métabolisme de l'azote est l'accumulation de la proline libre à la suite de la synthèse de novo de l'acide glutamate a été marqué (Bogges *et al.*, 1976; Morris *et al.*, 1969). Ainsi, la proline accumulée pourrait être considérée comme un composé azoté de stockage (Barnett *et al.*, 1966) et/ou un produit d'adaptation métabolique (Singh *et al.*, 1973).

L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires: stimulation de sa synthèse (Bogges *et al.*, 1976), inhibition de son oxydation (Rayapati et Stewart, 1991) et/ou altération de la biosynthèse des protéines (Stewart *et al.*, 1977). L'augmentation de la concentration de proline cytoplasmique est consécutive d'une intensification de la transformation de l'acide glutamique en proline ou également via l'arginine et l'ornithine comme précurseurs (Lignowski et Slittstoesser, 1971; Messedi *et al.*, 2006).

Des études récentes ont proposé que les phytohormones jouent un rôle important dans la régulation et le contrôle du métabolisme de la proline durant la tolérance à la salinité (Iqbal *et al.*, 2014).

Nos résultats montrent qu'après pulvérisation des phytohormones, l'accumulation de la proline est considérablement retardée, quel que soit le type et le niveau de phytohormone aux deux stades de croissance. Ce retard est plus remarquable au stade tallage.

Ces résultats sont en accord avec ceux de nombreux chercheurs qui rapportent que l'accumulation de ces composés varie dans de larges proportions suivant le stade de développement et le niveau de la salinité (Ashraf, 2002). Il a été signalé que l'application de l'hormone cytokinine avec la concentration de 50 mg/l a augmenté de 37,73% de la chlorophylle

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

et a diminué de 16,58% d'acide aminé proline. Également, l'hormone auxine avec la concentration de 10 et 20 mg/l a augmenté 22,78% de chlorophylle a et a diminué 18,02% de proline chez le maïs cultivar KSC 704 (Immamul et Larher, 1983; Ali mahrokh *et al.*, 2016).

La diminution de la teneur en proline après le traitement de phytohormone peut être due à l'arrêt de la rupture de la protéine. La pulvérisation des biorégulateurs sur les plantes stressées par la salinité réduit les activités enzymatiques de la peroxydase et la catalase qui sont les enzymes responsables des activités de piégeage des super oxydes (Sangeeta et Varshney, 1991). Si l'accumulation de proline est considérée comme une indication de stress, ainsi on peut dire que, l'application exogène des hormones de croissance semble soit pour protéger la plante contre ce stress salin. Par conséquent, la synthèse de la proline est retardée et/ou elle joue un rôle spécifique dans les transformations de proline à d'autres constituants de croissance.

Notre expérimentation révèle l'existence d'une corrélation négative entre la teneur en proline et la teneur en pigments chlorophylliens chez les plants stressés non pulvérisés par les hormones et les plants stressés et pulvérisés par les hormones.

Plusieurs recherches signalent que chez le blé, l'augmentation de la proline est toujours accompagnée par une diminution en pigments chlorophylliens, Ces résultats suggèrent l'existence d'une compétition entre les voies de biosynthèse des pigments chlorophylliens et de la proline sur leur précurseur commun, le glutamate (Tahri *et al.*, 1998; Reddy et Veeranjanyulu, 1991; Grennan, 2006). Il semble que la stimulation de la synthèse de la proline soit parallèle à une activation globale d'une voie métabolique partant du glutamate semi aldéhyde et conduisant à la proline (Levigneron *et al.*, 1995).

En ce qui concerne les sucres solubles, les résultats obtenus, dans les conditions de cette expérimentation, semblent indiquer que les teneurs en sucres solubles des feuilles des plants de blé cultivés sous conditions de stress salin, sont plus élevées que celles des plants cultivés dans le milieu 0 mg/l NaCl. Un accroissement de la teneur surtout pour le stade montaison est marqué chez les plants cultivés dans les milieux 10000 et 15000 mg/l NaCl.

Ces augmentations de la teneur en sucres solubles, en présence d'une contrainte saline, ont été observées chez le haricot (très sensible) et le riz (sensible) (Rather, 1984). Des résultats analogues ont été également observés chez la tournesol (El Midaoui *et al.*, 1999a), le blé tendre (Datta *et al.*, 2009), l'orge (Hassani *et al.*, 2008) et la tomate (Khavarinejad et Mostafi, 1998).

L'augmentation de la teneur en sucres solubles est favorisée en pulvérisant la partie aérienne par les phytohormones des plants stressés. Cette augmentation est plus marquée au stade montaison où le stress devient plus sévère, Ces résultats ont également été obtenus en travaillant sur l'effet interactif de la salinité et des phytohormones (Hamdia and shaddad, 2010),

ainsi l'application de phytohormones a entraîné une augmentation considérable des glucides chez le haricot et le maïs (Ahmed *et al.*, (1989). En effet, outre leur incidence osmotique, les sucres peuvent protéger les membranes et les protéines contre la déshydratation Il a été montré que certains sucres, comme le tréhalose, en se liant aux lipides membranaires, pourrait stabiliser la structure lipidique des membranes pendant la dessiccation. (David *et al.*, 1998; Binet, 1989),

L'augmentation de ces composés résultants d'un blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une forte hydrolyse de l'amidon est observée Chez diverses espèces, plus ou moins résistantes (Asloum, 1990).

Nos résultats indiquent que l'accumulation des sucres solubles chez le blé au stade montaison reflètent bien l'état de la plante en situation de contrainte saline, L'accumulation élevée de ces composés, à ce stade de développement (montaison), peut être lié à notre avis à l'intensité du stress. On peut penser que leur accumulation massive constituerait une réserve pour le remplissage des grains surtout quand l'assimilation foliaire est réduite par la contrainte saline.

CONCLUSION GENERALE

La salinité affecte la croissance des végétaux à travers de nombreux mécanismes du métabolisme cellulaire, tels que l'altération de la photosynthèse, l'accumulation des solutés organiques et des perturbations de concentrations des régulateurs de croissance (déséquilibre hormonal). Face à ce stress salin, les plantes développent une série de mécanismes qui peuvent être d'ordre morphologique, biochimique, physiologique.

Le travail mené dans cette thèse, nous a permis de tester l'impact du sel et son interaction avec les phytohormones sur quelques paramètres physiologiques et morphologique (teneur en proline, sucres solubles totaux, pigment chlorophylliens et surface foliaire) chez la variété de blé dur étudiées (Kebir) en deux stades de croissance (tallage et montaison).

Nos résultats montrent que le sel est un facteur de stress abiotique qui limite la croissance et la productivité des plantes. Face à un stress salin les plantes réduisent la surface foliaire. L'impact du sel sur l'expansion foliaire des plants testés uniquement par le sel (non pulvérisés par les hormones de croissance) est plus marqué avec une réduction importante de la surface foliaire en présence des fortes concentrations en NaCl (10000 et 15000 mg/l NaCl).

La salinité affecte négativement la surface foliaire pour les deux stades de croissance. Notons que la réduction de cette dernière est plus marquée au stade montaison.

Dans l'ensemble, le traitement par l'un des quatre hormones avec les différentes doses atténue l'effet néfaste du sel et aboutit à un accroissement remarquable de la surface foliaire.

Lors d'un stress hydrique, la diminution de l'activité photosynthétique est en relation avec la surface foliaire. L'expansion foliaire réduite cause une accumulation des glucides inutilisés dans les tissus en croissance et cela peut générer des signaux de rétroaction pour réguler la photosynthèse.

Nos résultats signalent que le stress salin n'affecte pas la chlorophylle A au stade tallage. Par contre l'intensité du stress au stade montaison cause une diminution des teneurs en Chlorophylle A, dont les moyennes les plus basses sont enregistrées pour le milieu salin 15000 mg/l NaCl.

Les teneurs en Chlorophylle B et caroténoïdes sont influencées négativement par le régime salin durant les deux stades de croissance dont les teneurs les plus basses sont notées pour le milieu salin le plus élevé de 15000 mg/l NaCl. Il est à signaler aussi que les teneurs en Chlorophylle A, B et en caroténoïdes sont plus affectées durant le stade montaison où le stress devient plus sévère.

Les réactions physiologiques et biochimiques du blé face à cette contrainte saline montrent que certaines variables biochimiques telles que les sucres solubles et l'acide aminé proline ont été modifiés et perturbés. Ces perturbations sont généralement des réponses directes

CONCLUSION GENERALE

au stress salin. La modification de ces composantes permet de comprendre l'adaptation et le comportement du végétal dans les conditions salines et définir les critères physiologiques de la tolérance au sel.

Nos résultats montrent que les teneurs en proline des feuilles des plants soumis au stress salin, sont plus élevées que celles des plants bien alimentés en eau et sans adjonction de sel. Ces teneurs sont toutefois, d'autant plus importantes que le niveau du sel dans le milieu de culture est élevé (10000 mg/l et 15000 mg/l NaCl) pour les deux stades de croissance.

Les phytohormones jouent un rôle important dans la régulation et le contrôle du métabolisme de la proline durant la tolérance à la salinité. Nos résultats montrent qu'après pulvérisation des phytohormones, l'accumulation de la proline est considérablement retardée quel que soit le niveau de phytohormone aux deux stades de croissance. Ce retard est plus remarquable au stade tallage.

En ce qui concerne les sucres solubles, les résultats obtenus semblent indiquer que les teneurs en sucres solubles, des feuilles des plants de blé cultivés sous conditions de stress salin, sont plus élevées que celles des plants cultivés dans le milieu 0 mg/l NaCl. Un accroissement de la teneur pour le stade montaison est marqué chez les plants cultivés dans les milieux 10000 et 15000 mg/l NaCl.

L'augmentation de la teneur en sucres solubles est plus favorisée par l'application du traitement hormonal aux plants cultivés dans les trois milieux 10000 mg/l, 15000 mg/l et 0 mg/l NaCl. Cette augmentation est plus marquée au stade montaison où le stress devient plus sévère.

Nos résultats révèlent l'existence d'une corrélation positive entre les pigments chlorophylliens et la surface foliaire et une autre négative entre ces deux derniers et la teneur en proline et en sucres solubles durant les deux stades de croissances.

D'après notre étude, il est recommandé d'estimer la concentration endogène des différentes hormones des plants étudiés avant l'application du traitement hormonal pour le bon choix des concentrations appropriées et élargir l'étude avec d'autre expérimentation en plein champ.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Abbas T., Pervez M. A., Ayyub C. M. and Ahmad R., 2013.** “Assessment of Morphological, Antioxidant, Biochemical and Ionic Responses of Salt Tolerant and Salt Sensitive Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) under Saline Regime,” *Pak. j. life soc. Sci.*, *11(2): 147-153.*
 - **Abbassenne F., BouzerzourH et Hachemi L., 1998.** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf) .en zone semi-aride. Annales agronomiques institut national agronomique, El Harrach, 18 : 24-36.
 - **Abd El-Samad and Shaddad M. A. K., 2014.** The Exogenous Amelioration Roles of Growth Regulators on Crop Plants Grow under Different Osmotic Potential, *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, Vol. 10 No. 1 2014, pp. 203-213.
 - **Abdel Latef A. A., 2010.** Changes of antioxidative enzymes in salinity tolerance among different wheat cultivars. *Cereal Res. Comm.* 38, 43–55.
 - **Afzal I., Basra S. and Iqbal A., 2005.** The effect of seed soaking with plant growth regulators on seedling vigor of wheat under salinity stress. *J Stress Physiol Biochem* 1: 6-14.
 - **Ahmed A. M., A. F. Radi, M. A. Shaddad and M. A. EL-Tayeb, 1989.** Effects of phytohormones on carbohydrates and nitrogen metabolism of some drought stressed crop plants *Journal of Islamic Academy of Sciences* 2:2, 93-99,
 - **Alem C., M. Labhilili, K. Brahmi, M. Jlibene, N. Nasrallah et A. Filali-Maltouf, 2002.** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C. R. Biologies*, 325, 1097-1109.
 - **Ali Y., Aslam Z., Ashraf M. Y. and Tahir G. R., 2004.** Effect of salinity on chlorophyll concentration, leaf area, yield and yield components of rice genotypes grown under saline environment. *International Journal of Environmental Science & Technology*. 1: 221-225.
 - **Ali mahrokh, Majid Nabipour, Habib Alah Roshanfekar Dezfouli, and Rajab choukan, 2016.** The effect of auxine and cytokinin hormones concentration on photosynthetic pigments and proline amino acid under drought stress condition in maize hybrid 704 *Plant Process and Function Scientific Journal Iranian Society of Plant Physiology* .Volume 5, Number 16 (Vol. 5, No. 16).
 - **Alvarez S., Marsh E. L., Schroeder S. G. and Schachtman D. P., 2008.** Metabolomic and proteomic changes in the xylem sap of maize under drought. *Plant, Cell & Environment*, 31:325-340.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Araus J. L., Villegas D., Aparicio N., Garcia del Moral L. F., El Hani S., Rharrabti Y., Ferrio J. P. and Royo C., 2003.** Environmental factors determining carbon isotope discrimination and yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Crop Sci.*, (43):170-180.
 - **Arbaoui M., Benkhalifa M. et Belkhouja M., 1999 b.** La réponse métabolique de la tomate industrielle (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) au choc salin, cultivée dans un sol sableux mélangé à la bentonite. Université de Sénia, Oran, Algérie. Séminaire 02, Ouargla 08-10 Novembre 1999 Agronomie et Hydraulique en zone Aride et Semi Aride.
 - **Arfang B., 2011.** Effets du biochar sur les activités Microbiologiques du sol sous forts Intrants azotes (maraichage). thèse de magistère. Université Dakar.
 - **Ashraf M., 2002.** Salt tolerance of cotton: some new advances, *Crit. Rev. Plant Sci.* 21 1–30.
 - **Ashraf M. and P. J. C. Harris, 2004.** Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sci.*, 166: 3-6.
 - **Ashraf M. and M. R. Foolad, 2005.** Pre-sowing seed treatment—a shotgun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy*, 88: 223-271. 15.
 - **Ashraf M. and Foolad M. R., 2007.** Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot.* 59 (2) : 206–216.
 - **Asloum H., 1990.** Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicon esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis: 24- 32.
 - **Astorga GI. and Melendez LA., 2010.** Salinity effects on protein content, lipid peroxidation, pigments, and proline in *Paulownia imperialis* and *Paulownia fortunei* grown in vitro. *Electronic Journal of Biotechnology.*, 13(5): 1-15.
 - **Aubert, G. 1983.** Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodiques. *Cah. ORSTOM Ser. Péd.*, Vol. XX N°1, pp73-78.
 - **Bahlouli F., Bouzerzour H. and Benmahamad A., 2005b.** Selection of stable and high yielding cultivar of durum wheat under semi-aride conditions. *Pakistan journal of agronomy* 4: 360p.
 - **Baize D., 2000.** Guide des analyses en pédologie, 2ème édition revue et augmentée. Edition I.N.R.A, Paris, France.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Baldy C., 1984.** Utilisation efficace de l'eau par la végétation en climats méditerranéennes. Bull. soc. Botan. Fr 131(2.3.4) Actuel Botan. 491-499.
 - **Baldy C.H., 1992.** Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en méditerranée occidentale. Dans: tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale, Montpellier. Les colloques de l'INRA, 64: 83-100.
 - **Baldy C., 1974.** Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques et de leurs influences sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. Versailles: Inra, Département de bioclimatologie ; ministère de l'Agriculture.
 - **Barotin J., 2004.** Plant water relations as affected : A review. Journal of Plant Nutrition; Vol/Issue: 13:1; 1-37.
 - **Barnett NM. and Naylor AW., 1966.** Amino acids and Protein metabolism in Bermuda grass during water stress. Plant Physiol41:1222-1230.
 - **Barron C., Abécassis J., Chaurand M., Lullien-Pellerin V., Mabile F., Rouau X., Sadoudi A. et Samson M.F., 2012.** Accès à des molécules d'intérêt par fractionnement par voie sèche. Innovations Agronomiques 19, 51-62.
 - **Bartels D. and Sunkar R., 2005.** Drought and salt tolerance in plants.Crit. Rev. Plant Sci. 24(1): 23–58.
 - **Bayuelo – Jimenez J. S., Debouck, D.G. and Lynch, J. P., 2002.** Salinity tolerance of Phaseolus species during germination and early seedling growth.Crop Sci. pp2184-2192.
 - **Beinsan C., Camen D., Sumalan R. and Babau M., 2003.** Study concerning salt stress effect on leaf area dynamics and chlorophyll content in four bean local landraces from Banat ares.Fac. Hortic.,119: 416- 419.
 - **Belaid D., 1986.** Aspect de la céréaliculture algérienne, Ed- O.P.U, 217p.
 - **Belaid D., 1987.** Etude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé dur (Hedba3) en conditions de déficit hydrique, Mémoire de magistère. I.N.A 108p.
 - **Belkhodja R., Morales F., Abadia A., Medrano, H. and ABADIA J., 1999.** Effects of salinity on chlorophyll fluorescence and photosynthesis of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under a tripleline- source sprinkler system in the field. In Photosynthe- tica, vol. 36, 1999, no. 3, pp. 375–387.
 - **Belkhodja M. et Bidai Y., 2004.** Réponse de la germination des graines d'*Atriplex halimus* L. sous stress salin. Revue Sécheresse, 15(4): 331-335.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Benkhelif M., Arbaoui M. et Belkhouja M., 1999.** Effets combinés de la salinité et de la bentonite sur la densité racinaire d'une culture de tomate cultivée sur un substrat sableux. Séminaire National sur la Salinisation des terres Agricoles en Algérie, Chlef: 101- 108.
 - **Ben Naceur M., C. Rahmoune, H. Sdiri, M. L. Meddahi et M. Selmi, 2001.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés magrébines de blé. Science, Changements Planétaires et Sécheresse 12 : 167 - 174.
 - **Bill I., 2007.** La biologie de A à Z : 1100 définitions. Ed. Dunod, Paris, pp 123.
 - **Binet P., 1989.** Métabolisme et adaptation des végétaux supérieurs aux contraintes hydriques, thermiques et salines. Bull. Ecol., 20(1):41-49.
 - **Bizid E., Zid E. et Grignon C., 1988.** Tolérance au NaCl et sélectivité K^+ / Na^+ chez les Triticales. Agronomie, 8, 1: 23-27.
 - **Bogges S. F., Aspihall D. and Paleg L. G., 1976.** Stress metabolism. IX. The significance of endproduct inhibition of proline synthesis and of compartmentation in relation to stress-induced proline accumulation. Aust. J. Plant Physiol., 3, pp. 513-525.
 - **BOIS G., 2005.** Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et soclique. Thèse de doctorat. 187p
 - **Bonjean A., 2001.** Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Dossier de l'environnement de l'INRA, 21 :29-37.
 - **Boufnar H., Zaghouane F. et Zaghoun O., 2006.** Guide des principales variétés des céréales à pailles cultivées en Algérie. 1er Ed. ITGC, Alger.
 - **Boyeldieu J., 1999.** Encyclopédie des techniques agricoles: production végétale-Blé Tendre- Ed : Paris.20-20.
 - **Bozzini A., 1988.** Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. in Fabriani G. et C. Lintas (éd). Durum: Chemistry and Technology. AACCC (Minnesota), États-Unis. p. 1-16.
 - **Brini F., Gaxiola R. A., Berkowitz G. A. and Masmoudi K., 2005.** Cloning and characterization of a wheat vacuolar cation/proton antiporter and pyrophosphatase proton pump. Plant Physiology and Biochemistry 43, 347–354.
 - **Brugnoli E. and Lauteri M., 1991.** Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity, and carbon isotope discrimination of salt-tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and salt-sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C3 non halophytes. Plant Physiol., 95, 628-935.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Buchanan B., Gruissem B. and Jones RL., 2000.** Biochemistry and Molecular Biology of Plants. Am. Soc. Plant Physiol., Rockville, Maryland.
 - **Buhl MB. and Stewart CR., 1983.** Effects of NaCl on proline synthesis and utilization excised barley leaves. -Plant Physiol 72:664-667.
 - **Calvet R., 2003.** Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole, 511 p.
 - **Calu, G., 2006.** Effet du stress salin sur les plantes. Comparaison entre deux plantes modèles : *Arabidopsis thaliana* et *Thellungiella halophila*. Master 1, Recherche biotechnologie : du gène à la molécule SpectroSciences, article 23, 10 p.
 - **Cécile V., (ATER). 2014.** Le stress salin (Salt stress), Ed LGBP (Laboratoire de génétique et biophysique des plantes- UMR 6191 –CEA) APE - Master MBVB, p52.
 - **Chapman G.P., 2009.** Grass evolution and domestication. Grass evolution and domestication, xviii + 390 pp.
 - **Chartzoulakis K. and Kiapaki G., 2000.** Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during différent growth stages. Sci. Hortic. 86, 247-260.
 - **Cheeseman J. M., 1988.** Mechanisms of salinity tolerance in plants. *Plant Physiol.*, 87: 547-550.
 - **Chennafi H., Bouzerzour H., Saci A., Chenafi A. et Laib M.A., 2008b.** Amélioration de l'agriculture pluviale en environnement semi-aride. In: *Proceedings du séminaire national sur les contraintes à la production du blé dur en Algérie. Université Chlef, le 29 et 30 novembre 2008, p: 62-68.*
 - **Cheftel J. C. et Cheftel H., 1977.** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Technique et Documentation Lavoisier, Paris, pp. 105-130.
 - **Chérif Oamri, 2016.** Objectifs de développement des filières stratégiques de l'Agriculture. MADRP. Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche.
 - **Clarke J. M., Norvell W. A., Clarke F. R. and Buckley T.W., 2002.** Concentration of cadmium other elements in the grain of near- isogenic durum lines. *Can. J. Plant Sci. /Revue canadienne de phytotechnie*, 82: 27-33pp.
 - **Clerget Y., 2011.** Biodiversité des céréales : Origine et évolution. Montbéliard. 17p.
 - **Cramer GR. and Bowman DC., 1991.** Kinetics of maize leaf elongation. I. Increased yield threshold limits short-term, steady-state elongation rates after exposure to salinity. *J.Exp. Bot.* 42:1417–26.
 - Cramer GR., 2002.** Sodium-calcium interactions under salinity stress. In: Läuchli, A, Lüttge U, eds. Salinity. Environment-plants-molecules Dordrecht: Kluwer, 205–227.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Datta J., Nag S., Banerjee A. and Mondal N., 2009.** Impact of salt stress on five varieties of wheat (*Triticum durum* L.) cultivars under laboratory condition. *Journal of Applied Sciences & Environmental Management.*, 13, 3, 93-97.
 - **David M.M., Coelho D., Bannote I., and Correira M. J., 1998.** Leaf age effects on photosynthetic activity and sugar accumulation in droughted and rewatered *Lupinus albus* plants. *Aust. J. physiol.* 25: 299-306.
 - **Davies P.J., 2004.** Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, Action. Kluwer, Dordrecht.
 - **Debez A., Chaibi W. et Bouzid S., 2001.** Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d' *Atriplex halimus* L. *Cah Agric* 10:135-138.
 - **Delauney A.J., Hu C-A.A., Kishor P.B.K. and Verma D.P.S., 1993.** Cloning of ornithine δ -aminotransferase cDNA from *Vigna aconitifolia* by trans-complementation in *Escherichia coli* and regulation of proline biosynthesis. *J Biol Chem.* 268:18673–18678.
 - **Denden M., T. Bettaieb, Alef Salhi et M. Mathlouthi, 2005.** Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales . *TROPICULTURA*, 23, 4, 220-225.
 - **Denden M., Ben Tina B. et Hlaoua W., 2008.** Caractéristiques morphologiques, anatomiques et physiologiques de tolérance à la sécheresse du pêcher, du poirier et du pommier. *Cahiers Agricultures* vol. 17, n°5.
 - **Desnigh R., and Kanagaraj G., 2007.** Influence of salinity stress on photosynthesis and antioxidative systems in two Cotton varieties. *Gen. Appl. Plant Physiol.* 33(3-4):221-234.
 - **Devos K. M., T. Millan and M. D. Gale, 1993.** Comparative RFLP maps of the homoeologous group2 chromosomes of wheat, rye and barley. *Theor. Appl. Genet.* 85: 784-792.
 - **DIAEA /DRHA /SEEN, 2008.** Direction de l'irrigation et de l'aménagement de l'espace Agricole, Service des Expérimentations, des Essais et de la Normalisation –Rabat.
 - **Diehl R., 1975.** *Agriculture générale.* Editions J.B.Baillière. 396.
 - **Dietz KJ., Tavakoli N., Kluge C., Mimura T., Sharma S., Harris G., Chardonnens A. and Golldack D., 2001.** Significance of the V-type ATPase for the adaptation to stressful growth conditions and its regulation on the molecular and biochemical level. *J Exp Bot.* 52:1969-1980.
 - **Dinon E. et Gerstmans, 2008.** L'Influence du pH sur l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes, Université de Liège.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Djermoun Abdelkadern, 2009.** La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques Revue Nature et Technologie. n° 01. Pages 45 à 53.
 - **Dreir W. and Goring M., 1974.** Der einfluss boher. Salzkonzentrationen auf physiologische parameter von aishwurzeln. Wiss. Der H. V. Berlin, Nath. Naturwiss, 23,641 – 646.
 - **Dubois M., Gilles A., Hamulton J., Rebers P. and Smith F., 1956.** Colorimetric method for determination of sugars and related substances *Anal, chem.*, 71, 808-814.
 - **Durand J.H., 1983.** Les sols irrigables, étude pédologique. Edit. Imprimerie, Paris 339 p.
 - **Duron B.S., 1999.** Le Transport Maritime des Céréales. Mémoire de D.E.S.S. Université d'Aix-Marseille, pp 81.
 - **Ehret D.L., Redmann R.E., Harvey B.L. and Cipywnyk A., 1990.** Plant Soil, 128, 143-15.
 - **Essington M. E., 2004.** Soil and water chemistry, an integrative approach. CRC Press, USA.
 - **El-Iklil Y., K. Mohammed, M. Rachid et B. Mohammed, 2002.** Effet du stress salin sur la variation de certains métabolites chez *Lycopersicon esculenta* et *Lycopersicon sheesmanii*. Canadian Journal of Plant Science 82 : 177 - 183.
 - **El Mekkaoui M., 1990.** Étude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le blé dur (*T. durum* Desf.) et l'orge (*H. vulgare* L.): recherches des tests précoces de sélection. Thèse de doctorat d'État, Montpellier.
 - **El Midaoui M., Talouizte A., Benbella M., and Bervillé A., 1999a.** Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to nitrogen and potassium deficiency. Helia. 22 (30), 139-148.
 - **El Midaoui M., Benbella M., Aït Houssaï A., Ibriz M. et Talouizte A., 2007.** CONTRIBUTION A L'ETUDE DE QUELQUES MECANISMES D'ADAPTATION A LA SALINITE CHEZ LE TOURNESOL CULTIVE (*Helianthus annuus* L.) Revue HTE N°136 • Mars 2007 :pp. 29 -34.
 - **Evans L.T., Wardlaw I.F. and Fischer R.A., 1975.** Wheat. In L.T. Evans, eds. Crop Physiology. Cambridge University Press. USA : 101-149.
 - **F.A.O., 2008.** Annuaire statistique de la FAO.
 - **FAO, 2016.** Production et consommation de blé dans le monde. www.planetoscope.com/cereales/191-production-mondiale-de-ble.html affichée le 8 avr. 2017 10:38:41 GMT.
 - **FAO, 2016.** Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales <http://www.fao.org/news/archive/newsbydate/2016/fr/>. affichée le 8 avr. 2017 20:03:19 GMT.
 - **Feillet P. 2000.** Le grain du blé, composition et utilisation. Ed. INRA: 17- 308pp.
 - **Feigin A., Pressman E., Imas P. and Milta O., 1991.** Combined effects of KNO₃ and salinity on yield and chemical composition of lettuce and Chinese cabbage. Irrig.Sci. 12, 223 – 230.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Fercha A., H. Gherroucha and M. Baka, 2011.** Improvement of salt tolerance in durum wheat by vitamin C application. *J. Stress Physiol. And Biochemistry*, 7(1): 27-37.
 - **Flowers TJ., 2004.** Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 55(396):307–319.
 - **Frédéric Hénin, 2017.** Production-mondiale-de-ble-2015-2016: <http://www.momagri.org/FR/articles/Production-mondiale-de-ble-2015-2016-Avec-une-recolte-attendue-en-hausse-la-France-fait-bande-a-part-1606.html>. Date de publication: 06/04/2017.
 - **Fricke W., Akhiyarova G., Veselov D. and Kudoyarova G., 2004.** Rapid and tissue-specific changes in ABA and in growth rate response to salinity in barley leaves. *J. Exp. Bot.* 55:1115–23.
 - **Fryer M. J., J. R. Andrews K. Oxborough D. A. Blowers and N. R. Baker, 1998.** “Relationship between CO₂ assimilation, photosynthetic electron transport, and active O₂ metabolism in leaves of maize in the field during periods of low temperature,” *Plant Physiology*, vol. 116, no. 2, pp. 571-580.
 - **Gadallah M. A. A., 1999.** Effects of proline and glycinebetaine on *Vicia faba* responses to salt stress. *Biol. Plant.*, 42, 249-257.
 - **Gate Ph., Giban M., Blondlot A., Braun Ph., Couleaud G., Jouy L., Laurent F., Lutton A. et Vignier L., 2003.** Stades du blé. Editions ITCF. 68 p.
 - **Gate Ph., 1995.** Écophysiologie de blé, édi. Lavoisier 365p.
 - **Gaucher G. et Burdins S., 1974.** Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. ed.p.u.f.paris, 231p.
 - **Greenway H. and Munns, R., 1980.** Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology* 3: 149-190.
 - **Gill B. S. and Kimber G., 1974.** Giemsa C-banding and the evolution of wheat. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 71, 4086-4090.
 - **Glass A. D. M. and Perley J. E., 1980.** Varietal differences in potassium uptake by barley. *Plant Physiol* 65 : 160-164.
 - **Gouia H., Ghorbal M. H. and Touraine B., 1994.** Effects of NaCl on flows of N⁺ and mineral ions on NO₃⁻ reduction rate within whole plants of salt-sensitive bean and salt-sensitive cotton. *Plant Physiol*, 105: 1409-1418.
 - **Grandcourt M. C. et Prats J., 1970.** Les céréales. 2e édition Revue et Augmentée. Editeurs J.-B. Baillière et Fils. pp 22.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Grattan S. R. and Grieve C. M., 1994.** Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, New York, pp. 203–226.
 - **Grennan A. K., 2006.** High impact abiotic stress in rice. An "Omic" approach. *Plant Physiology*, 140: 1139–1141.
 - **Grignac P., 1981.** Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen. Séminaire scientifique. Bari (Italie). Pp : 185-194.
 - **Guerrier G., 1996.** Fluxes of Na⁺, K⁺ and Cl⁻, and osmotic adjustment in *Lycopersicon pimpinellifolium* and *L. esculentum* during short and long-term exposure to NaCl. *Plant Physiol.*, 97, 583-591.
 - **Gul B., Khan M. A. and Weber D. J., 2000.** Alleviation salinity and dark enforced dormancy in *Allenrolfea occidentalis* seeds under various thermoperiods. *Aust J Bot* 48:745–752.
 - **Halitim A., 1973.** Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse de 3^{eme} cycle. Univ de Renne, 176 p.
 - **Halitim A., 1988.** Sols des régions arides d'Algérie. Office de Publications Universitaires, Alger: 39- 40.
 - **Hamadache A., 2001.** Stades et variétés de blé, document de vulgarisation. 22p.
 - **Hamdia M., Abd El-Samad and Shaddad M.A.K., 2014.** The Exogenous Amelioration Roles of Growth Regulators on Crop Plants Grow under Different Osmotic. *Potential Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, Vol. 10 No. 1, pp. 203-213 ISSN 1997- 0838.
 - **Hamdia M. and Shaddad M. A. K., 2010.** Salt tolerance of crop plants. *Journal of stress physiology and biochemistry* 6(3), 64-90.
 - **Hamza M., 1982.** Adaptations physiologiques à la salinité des plantes cultivées. *Bull. Soc. Ecophysiol.*, 7 (2), 169-184.
 - **Hamza M. et Acad C R., 1967.** *Sci. Paris*, 176 19, 97-2000.
 - **Hassani A., Dellal A., Belkhodja M. et Kaid- Harche M., 2008.** Effet de la Salinité Sur L'eau et Certains Osmolytes Chez L'orge (*Hordeum Vulgare* L.) *European Journal of Scientific Research*. Vol.23, n°1, pp.61-69.
 - **Hasegawa P.M., Bressan R. A., Zhu J. K. and Bohnert H. J., 2000.** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51, 463-499.
 - **Hayek T. et Abdelly C., 2004.** *Revue des Régions Arides*, Tome 1, No. Spécial., 273-284.
 - **Heller R. , 1990.** *Abiégé de physiologie végétale*. Tom 2. Développement 4^{eme} édition.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Heller R., Esnault R. et Lance C., 2004.** Physiologie végétale II, développement. Ed., Dunod, Paris, Pp. 64-240.
 - **Hegazi A., Abou-Bakr Z., Naim M. and Khalfallah A., 1998.** Effect of some antitranspirants on growth and some metabolic products of wheat plants under water interval irrigation systems. *The Desert Institute Bulletin* 48: 153-171.
 - **Hilal M., A. M. Zenoff G. Ponessa H. Moreno and E. D. Massa, 1998.** Saline stress alters the temporal patterns of xylem differentiation and alternative oxidative expression in developing soybean roots. *PlantPhysiol.*, **117**, 695-701.
 - **Hopkins W. G., 2003.** Physiologie végétale. 2^{ème} édition. De Boeck, Bruxelles: 61- 476.
 - **Hu Y., J. Fromm and U. Schmidhalter, 2005.** Effect of salinity on tissue architecture in expanding wheat leaves. *Planta*, 220 (6), 838-48.
 - **Immamul-Huq SM. and Larher F., 1983.** Effect of NaCl salinity on the growth and the nitrogen status of nodulated Cowpea (*Vigna sinensis* L.) and Mung bean (*Phaseolus aureus* L.) *Z –Pflanzenphysiol Bd* 112:79-87.
 - **Institut National des Sols, de L'Irrigation et du Drainage (INSID), 2008.** Sols Salins en Algérie.
 - **INRAA, 2016.** Importation de céréales: L'Algérie lance un nouvel appel d'offre. [http://inraa-veille.blogspot.com/2016/02/importation-de-cereales-l'Algérie mardi 9 février 2016](http://inraa-veille.blogspot.com/2016/02/importation-de-cereales-l-algerie-mardi-9-fevrier-2016).
 - **IPTRID-FAO, 2006.** Conférence électronique sur la salinisation : Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation.
 - **Iqbal N., M.Y. Ashraf, Farrukh Javed, Vicente Martinez and Kafeel Ahmad, 2006b.** Nitrate reduction and nutrient accumulation in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in soil salinization without different salts. *Journal Plant Nutrition* 29: 409-421.
 - **Iqbal M., Ashraf M. and Jamil A., 2006a.** Seed enhancement with cytokinins: changes in growth and grain yield in salt stressed wheat plants. *Plant Growth Regul.* 50: 29-39.
 - **Iqbal N.; Masood A. and Khan NA., 2012.** Phytohormones in salinity tolerance: ethylene and gibberellins cross talk. In: Khan NA, Nazar R, Iqbal N, Anjum NA (eds) *Phytohormones and abiotic stress tolerance in plants*. Springer, Berlin, pp 77–98.
 - **Iqbal N., Umar S., Khan N. A. and Khan MIR, 2014.** A new perspective of phytohormones in salinity tolerance: regulation of proline metabolism. *Environ. Exp Bot* 100:34–42.
 - **Itai C., 1999.** Role of phytohormones in plant responses to stresses. In: Lerner H.R. (ed). *Plant response to environmental stresses, from phytohormones to genome reorganization* Marcel Dekker Inc., Basel, NY, USA, pp. 287-301.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Jackson M., 1997.** Hormones from roots as signals for the shoots of stressed plants. *Trends in Plant Science* 2(1): 22–28.
 - **James R.A., Munns R. and Von Caemmerer S., 2006.** Photosynthetic capacity is related to the cellular and subcellular partitioning of Na⁺, K⁺, and Cl⁻ in salt-affected barley and durum wheat. *Plant, Cell and Environment*, 29: 2185–2197.
 - **Jamian S. S., Mehrani S., Asilan K.S., Tabrizi A.T. and Goharian A., 2014.** The Effects of Salinity Stress on Seed Germination and Seedling Growth of Three Medicinal Plants. *Intl J Farm and Alli Sci. Vol (3): 299-303, 300.*
 - **Javid M.G., Sorooshzadeh A., Moradi F., Sanavy S.A. and Allahdadi I., 2011.** The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. *Australian Journal of Crop Science* 5(6): 726- 734.
 - **Jean-Louis R. et El Hassan B., 2014.** Céréales et oléoprotéagineux au Maghreb. IPAMED (Institut de Prospective Economique Du Monde Méditerranéen.
 - **Jones H.G., 2007.** Monitoring plant and soil water status: established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 58: 119–131.
 - **Jouve P. et Daoudi A., 2001.** Effet de la date de semis sur l'élaboration du rendement du blé tendre et de l'orge en zone semis aride et aride cas du Maroc. *Agri.Tropic .Vol. 39 n°3 : 193-200.*
 - **Kalaji Hazem M. and Pietkiewicz S., 1993.** Salinity effects on plant growth and other physiological processes. *Acta Physiologiae Plantarum*.Vol. 15. N°. 2: 89-124.
 - **Karakas A., 2011.** Motivational Attitudes of ELT Students towards Using Computers for Writing and Communication. *The Journal of Teaching English with Technology*, 11(3), 37-53.
 - **Karou M., Haffid R., Smith D. N. and Samir K., 1998.** Roots and shoot growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early – season drought. *Agronomie*, 18: 182-186.
 - **Khavarinejad R. A. and Mostofi Y., 1998.** Effects of NaCl on photosynthetic pigments, saccharides, and chloroplast ultrastructure in leaves of tomato cultivars. *Photosynthetica*, 35: 151–154.
 - **Kawakami K., Umena Y., Kamiya N. and Shen JR., 2009.** Location of chloride and its possible functions in oxygen-evolving photosystem II revealed by X-ray crystallography. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106: 8567-8572.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Kayani S A., Naqvi H. H. and Ting I. P., 1990.** Salinity effects on germination and mobilization of reserves in jojoba seed. *Crop Sci.*, 30, 704-708.
 - **Kaya C., akbekir E., Higgs D. and murillo-amador B., 2002.** Influence of foliar – applied calcium nitrat on strawberry plants grown under salt-stressed conditions. *Aust. J. Exp. agric.* Vol(42) 5:631-636.
 - **Kaya C., Ashraf M., Dikilitas M. and Tuna A.L., 2013.** Alleviation of salt stress-induced adverse effects on maize plants by exogenous application of indole acetic acid (IAA) and inorganic nutrients – A field trial. In *Australian Journal of Crop Science*, vol. 7, no. 2, pp. 249–254.
 - **Kazan K., 2015.** Diverse roles of jasmonates and ethylene in abiotic stress tolerance, *Trends Plant Sci.* 20, 219–229.
 - **Keren R., 2000.** Salinity. In: Sumner M.E. (Ed). *Handbook of Soil Science*. CRC Press, NY,USA, pp G3-G25.
 - **Keskin BC., Sarikaya A.T., Yuksel B. and Memon A.R., 2010.** Abscisic acid regulated gene expression in bread wheat. *Aust J Crop Sci* 4: 617-625.
 - **Khan MIR and Khan NA., 2013.** Salicylic acid and jasmonates: approaches in abiotic stress tolerance. *J Plant Biochem Physiol* 1:e113.
 - **Khan W., Balakrishnan P. and Smith DL., 2004.** Photosynthetic responses of Corn and Soybean to foliar application of sodium chloride. *Journal of Agronomy and Crop Science.*, 179(3): 163-169.
 - **Kim T. H., B. R. Lee, W. J. Jung, K. Y. Kim, J. C. Avice and A. Ourry, 2004.** De novo protein synthesis in relation to ammonia and proline accumulation in water stress white clover. *Funct. Plant Biol.*, 31 : 847 855.
 - **Kosová K., Prášil IT. and Vítámvás P., 2013.** Protein Contribution to plant salinity response and tolerance acquisition. *Int. J. Mol. Sci.* 14: 6757-6789p.
 - **Kovda V.A., 1983.** Loss of productive land due to salinization. *Ambio*, 12: 91-93.
 - **Laaziza Ben Khaled, El Mostafa Ouarraqi and Ezzedine Zid, 2007.** Impact of NaCl on growth and nutrition of the variety of durum Massa cultured in hydroponic medium *Acta bot Gallica*, 2007, 154 (1): 101-116.
 - **Lachâal M., Abdelly C., Seleimi N., Hajji M., Soltani A. et Grignon C., 1997.** Recherche de critères physiologiques pour le tri de plantes tolérantes au sel. 6ème journée scientifique du réseau des biotechnologies végétales. *AUPELF-UREF*, pp: 283-289.
 - **Lakhdari F., 1986.** Influence de la salinité sur la croissance et la nutrition minérale d’une solanacée, la tomate. Thèse de doctorat d’État.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Lapina I. P. and popov, B. A.,1984.** Effect of sodium chloride on the photosynthetic apparatus of tomatoes. *Fiziol.rast.* 17: 580-585.
 - **Larcher W., 2001.** Physiologie plant écologie. 4th edition .Ed. Based on the translation of the third edition. P 350.
 - **Lebon E., Pellegrino A., Tardieu F. and Lecoeur J., 2004.** Shoot development in grapevine is affected by the modular branching pattern of the stem and intra and inter-shoot trophic competition. *Annals of Botany.* **93** : 263 -274 p.
 - **Leclerc J.C., 1999.** Ecophysiologie végétale – publications univ. Saint Etienne p 188- 235.
 - **Le Dily F., J. P. Billard, J. Le Saos and C. Huanlt, 1993.** Effects of NaCl on chlorophyll and proline levels during growth of radish cotyledons. *Plant Physiology and Biochemistry* 31 : 303 - 310.
 - **Leprince A.S., Thierry L. and Savouré A., 2003.** Signalisation cellulaire en réponse à la contrainte hydrique chez *Arabidopsis thaliana*. www.agricta.org/pubs/std.
 - **Levignegron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P. et Casse-Delbart F., 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*, 4 : 263-273.
 - **Levitt J., 1980.** Responses of plants to environmental stresses. Water radiation, salt and others stresses. Academic Press, New York, 2: 365- 406.
 - **Levent Tuna A., Kaya C., Dicitilas M., and Higgs D., 2008.** The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants. In *Environmental and Experimental Botany*, vol. 62, pp. 1–9.
 - **Lignowski E. M. and Splittstoesser W. E., 1971.** Arginine synthesis, proline synthesis and related process. In JOHN & THOMPSON (Eds): *The Biochemistry of plants*, 25, pp. 225-229.
 - **Lin C. C., T. Y. Hsu and H. C. Kao, 2002.** The effect of NaCl on proline accumulation in rice leaves. *Plant Growth Regul.*36: 275- 285.
 - **Li C., Junttila O., Ernsten A., Heino P. and Palva E.T., 2003.** Photoperiodic control of growth, cold acclimation and dormancy development in silver birch (*Betula pendula*) ecotypes. *Physiol. Plant.* 117: 206-212.
 - **Li X.J., M.F. Yang, H. Chen, L.Q. Qu, F. Chen and S.H. Shen, 2010.** Abscisic acid pretreatment enhances salt tolerance of rice seedlings: proteomic evidence, *BBA-Proteins Proteomics* 1804, 929–940.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Llorens J.M., 2001.** La méthode de raisonnement de la fertilisation PK un outil pour la fertilisation, COMOFER-GEMAS, 5^{ème} rencontre de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre, Blois, France, 27-29 Novembre.
 - **Maas E.V., 1986.** Appl. Agric. Res, 1, 12-26.
 - **Maas E. V., 1993.** Plant growth response to salt stress. H. Lieth and A. Al Masoom (eds) : Towards the Rational Use of High Salinity Tolerant Plant, vol 1 : 279-291.
 - **MADR (Ministère de l'Agriculture et du Développement rural), 2010.** Présentation de la politique du renouveau agricole et rural en Algérie et du programme quinquennal 2010-2014, Alger : 7 p.
 - **Majumdar S., Ghosh B. R., Glick and E. B. Dumbroff , 1991.** "Activities of Chlorophyllase, Phosphoenolpyruvate Carboxylase and Ribulose 1,5-biphosphate Carboxylase in Primary Leaves of Soybean during Senescence and Drought," *Physiologia Plantarum*, Vol. 81, No. 4, 1991, pp. 473-480.
 - **Majumder A. L., Sengupta S. and Goswami L., 2010.** Osmolyte regulation in abiotic stress. Chap. 16. Dans *Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation*. Sous la direction de A. Pareek, S.K. Sopory, H.J. Bohnert et Govindjee. p. 349–370.
 - **Mallek-Maale j. E., Boulasnem F. et Ben Salem M., 2004.** *Cahiers Agriculture*, 12, 153-156.
 - **Mansour M.M.F., 2003.** Transport proteins and salt tolerance in plants. *Plant Sci.* 164, 891–900.
 - **Martinez J. P., Silva H., Ledent J. F and Pinto M., 2007.** Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, 26(1): 30-38.
 - **Masle J. et Meynard J. M., 1981.** L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver. Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière, Thèse., Doctorat., INA, Paris, France, 274p.
 - **Masle et Meynard, 1980.** L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver- Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière. Thèse de docteur- ingénieur. INA-PG, paris, p 274.
 - **Mazouz L., 2006.** Étude de la contribution des paramètres phéno morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf) dans l'étage bioclimatique semi-aride, diplôme de magistère, p 12.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Meriem Barbouchi, Rachid Lhissou, Karem Chokmani, Riadh Abdelfattah, Abderrazak El Harti et Nadhira Ben Aissa, 2013.** Centre Eau Terre et Environnement Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE) 490 Rapport N° R1480..
 - **Messedi D., Siama L., Laabidi N., Ghnaya T., Savoure A., Soltani and Abdelly C., 2006.** Effect of nitrogen deficiency, salinity and drought on proline metabolism in *Sesuvium portulacastrum*. Biosaline Agriculture and Salinity Tolerance in Plants. Pp. 65-72.
 - **Michèle Mosiniak, Roger Prat et Jean-Claude Roland, 2006.** DU BLÉ AU PAIN. Biologie et Multimédia - Université Pierre et Marie Curie - UFR de Biologie.
 - **Mnif L. et Chaieb M., 2004.** Revue des Régions Arides, Tome 1, No spécial. 252-257.
 - **Moinuddin A., Fischer R., Sayre K. and Reynolds M. P., 2005.** Osmotic adjustment+ wheat in relation to grain yield under water deficit environments. *Agro. J.*, 97: 1062- 1071.
 - **Monneveux P. et Nemmar M., 1986.** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, (6), 583 590.
 - **Monneveux P., 1991.** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales. In *Amélioration des plantes par l'adaptation aux milieux aride*. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. 165-186.
 - **Moore K. J. and Moser LE., 1995.** Quantifying developmental morphology of perennial grasses. *Crop Science* 35: 37-43.
 - **Morant-Manceau A., Pradier E. and Tremblin G., 2004.** Osmotic adjustment, gas exchanges and chlorophyll fluorescence of a hexaploid triticale and its parental species under salt stress. *J. Plant Physiol.*, 161: 25–33.
 - **Morris CJ., Thompson JF. and Johanson CM., 1969.** Metabolism of glutamic acid and N-acetyl-glutamic acid in leaf discs and all free extracts of higher plants. - *Plant Physiol* 44:1023-1026.
 - **Moule C., 1971.** Céréales Tome II. La Maison Rustique. Paris.
 - **Munns R. and Termaat A., 1986.** Whol-plant responses to salinity, *Aust. J. Plant. Physiol.* (13): 143–160.
 - **Munns R., Schatman DP. and Condon AG., 1995.** The significance of a two - phase growth reponse to salinity in wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 22: 561-569 p.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Munns R, Guo J., Passioura JB. and Cramer GR., 2000.** Leaf water status controls day-time but not daily rates of leaf expansion in salt-treated barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 27:949–57.
 - **Munns R., 2002.** Comparative physiology of salt and Water stress. *Plant, cell and Environ.* 25: 239 - 250.
 - **Munns R., Richard A J. and Lauchli A., 2006.** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 57, No. 5, pp. 1025–1043.
 - **Munns R., 2006.** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25: 239–250.
 - **Munns R. and Tester M., 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. *Ann Rev Plant Physiol* 59:651–681.
 - **Munns R., 2010.** The impact of salinity stres. In: Blum, A. (ed.) *Plant Stres* (available at: <http://www.plant-stres.com/Articales/index.asp>).
 - **Nabors M. W., Gibbs S. E., Bernstein C. S. and Neis M. E., 1980.** NaCl tolerant tobacco plants from cultured cells. *Z.P.F Lauzen physiol*, 97, 13-17.
 - **Nilsen E. and Orcutt D.M., 1996.** The physiology of plants under stress - abiotic factors. Wiley, New York, pp. 118-130.
 - **Omami EN., Hammes PS. and Robbertse PJ., 2006.** Differences in salinity tolerance for growth and water-use efficiency in some amaranthe (*Amaranthus* spp.) genotypes. *New Zealand J. Crop Horticul. Sci.* 34: 11–22p.
 - **Ottow E., Brinker M., Fritz E., Teichmann T., Kaiser W., Brosche M., Kangasjarvi J., Jiang X and Polle A., 2005.** *Populus euphratica* displays apoplastic sodium accumulation, osmotic adjustment by decreases in calcium and soluble carbohydrates, and develops leaf succulence under salt stress 1. *Plant Physiology*, 139: 1762–1772.
 - **Panda A. K. and Das A. B., 2005.** Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, pp. 324-349.
 - **Pansu M., Gautheyrou J. et Layer J. Y ., 1998.** L’analyse du sol, échantillonnage, instrumentation et contrôle ; édition Masson, paris, 497P.
 - **Paul M.H., Planchon C. et Ecochard R., 1979.** Etude des relations entre le développement foliaire, le cycle de développement à la productivité chez le soja, *Ann. Amelio. Plantes*, 29 (5): 479-492.
 - **Parida A. K. and Das AB., 2004.** Effects of NaCl stress on nitrogen and phosphorous metabolism in a true mangrove *Bruguiera parviflora* grown under hydroponic culture. *J Plant Physiol* 161: 921-928.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Passioura JB. And Munns R., 2000.** Rapid environmental changes that affect leaf water status induce transient surges or pauses in leaf expansion rate. *Aust. J. Plant Physiol.* 27:941–48.
 - **Pazuki A., Sedghi, M., and Aflaki F., 2013.** Interaction of salinity and phytohormones on wheat photosynthetic traits and membrane stability. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*. 59: 33–41.).
 - **Prats J. et Graldcourt C., 1970.** Les céréales. Édition Baillière. 54-58 p.
 - **Prats J. et Graldcourt C., 1971.** Les céréales. Edition Bailliér. pp 351.
 - **Prevost P.H., 1999.** Les basses de l'agriculture. Ed II Paris- France 254p.
 - **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* 66:5114– 5129.
 - **Rather G., 1984.** Sucrose and starch content of plant parts as possible indicators for salt tolerance. *Aust.J. Plant Physiol.* 11, 491-495.
 - **Rayapati P. J. and Stewart C. R., 1991.** Solubilization of proline dehydrogenase from maize (*Zea mays* L.) mitochondria. *Plant Physiol.*, 95, pp. 787-791.
 - **Reddy M. P. and vora A.B., 1986.** S'alinity induced changes in pigment composition and chlonyphyllase activity in wheat. *indian J. Plant physiol.*29:331-334.
 - **Reddy P. S. and K. Veeranjanyulu,1991.** "Proline metabolism in senescing leaves of horsgram (*Macrotyloma uniflorum* Lam.)," *Journal of Plant Physiology*, vol.137, no. 3, pp. 381-383, 1991.
 - **Remy J. C. et Viaux P. H., 1980.** Evolution des engrais azotés dans le sol. Perspectives agricoles spéciales.
 - **Rezgui M., Bizid E. et Ben Mechlia N., 2004.** Revue des Régions Arides, Tome 1, No spécial, 258-265.
 - **Robert M., 1996.** Le sol interface dans l'environnement ressource pour le développement Ed. Masson. Paris ; 243 p.
 - **Rodriguez P., J. Dell'Amico, D. Morales M.J., Sanchez Blanco and J.J., Alarco, 1997.** Effects of salinity on growth, shoot water relations and root hydraulic conductivity in tomato plants. *J Agric.Sci.*, 128: 438-444.
 - **Roudani M., 1996.** Physiologie comparée de deux espèces de blé en relation avec les conditions de nutrition. Métabolisme racinaire en milieu salé. Thèse d'Uni. Sci. Biol. Univ. Tunis II, 180 p.
 - **Rozema J. and Flowers, T., 2008.** Crops for a salinized world. *Science* 322, 1478–1480.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Sabir P., Ashraf M., Hussain M. and Jamil A., 2009.** Relation ship of photosynthetic pigments and water relations with salt tolerance of Proso Millet (*Panicum Miliacum* L.) accessions. Pak. J. Bot., 41: 2957-2964.
 - **Sairam R.K. and Tyagi A., 2004.** Physiology and molecular biology of salinity stress tolérance in plants. Curr. Sci. 86 : 407–421.
 - **Sakhabutdinova A.R., Fatkhutdinova D.R., Bezrukova M.V. and Shakirova F.M., 2003.** Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. Bulg J Plant Physiol 314-319.
 - **Salama S., Trivedi S., Bushera M., Arafa A. A., Garab G. and Erdei L., 1994.** Effects of NaCl salinity on growth, cation accumulation, chloroplasts structure and function in wheat cultivars differing in salt tolerance. J. Plant Physiol., 144, 241-247.
 - **Sangeeta K. and Varshney KA., 1991.** Effect of Gibberellic Acid Maleic Hydrazide and Cycocel on Early Growth and Activities of Some Oxidoreductases in *Avena-Sativa* L. Indian Journal of Experimental Biology 29, 80-2.
 - **Santos C. V., 2004.** “Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves,” *Scientia Horticulturae*, vol. 103, no.1, pp. 93-99.
 - **Schopfer P., Liskay A., Bechtold M., Frahry G. and Wagner A., 2002.** Evidence that hydroxyl radicals mediate auxininduced extension growth. *Planta* 214:821–828.
 - **Schwab K. B. and Gaff D. F., 1986.** Sugar and ion content in leaf tissue of several droughts tolerant plants under water stress. J. Plant Physiol., 125: 257-265.
 - **Servant J.M., 1975.** Etude pédologique des sols halomorphes. Thèse. Doc. Uni. Montpellier, 194 p.
 - **Shabir H., Wani A., Vinay Kumar B., Varsha Shriram C. and Saroj Kumar Sahd, 2016.** Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *THE CROP JOURNAL* 4 1 6 2 – 1 7 6.
 - **Shao H. B., Liang Z. S. and Shao M. A., 2006a.** Osmotic regulation of 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes of soil water deficits. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 47:132-139.
 - **Shi H., Ishitani M., Kim C. and Zhu JK., 2000.** The Arabidopsis thaliana salt tolerance gene SOS1 encodes a putative Na⁺ / H⁺ antiporter. *Proc Natl Acad Sci U S A* 97: 6896-6901.
 - **Shi H. and Zhu J. K., 2002.** Regulation of expression of the vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter gene AtNHX1 by salt stress and abscisic acid. *Plant Mol. Biol.* 50(3): 543–550.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Siddiqi E.H., Ashraf M., Hussain M. and Jamil A., 2009.** Assessment of intercultural variation for salt tolerance in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) using gas exchange characteristics as selection criteria. Pak. J. Bot. 41(5): 2251-2259.
 - **Silva-Ortega C. O., Ochoa-Alfaro A. E., Reyes-Aguero J. A., Aguado-Santacruz G. A. and Jimenez-Bremont J. F. 2008.** Salt stress increases the expression of p5cs gene and induces proline accumulation in cactus pear. Plant Physiol. Biochem. 46(1) : 82–92.
 - **Singh T.N., Aspinall D., Paleg L.G. and Boggess S.F., 1973.** Stress metabolism. II-Changes in Proline concentration in excised plant tissues. -Aust J Biol Sci 26:57-63.
 - **Skiryecz A. and Inzé D., 2010.** More from less: Plant growth under limited water. Curr. Opin. Biotechnol. 21: 197–203p.
 - **Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. et Zid E. D., 2005.** Les céréales en Tunisie: production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Sécheresse (16) 3 :225-9.
 - **Snoussi S. A., Abdul Hussain K. H and Abdul Hussain M. S., 2005.** Dynamics of absorption of some biogenics salts at tomato and bean plant cultivated in saline medium. Original paper. Journal of Central European Agriculture 6 (2): 151-156.
 - **Soltner D., 1988.** phytotechnie spéciale, la grande production végétale 16 ème ED.Pp417.
 - **Soltner D., 1989.** Les bases de la production végétale. Tome I: Le sol, 17ème Ed. C.S.T.A., Angers, 468 p.
 - **Soltner D., 1998.** Les grandes productions végétales : Céréales, plantes sarclées, prairies, Sainte-Gemme-sur-laire, Sciences et Technologies Agricoles, pp 20-35.
 - **Soltner D., 1999.** Les grandes productions végétales, 19ème édition, édition Sciences et techniques agricoles «Le clos Lorelle » -49130 SAINTE- GEMMES- SUR-LOIRE. Page 29-34.
 - **Soltner D., 2005.** Les grandes productions végétales. 21 eme édition .Page : 39-41 et 71.
 - **Sritharan N., A. Aravazhi and M. Vanangamudi , 2005.** Effect of foliar spray of nutrients and plant growth regulators (PGRs) for yield maximization in blackgram. Mad. Agric. J., 92: 301-307.
 - **Stepien P. and Klobus G., 2006.** Water relations and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. leaves under salt stress. Biologia Plantarum. 50: 610- 616.
 - **Sun N. Z., 1994.** Inverse problems in groundwater modeling, Theory and applications of transport in porous media v. 6, Dordrecht, Boston: Kluwer Academic, 337 p.
 - **Surget A. et Barron C., 2005.** Histologie du grain de blé, Industrie des céréales, 145: 4-7.
 - **Stewart C.R., Boggess F., Aspinall D. and Paleg I.G., 1977.** Inhibition of proline oxidation by water stress. Plant Physiol., 59, pp. 930-932.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Szablouk I., 1994.** Prospects of soil salinity for the 21 st century trans. Int cong of soil sc, pp: 123- 141.
 - **Tahri E.H., A. Belabed et K. Sadki, 1998.** "Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*), "Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, no. 21, pp. 81-87, 1998.
 - **Tall M., Kaz A., Heikin H., and Dehan K. 1979.** Salt tolerance in the wild relatives of the cultivated Tomato: Proline accumulation in *Lycopersicon esculentum*, *L. Peruvianum* and *Solanum pennellii* under NaCl salinity. -New Phytol 82, 349, 1.
 - **Tal M., 1984.** Physiological genetics salt resistance in higher plants: studies on the level of the whole plant and isolated organs, tissues and cells. In : Steples RC, Toenniensen GA, eds. Salinity tolerance in Plants. Strategies for Crop Improvement. Wiley, New York : 301 - 320.
 - **Teakle NL. and Tyerman SD., 2010.** Mechanisms of Cl⁻ transport contributing to salt tolerance. Plant Cell Environ 33: 566-589.
 - **Tester M. and Davenport R., 2003.** Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. Ann Bot 91: 503-527.
 - **Touchard C., 2006.** Recherche de QTLs et choix de cibles stratégiques pour l'amélioration de la tolérance aux basses températures chez le Maïs. Thèse de doctorat. Université de technologie. Compiègne. Pp: 246.
 - **Touraine B. et Ammar M., 1985.** Agronomie, 5, 391-395.
 - **Trinchant J. C., Boscari A., Spennato G., Van de Sype G. and Le Rudulier D., 2004.** Proline Betaine Accumulation and Metabolism in Alfalfa Plants under NaCl Stress.Exploring Its Compartmentalization in Nodules Plant Physiology, Vol. 135, pp.1583-594.
 - **Troll W. J. and Lindsley, 1955.** A photometric method for the determination of proline; J.Biochem: 655-660.
 - **Ueda A., Yamane YY., and Takabe T., 2007.** Salt stress enhances proline utilization in the apical region of barley roots. Biochemical Research J., 355: 61-66.
 - **USSL (United States Salinity Laboratory), 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.US department of Agriculture, handbook n°60, U.S. Gov. Print.Office, Washington D.C.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Vamil R., A. U. Haq and R. K. Agnihotri , 2010.** Plant growth regulators as effective tool for germination and seedling growth for *Bambusa arundinacea*. Res. J. Agric. Sci., 1: 233-236.
 - **Vernon L. P. and Seely G. R., 1966.** The chlorophylls .Academic Press, New York, 79-80.
 - **Vilain, 1987.** La production végétale Volume I, les composantes du rendement. Ed, JB. Baillierie; Paris, 294p.
 - **Vlentin C., 1994.** Sècheresse et érosion au sahel Rev. Sècheresse, 5, 191-198.
 - **Wang Y. and Nil N., 2000.** Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. J. Hortic. Sci. Biotechnol, 75: 623–627.
 - **Wang Y., Mopper S. and Hasentein KH., 2001.** Effects of salinity on endogenous ABA, IAA, JA, and SA in *Iris hexagona*. J Chem Ecol 27: 327-342.
 - **Wardlaw I. F., 2002.** Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment .Annals of Botany, 90:469-476.
 - **Walkley A. and Black C. A., 1934.** An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and abproposal modification of the chromic acid titration method. Soil Science, Vol. 37, p. 29-38
 - **Xu F. S., 1990.** New genus and species of Polyplacophora (Mollusca) from the East China Sea. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 8.4: 375-377.
 - **Yoshida K., 2002.** Plant biotechnology genetic engineering to enhance plant salt tolerance.J. Biosci. Bioeng. 94, 585–590.
 - **Youssef T. and M. Awad, 2008.** “Mechanisms of enhancing photosynthetic gas exchange in date palm seedlings (*Phoenix dactylifera* L.) under salinity stress by a 5-aminolevulinic acid-based fertilizer ,”*Journal of Plant Growth Regulation*, vol.27, no. 1, pp. 1-9.
 - **Yusuf M., Fariduddin Q., Varshney P. and Ahmad A., 2012.** Salicylic acid minimizes nickel and/or salinity-induced toxicity in Indian mustard (*Brassicajuncea*) through an improved antioxidant system. Environ Sci Pollut Res 19:8–18.
 - **Zholkevich V. N. and Pustovoytova T. N., 1993.** The role of *Cucumis sativum* L leaves and content of phytohormones under soil drought. Russ J Plant Physiol 40:676-680.
 - **Zhu J. K., 2001.** Plant salt tolerance. Trends in Plant Sci.pp66-71.
 - **Zhu J. K., 2002.** Salt and drought stress signal transduction in plants. Ann. Rev. Plant Biol. 53, 247–273.
 - **Zhu J. K., 2003.** Regulation of ion homeostasis under salt stress. Curr. Opin. Plant Biol. 6(5): 441–445.
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Zid E. et Grignon C., 1991.** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, AUPELFUREF. Jon Libbey Eurotext, Paris, 91- 108.



ANNEXES

ANNEXE 1

Matrice de corrélation (Pearson (n)) :

Variables	ChAT	ChAM	ChBT	ChB M	CarT	CaM	PT	PM	ST	SM	SFT	SFM
ChAT	1	0.392	0.016	0.083	-0.044	-0.034	0.165	0.327	-0.133	-0.042	-0.161	0.030
ChAM	0.392	1	0.175	0.408	0.128	0.332	-0.194	-0.114	0.226	-0.402	0.322	0.294
ChBT	0.016	0.175	1	0.167	0.886	0.406	-0.505	-0.369	0.172	-0.580	0.448	0.518
ChB M	0.083	0.408	0.167	1	0.296	0.667	-0.290	-0.239	0.150	-0.319	0.388	0.137
CarT	-0.044	0.128	0.886	0.296	1	0.483	-0.388	-0.478	0.159	-0.627	0.432	0.404
CaM	-0.034	0.332	0.406	0.667	0.483	1	-0.274	-0.331	0.092	-0.381	0.470	0.381
PT	0.165	-0.194	-0.505	-0.290	-0.388	-0.274	1	0.562	-0.100	0.407	-0.499	-0.614
PM	0.327	-0.114	-0.369	-0.239	-0.478	-0.331	0.562	1	0.024	0.593	-0.324	-0.421
ST	-0.133	0.226	0.172	0.150	0.159	0.092	-0.100	0.024	1	-0.144	0.121	-0.105
SM	-0.042	-0.402	-0.580	-0.319	-0.627	-0.381	0.407	0.593	-0.144	1	-0.455	-0.360
SFT	-0.161	0.322	0.448	0.388	0.432	0.470	-0.499	-0.324	0.121	-0.455	1	0.518
SFM	0.030	0.294	0.518	0.137	0.404	0.381	-0.614	-0.421	-0.105	-0.360	0.518	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$.

Chlorophylle A au stade tallage: (ChAT)

Chlorophylle A au stade montaison: (ChAM)

Chlorophylle B au stade tallage: (ChBT)

Chlorophylle B au stade montaison:(ChBM)

Caroténoïdes au stade tallage: (CarT)

Caroténoïdes au stade montaison: (CarM)

Proline au stade tallage: (PT)

Proline au stademontaison: (PM)

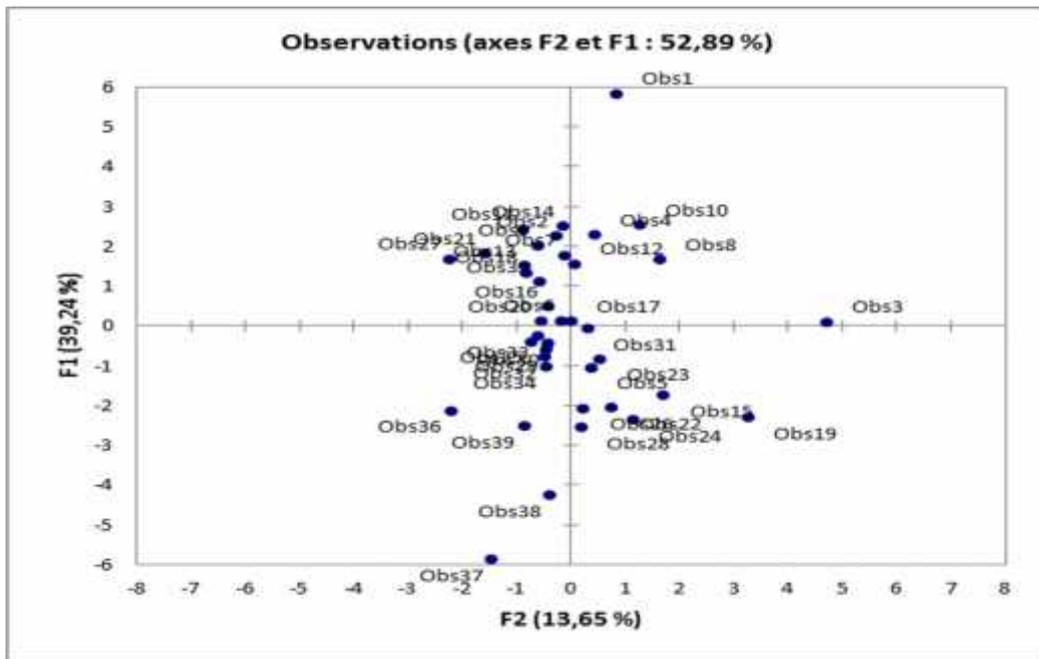
Sucres solubles au stade tallage: (ST)

Sucres solubles au stade montaison: (SM)

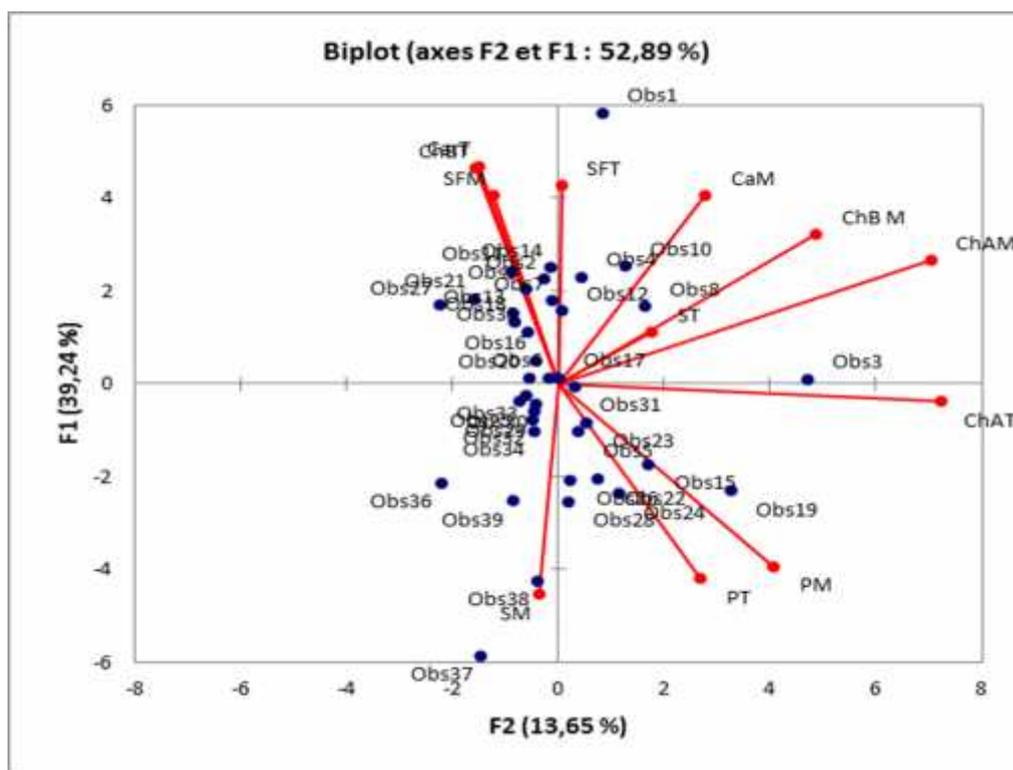
Surface foliaire au stade tallage: (SFT)

Surface foliaire au stade montaison: (SFM)

ANNEXES



Représentation graphique des points d'observations dans le plan factoriel 1-2.



Représentation graphique des points d'observations et des 12 variables dans le plan factoriel 1-2.

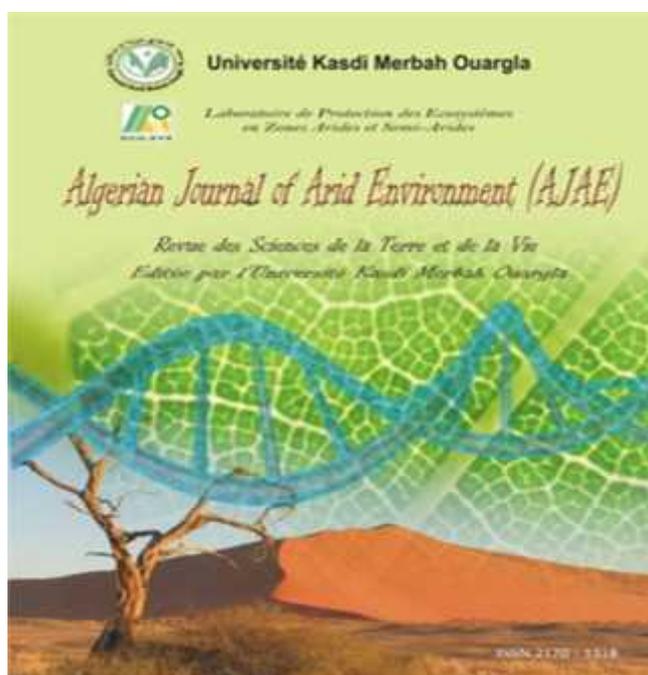
ANNEXE 2.

Publications:

Publication internationale 1.



Publication internationale 2.



Algerian Journal Of AridEnvironment "AJAE"

Revue des Sciences de la Terre et de la Vie

Éditée par l'Université KasdiMerbah Ouargla

ISSN 2170-1318

L'impact factor est de 0,654 dans global impact factor en 2015.

[Algerian Journal of Arid Environment | Global Impact Factor](#)

Le DOI: S10.12816/0008911

EFFET DU STRESS SALIN SUR LA TENEUR EN EAU ET CERTAINS OSMOLYTES CHEZ LE BLE DUR *Triticum durum* var KEBIR PULVERISE PAR UNE PHYTOHORMONE SYNTHETISEE: BENZYL-AMINO-PURINE (BAP)

DJAHRA Ali Boutlelis¹, **BENMAKHOLOUF Zoubida**², BENKHERARA Salah¹,
BENKADDOUR Mounia¹, BORDJIBA Ouahiba¹

⁽¹⁾Laboratoire de Biologie Végétale et Environnement, Département de Biologie
Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie

⁽²⁾Laboratoire de Physiologie Végétale, Département de Biologie Université Mentouri,
Consatantine, Algérie

vol. 5, n° 2, Décembre 2015: 71-81

Publication internationale 3.



AGRICULTURE AND BIOLOGIE JOURNAL OF NORTH AMERICA

ISSN Print : 2151-7517,ISSN Online:2151-7525

2011,ScienceHuB,<http://www.scihub.org/ABJNA>

pp: 358-367 doi: [10.5251/abjna.2011.2.2.358.367](https://doi.org/10.5251/abjna.2011.2.2.358.367)

Foliar application of indolAcitic Acid (IAA) and Gebirlic acid (GA3) as well as interaction effect on growth yield and some physiological compositions of Triticum plant grow under salinity conditions

Gherroucha* , H., fercha,A** ,and benmekhlouf,Z*** ,

*,**,***Département of Natural Science, Faculty of sciences, Route of Ain El Bey, Mentouri Constantine university , Algeria.

Publication nationale.



تأثير رش هرمون نباتي على الخصائص المورفولوجية و الفسيولوجية
للقمح الصلب *Triticum durum* var KEBIR المعرض للاجهاد الملحي

Rev. Sci. Technol., Synthèse 26: 57 - 64 (2013)

Djahra Ali Boutlelis* 1 , Zoubida Benmakhlouf 2, Salah Benkherara 1 , Mounia Benkaddour 1

1 Laboratoire de Biologie Végétale et Environnement Université Badji Mokhtar, BP.12, 23000 – Annaba.

2 Laboratoire de Physiologie Végétale Université Mentouri – Constantine 1.

Révisé le 09 /10 / 2012 Accepte le 14/11/2012

Communication international.



**4 eme congres internationale de biodiversitévégétale 5-8 octobre 2017
marrakechmaroc**

**Effet de la benzylamino purine et du stress salin sur la germination des graines de ble
dur triticumdurumDesf var kebir**

Benmakhlouf Zoubida 1, GherouchaHocine et Barkat Malika 3.

Departementof Biologie, University Centre AbdAlhafidBoussouf Mila, Algeria.

Improvement of Salt Tolerance in Durum Wheat (*Triticum Durum Desf.*) by Auxin and Kinetin Application

Benmakhlouf Zoubida

University Centre Abd Alhafid Boussouf, Mila, Algeria
Faculty of Nature and Life, University Mentouri 1 Constantine, Algeria

Hocine Gherroucha

Faculty of Nature and Life, University Mentouri 1 Constantine, Algeria
doi: 10.19044/esj.2017.v13n9p96 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n9p96](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n9p96)

Abstract

The aim of this work is to study the effect of soil salinity using different levels of NaCl (0, 10, 15 g/ NaCl) on some morphological and physiological properties of durum wheat (*Triticum durum Desf.*) var KEBIR in the vegetative stage. The results obtained allowed us to observe the negative impact of saline stress on the leaf area, Chlorophyll b, and carotenoids at moderate and higher salinity levels. The effect of salt on chlorophyll a content remains insignificant. On the other hand, proline content was highly affected by salt stress. It was excessively increased with the rise of osmotic stress levels, especially at higher salinity levels (15g/l NaCl). Phytohormones, such as auxin and cytokinin, are known to be involved in the regulation of plant responses to salinity stress. Also, it counteracts the adverse effect of stress conditions. Exogenous spraying of indole-3-acetic acid (IAA) and kinetin (K) with three various levels (10, 20, 30 p.p.m.), during the vegetative phase, indicated that an increase in the leaf area and pigments content are associated with a decrease in the proline content.

Keywords: Indole-3-Acetic Acid (IAA), foliar application, salt stress, growth regulateurs

Introduction

Consequently, wheat is a major cereal crop in many parts of the world and it is commonly known when asking about cereals. It belongs to poaceae family. Globally after maize, wheat is the second most produced food among the cereal crops, while rice ranks third (Datta et al., 2009). While wheat and barley are the main cereal crops in Algeria, durum wheat is by far the most

cultivated grain. However, wheat crop often confront abiotic stresses such as drought and salinity, which are among the most important strength-limiting factors of wheat production particularly in arid and semi-arid regions (Fercha *et al.*, 2011).

In Algeria, there is approximately 3.2 million ha currently threatened by salinity (Benmahioul *et al.*, 2009). Due to the developing area of salt-affected land, salinity has become an everlasting challenge to agriculture and food supply (Flowers, 2004). Increased incidence of salinity on arable lands suggests the need for better understanding of the plant tolerance mechanisms. This is in a bid to sustain crop productivity by modulating growth conditions to the best possible extent. Furthermore, the inhibition of growth and development, reduction in photosynthesis, respiration, and synthesis in sensitive species has been reported under salinity (Hussain *et al.*, 2013; Saud *et al.*, 2014). Parida and Das (2005), Tuteja (2007), and Munns and Tester (2008) showed that adaptation to all stresses is accompanied with metabolic adjustments that lead to the accumulation of several organic solutes like sugars, polyols, betaines and proline, protection of cellular machinery, maintenance of ionic homeostasis, scavenging of free radicals, expression of certain proteins, and upregulation of their genes and induction of phytohormones. Therefore, a well-focused approach combining the molecular, physiological, biochemical, and the metabolic aspects of salt tolerance is essential to develop salt-tolerant crop varieties. Exploring suitable ameliorants or stress alleviant is one of the tasks of plant biologists. In recent decades, exogenous protectant such as plant hormone (gibberellic acids, jasmonic acids, brassinosteroids, salicylic acid, Indole acetic acid (IAA), Cytokinins (CKs) etc.), have been found to be effective in mitigating the salt induced damage in plant (Iqbal *et al.*, 2012; Yusuf *et al.*, 2012). Therefore, the present project was undertaken to find out whether the foliar application growth regulators (IAA and K) with different levels 10, 20 ,30 p.p.m on Durum wheat (*Triticum durum Desf.*) can alleviate the harmful effect of salinity on plant growth.

Materials and Methods

Our study was carried out on the genotype KEBIR -1, durum wheat (*Triticum durum Desf.*), whose seeds was gotten from The technological Institute of Large Cultures of Constantine, Algeria (ITGC). The durum wheat seeds were disinfected with 0.5% sodium hypochlorite solution and rinsed several times with distilled water. Then, it was grown in plastic pots containers of about 2kg of homogeneous clay soil with a high percentage of organic matter, neutral pH up to light alkaline, and which is not saline by an average of 12 seeds/pot grown towards the end of November. The soil samples were taken from a field at the level of the Constantine region (North- East Algeria).

Therefore, the pots were placed in the greenhouse at a temperature between 17-40 ° C with an estimated relative humidity between 65-90%. Irrigation is done at a rate of 1/3 capacity in the field (0.1L). Through the use of tap water for two weeks, 7 plants were selected in each pot. From the third week, irrigation was started every week by 0.3L for each salinization levels (0, 10, 15 g / l). From the third leaf, after 15 days of salinity treatment, the phytohormones solutions were sprayed. This was done by spraying the shoot system of the growing plants (each pot with 10 Cm³ of phytohormones solutions). Also, the control plants were sprayed with distilled water a week after the plants were used for analysis.

The Studied Parameters

Physico-chemical Soil Parameters and Leaf Area (cm²)

The physicochemical analysis of the soil were carried out according to the methods of Bonneau and Souchier (1994). However, the leaf area (LA) was measured using an area meter (LI-COR, model LI-3000).

Chlorophyll (A , B and Carotenoids) Content

The content of the chlorophyll a, b, and the total carotenoids were determined by following the method of Vernon and Seely (1966) improved by HEGAZI *et al.* (1998). The plant sample was treated with a mixture of 75% acetone and 25% ethanol. The Absorbance was measured using spectrophotometer (UV-visible type JENWAY 6300) at 480, 649, and 665 nm wavelengths. The chlorophyll a, b, and carotenoids concentrations were expressed in mg/g FW.

Proline Content

Quantitative determination of free proline content was performed according to Monneveux and Nemmar (1986).

The Statistical Test

The statistical test was done by the analysis of three-factor variance. This is followed by a Comparison of Newman-Keuls means (NSK) with a 95% threshold Confidence by the Excel Stat version 2016 software.

Results and Discussion

Physico-chemical Soil Parameters

In view of the results obtained (Table I), the soil analyzed appears to be non-saline of clayey texture with an alkaline pH of the order of 7.8 High organic matter (MO) and total limestone. In addition, the amounts of carbonates (CO₃⁻) and bicarbonates (HCO₃) were very low. They are of the order of 0 meq / l, 2 meq / l, respectively. Thus, this confirms the

ANNEXES

results of the electrical conductivity CE.

Table 1. Analysis of soil physico-chemical parameters

HCO ₃ (méq/l)	CO ₃ -(méq/l)	MO (%)	pH	CEC (méq/g)	CE 25°C (MS/cm)	Total limestone (%)	Active limestone (%)
2	-	2,38	7,8	0,135	1,38	17	9,5

MO organic matter, CEC: cationic exchange capacity, CE: electrical conductivity

Coarse sand (%)	Fine sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture
7,37	5,33	20	67	Clay

Leaf Area

The values of leaf area of the tested plants through either salinization or salinization with phytohormones treatment (IAA or kinetin) were represented in Table 2 and Figure 1. The leaf area of the unsprayed plants was excessively decreased with the rise of salinization levels especially at higher salinity levels compared to unstressed plants. The means of leaf area at 15g/l NaCl achieved 4, 90 cm². Similarly, Laaziza Ben Khaled *et al.* (2007) has shown, in plants grown in presence of 100 mM NaCl, that the number of Leaves has been reduced by 40% compared to control. Also, the leaf area is no more than 60% compared to that of the control. Ali *et al.* (2004) and Hamdia *et al.* (2014) reported that the reduction in leaf area of maize, wheat, cotton, broad bean and parsley tested plants, under saline conditions were also due to reduced growth. This is as a result of decreased water uptake and the toxicity of sodium and chloride in the shoot cell. The leaf area was generally lowered by increasing osmotic stress. This inhibitory effect may be attributed to the effects of salinity on several facets of plant activities such as enzyme activity (Seckin *et al.*, 2009), DNA, RNA, protein synthesis (Anuradha & Rao, 2001), mitosis (Kriedemann, 1986), osmotic adjustment (Hamdia & El-Komy, 1998), hormonal balance (Jackson, 1997; Debez *et al.*, 2001; Iqbal & Ashraf, 2013; Zholkevich & Pustovoytova, 1993), and photosynthesis (Amuthavalli & Sivasankaramoorthy, 2012).

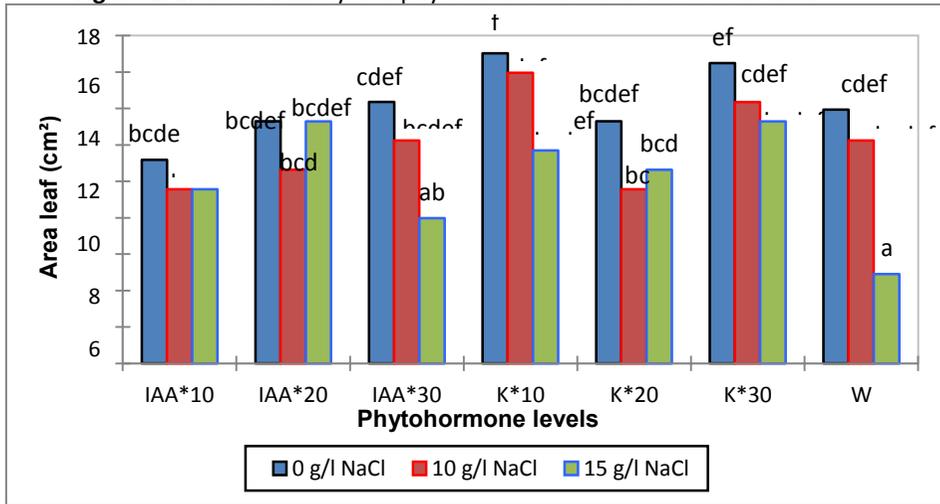
Spraying these salinized plants with any of the phytohormones (IAA or kinetin) mostly resulted in a marked increase in leaf area. Therefore, the inhibitory effect of salinity stress was completely ameliorated especially at the high salinization levels of 15g/l NaCl at all concentrations of the growth regulators. It is worthy to mention that the values of leaf area were higher than control untreated plants. The highest mean values in this salinity levels

ANNEXES

resulted from the treatments 20 p.p.m. IAA and 30 p.p.m. Kinetin with means of 13,29 cm². In the relatively low and moderate salinity levels of 0g/l and 10 g/l NaCl , the highest mean values achieved 17,01 and 15,95 cm² respectively after the treatments by 10 p.p.m. Kinetin.

Exogenous application of IAA 10 p.p.m., 20 p.p.m., and 30 p.p.m. at 15 g/l NaCl and Kinetin 10p.p.m. and 30 p.p.m at 0g/l or 10g/l NaCl were promoted. Generally, the leaf area of tests plants alleviated to some extent the suppressive effect of salinity. Similar increase in leaf area by the application of growth regulators have been observed by Sritharan et al. (2005) and Vamil et al. (2010). This observed increase in the leaf area of salt stressed plants after hormonal treatments may indicate that the phytohormonal applications increased the plant efficiency of water uptake, conservation, and utilization (Javid et al., 2011). Consequently, there was a rapid increase in cell division, cell enlargement, and accumulation of building units.

Figure 1. Effect of salinity and phytohormones levels on the leaf area



IAA: Indole-3-Acetic Acid (Auxin), K: Kenitin

Chlorophyll (A , B) and Carotenoids Content

Chlorophyll (Chl) is one of the most important pigments, and is responsible for green colour in plants. Changes in photosynthetic parameters could potentially be used as a screening method for salinity tolerance in plants. This is because more tolerant cultivars are expected to exhibit less disturbances in photosynthetic processes (Belkhodja et al., 1999).

The data values in Table 2 clearly demonstrates that chlorophyll b decreased under the high levels of salinity 15 g/l NaCl. Thus, the mean values reached 260,00 mg/g FW (Figure 2). Also, the lowest values for the content of the carotenoids were marked in the levels 10g/l with 0,354 mg/g FW and at 15 g/l NaCl with 0,267 mg/g FW (Figure 3) compared to

unstressed plants. Chlorophyll a contents showed a non-significant alteration at all salinity stress levels (Figure 4). Our results are in agreement with those reported by Iqbal et al. (2006) and Ashraf et al. (2005). However, they stated that chlorophyll content was decreased under saline conditions in *triticum aestivum*. Content reduction of chlorophyll in plants such as *Poulownia imperialis* (Astorga et al., 2010), Bean (Beinsan et al., 2003), and *Carthamus tinctorius* (Siddiqi et al., 2009) were reported.

Reduction in Chlorophyll concentrations is probably because of the inhibitory effect of the accumulated ions of various salts on the biosynthesis of different Chlorophyll fractions. According to Feigin et al. (1991) and Grattan and Grieve (1994), NaCl has an antagonistic effect on the absorption of nitrogen (N), which is an essential component of the structure of the chlorophyll molecule. Furthermore, it may be related to the activation of chlorophyllase, which catalyses the catabolism of chlorophyll (Majumdar et al., 1991; Levent et al., 2008) and/or disorder of chloroplast structure and related proteins (Sabir et al., 2009). In addition, there is strong evidence that salt affects photosynthetic enzymes, chlorophylls, and carotenoids (Stepien & Klobus, 2006).

As accessory pigments, carotenoids participate in photoinduced electron transfer processes and protect chlorophyll photooxidative damage (Rodriguez et al., 1997). The decrease of total carotenoids content (TCC) may be explained as a result of either a low synthesis rate or enhanced degradation induced by reactive oxygen species (ROS). Thus, this has been proposed by many authors.

Treatment with phytohormones causes an increase in chlorophyll content. The maximum values for the chlorophyll b are obtained after treatments with K 20 p.p.m and IAA 30 p.p.m. with the means 282,00 mg/g FW and 276,00 mg/g FW respectively at 15 g/l NaCl. Also, the content of the carotenoids increases under the effect of treatments with K 20 p.p.m., IAA 30 p.p.m. at 15g/l NaCl, K 10 p.p.m. at 10 g/l NaCl, and K 30p.p.m. at 0 g/l NaCl with means of 0,340, 0,316, 0,429, and 0,473 mg/g FW respectively. Also, we noticed an increase in the chlorophyll a content with the application of the IAA 30 p.p.m. in media of 10 g / l with 0,89mg/g FW and 15 g / l NaCl with 0,90 mg/g FW. Similarly, increase in chlorophyll and carotenoid content by the application of growth regulators have been observed by various workers. Iqbal et al. (2006) showed that there was a general increase in pigments contents with phytohormones treatments in maize, wheat, cotton, broad bean, and parsley plants, especially in cotton and parsley plants. This may be due to the inhibition of pigment degradation or stimulation of protochlorophyll (ide) synthesis by phytohormones. In sum, phytohormones play a significant role in moderating the effects of salinity on photosynthetic traits and membrane stability (Pazuki et al., 2013).

ANNEXES

Figure 2. Effect of salinity and phytohormones levels on chlorophyll b content

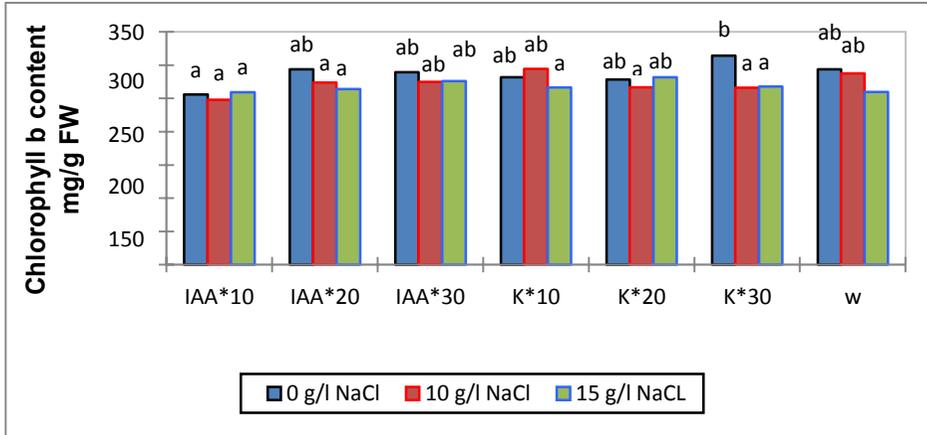


Figure 3. Effect of salinity and phytohormones levels on the carotenoids content

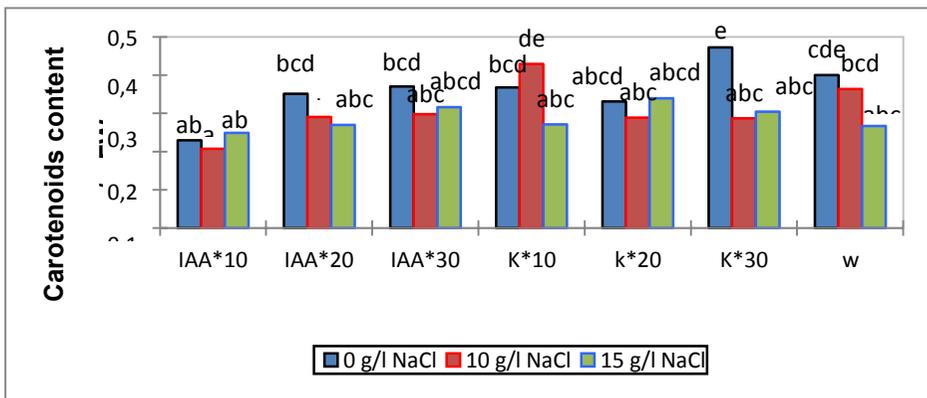
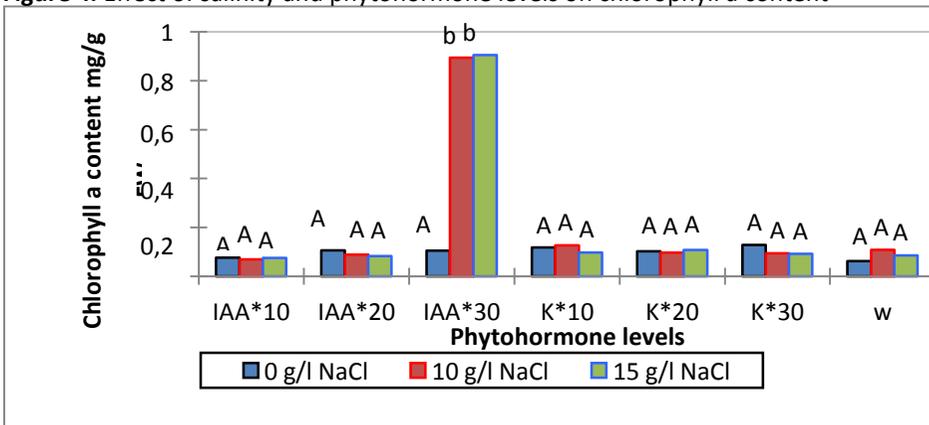


Figure 4. Effect of salinity and phytohormone levels on chlorophyll a content



Proline Content

When exposed to stress conditions such as salinity, the biochemical defense system includes proline accumulation. This amino acid has been

an important role in plant metabolism and development. It plays a highly beneficial role in plants exposed to various stress conditions. Besides acting as an excellent osmolyte (Ashraf *et al.*, 1998), proline plays three major roles during stress as a metal chelator, an antioxidative defense molecule, and as a signaling molecule (Hayat *et al.*, 2012).

Statistical analysis presented in Table 2 and Figure 5 showed that free proline content was highly affected by salt stress at high levels salt (15g/l NaCl). The increase achieved 1035,00 $\mu\text{g/g}$ FW compared to the level of salts 0 g / l and 10 g / l NaCl with the means of 59,84 $\mu\text{g/g}$ FW and 159,00

$\mu\text{g/g}$ FW respectively. Rapid accumulation of free proline is a typical response to salt stress and similar responses have been observed by earlier workers in rice (Lin *et al.*, 2002; Buhl *et al.*, 1983). Singh *et al.* (1973) and Tall *et al.* (1979) demonstrated that free proline accumulated in different plant species as a result of water stress is induced either by the addition of salts or by the decrease of moisture content. In other research on Barley (*Hordeum vulgare* L.), it was observed that proline is a reducer component of osmosis pressure in response to increase of salinity (Ueda *et al.*, 2007). Also, increasing of proline content in cotton (Desingh *et al.*, 2007) and wheat (Khan and *al.*, 2004) was synchronised with the increasing of salinity level which was reported. Boggess *et al.* (1976) and Morris *et al.* (1969) reported that, within the leaves of many plants subjected to moderate or severe water stress, one striking change in nitrogen metabolism is the accumulation of free proline as a result of de novo synthesis from glutamic acid. Thus, the accumulated proline could be considered as a storage nitrogen compound (Barnett *et al.*, 1966) and/or a metabolic adaptation product (Singh *et al.*, 1973). Recent studies proposed that phytohormones play a major role in regulating and controlling proline metabolism during salinity tolerance (Iqbal *et al.*, 2014).

After spraying with phytohormones, the accumulation of proline was considerably retarded, whatever the level of phytohormone used. The accumulation of proline has been considerably decreased by applying the three doses of phytohormone used for the 15 g / l NaCl level compared with the stressed plant (media 15 g / l NaCl). Also, they were not treated with either of the two hormones. The minimum proline content is 258,00 $\mu\text{g/g}$ FW for treatment with K 10 p.p.m. and 610,50 $\mu\text{g/g}$ FW for treatment with IAA 20 p.p.m. always for the saline medium 15 g / l NaCl. The effect of three doses of both hormones for 0g / l and 10 g / l NaCl media remains insignificant. Therefore, these results are in agreement with those of Immamul and Larher (1983) and Ali mahrokh *et al.* (2016) who reported that the use of cytokinin hormone in concentration of 50 mg/lit increased 37.73% chlorophyll a and decreased 16.58% proline amino acid. Also,

ANNEXES

auxine hormone in concentration of 10 and 20 mg/lit increased 22.78% chlorophyll a and decreased 18.02% proline of maize cultivar KSC 704. This retardation may lead to the conclusion that each of the two phytohormones (IAA or kinetin) used could alleviate the adverse effects of salt stress. If proline accumulation is considered as an indication of stress injury, thus it can be said that, the exogenously applied growth hormones seem either to protect the plant against salt stress injury. Consequently, the synthesis of proline is retarded and/or it plays a specific role in proline transformations to other growth constituent.

Figure 3. Effect of salinity and phytohormones levels on the proline content

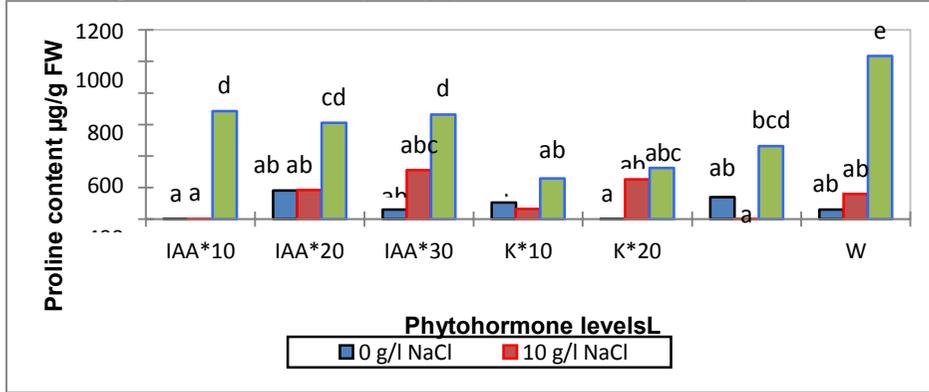


Table 2. Synthesis (Estimated Means) – interaction between Phytohormones (Water (w), Auxin (IAA)and Kinetin (K) /Levels phytohormone(10,20 and 30 p.p.m.)/Stress levels(0, 10, and 15 g/l NaCl)

H /LH/LS	ChA (mg/g FW)	ChB (mg/g FW)	Ca (mg/g FW)	P µg / g FW	Al(cm ²)
K*30*0	0.128 a	314.500 b	0.473 e	138.500 ab	16.485 ef
K*10*10	0.127 a	294.000 ab	0.429 de	63.965 ab	15.950 def
IAA*30*0	0.106 a	289.500 ab	0.370 bcd	60.450 ab	14.355 cdef
K*10*0	0.118 a	282.000 ab	0.368 bcd	104.500 ab	17.015 f
W*10	0.110 a	287.500 ab	0.364 bcd	159.000 ab	12.230 bcdef
IAA*20*0	0.106 a	293.500 ab	0.351 bcd	181.500 ab	13.290 bcdef
K*30*15	0.093 a	268.000 a	0.305 abcd	463.000 bcd	13.290 bcdef
K*20*15	0.108 a	282.000 ab	0.340 abcd	325.500 abc	10.630 bcd
K*20*0	0.103 a	278.500 ab	0.331 abcd	0.510 a	13.290 bcdef
IAA*30*10	0.895 b	274.500 ab	0.298 abc	311.500 abc	12.230 bcdef
IAA*30*15	0.905 b	276.000 ab	0.316 abcd	664.000 d	7.970 ab
IAA*20*15	0.083 a	264.000 a	0.270 abc	610.500 cd	13.290 bcdef
W*0	0.062 a	293.500 ab	0.401 cde	59.840 ab	13.925 cdef
K*20*10	0.097 a	266.500 a	0.289 abc	253.000 ab	9.565 bc
K*10*15	0.097 a	266.500 a	0.271 abc	258.000 ab	11.695 bcdef
K*30*10	0.095 a	266.000 a	0.287 abc	0.201 a	14.355 cdef
IAA*20*10	0.090 a	273.500 ab	0.291 abc	184.000 ab	10.635 bcd
W*15	0.086 a	260.000 a	0.267 abc	1035.000 e	4.905 a
IAA*10*15	0.075 a	259.500 a	0.249 ab	685.500 d	9.565 bc
IAA*10*0	0.076 a	256.000 a	0.230 ab	0.195 a	11.165 bcde
IAA*10*10	0.069 a	248.000 a	0.208 a	0.360 a	9.565 bc
Pr > F	< 0.0001	0.002	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Significant	yes	yes	yes	yes	yes

Data represent mean values of three replicates. Within columns, mean values followed by different letters are statistically significantly different based on Newman-Keuls (SNK) test at P = 0.05.

Conclusion

Our result show that salt is one of the major abiotic stressor that limits plant growth and productivity in many areas of the world due to the increasing use of poor quality of water for irrigation. In Algeria, the aridity which is linked to a water loss by evapotranspiration which is greater than precipitation covers about 95 percent of the areas (from 100 to 400 mm / year) (Halitim, 1985). In these areas, the supply of water by irrigation resulted in an increase and extension of the salinity of the soil (Daoud, 1993). Plant adaptation or tolerance to salinity stress involves complex physiological and metabolic pathways.

Therefore, an alternative strategy for improving salt stress could be by exogenous application of plant growth regulators. Thus, this focuses on the use of phytohormones such as IAA or kinetin, which has important effects on the regulation of plant response to the environment and the control of certain metabolic changes. It has been reported that treatment with IAA or kinetin reduces the adverse effects of salt stress in wheat. The data support the hypothesis that the beneficial effects of hormones may result from an increase in leaf area, chlorophyll a, b, and carotenoids. In contrast, lower proline has been caused under saline condition levels. This improves plant growth even under high salt concentrations.

References

1. Ali mahrokh, Majid Nabipour, Habib Alah Roshanfekar Dezfuli, and Rajab choukan (2016). The effect of auxine and cytokinin hormones concentration on photosynthetic pigments and proline amino acid under drought stress condition in maize hybrid 704 Plant Process and Function Scientific Journal Iranian Society of Plant Physiology .Volume 5, Number 16 (Vol. 5, No. 16).
2. Ali Y., Aslam Z., Ashraf M. Y. and Tahir G. R. (2004). Effect of salinity on chlorophyll concentration, leaf area, yield and yield components of rice genotypes grown under saline environment. *International Journal of Environmental Science & Technology*. 1: 221-225.
3. Amuthavalli P. and Sivasankaramoorthy S. (2012). Effect of salt stress on the growth and photosynthetic pigments of pigeon pea (*Cajanus cajan*). *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2: 131- 133.
4. Anuradha S, and Rao SSR (2001). Effect of brassinosteroids on salinity stress induced inhibition of seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Growth Regul* 33: 151-153.

ANNEXES

5. Ashraf M.Y., Y., Ali and T.M., and Qureshi (1998). Effect of salinity on photosynthetic efficiency and yield of rice genotypes. *Pakistan J. Biol. Sci.*, 1: 72-74.
6. Ashraf M. and M.R. Foolad (2005). Pre-sowing seed. treatment- a shotgun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy*, 88: 223-271. 15.
7. Astorga GI., and Melendez LA. (2010). Salinity effects on protein content, lipid peroxidation, pigments, and proline in *Paulownia imperialis* and *Paulownia fortunei* grown *in vitro*. *Electronic Journal of Biotechnology.*, 13(5): 1-15.
8. Barnett NM. and Naylor AW. (1966). Amino acids and Protein metabolism in Bermuda grass during water stress. *Plant Physiol* 41:1222-1230.
9. Belkhodja R., Morales F., Abadia A., Medrano, H., and ABADIA J. (1999). Effects of salinity on chlorophyll fluorescence and photosynthesis of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under a tripleline- source sprinkler system in the field. In *Photosynthetic*, vol. 36, 1999, no. 3, pp. 375–387. DOI: 10.1023/A:1007019918225).
10. Beinsan C., Camen D., Sumalan R., and Babau M. (2003). Study concerning salt stress effect on leaf area dynamics and chlorophyll content in four bean local landraces from Banat ares. *Fac. Hortic.*, 119: 416- 419.
11. Benmahioul B., Daguin F. and Kaid-Harche M. (2009). “Effet du stress salin sur la germination et la croissance *in vitro* du pistachier (*Pistacia vera* L.)” *Comptes Rendus Biologies*, vol. 332, no. 8, pp. 752-758.
12. Bonneau M. and Souchier B. (1994). *Pédologie: Constituants et Propriétés du sol*. Paris, Ed. Masson, 459 p.
13. Boggess SF., Stewart CR., Aspinal D., and Paleg L.C. (1976). Effect of water stress on proline synthesis from radioactive precursors. - *Plant Physiol* 58:398-401.
14. Buhl MB. and Stewart CR. (1983). Effects of NaCl on proline synthesis and utilization excised barley leaves. -*Plant Physiol* 72:664-667.
15. Datta J., Nag S., Banerjee A. and Mondal N. (2009). Impact of salt stress on five varieties of wheat (*Triticum durum*) cultivars under laboratory condition. *Journal of Applied Sciences & Environnemental Management.*, 13, 3, 93-97.
16. Daoud Y. (1993). Contribution to the study of soils in the plains of the chélif. The phenomenon of salinisation, affect the physical properties of clayey soils. Thesis Doct., Sci, Ina Algiers.

ANNEXES

17. Debez A., Chaibi W., and Bouzid S. (2001). Effect du NaCl et de regulateurs de croissance sur la germination d' *Atriplex halimus* L. *Cah Agric* 10:135-138.
18. Desnigh R., and Kanagaraj G. (2007). Influence of salinity stress on photosynthesis and antioxidative systems in two Cotton varieties. *Gen. Appl. Plant Physiol.* 33(3-4):221-234.
19. Fercha A., H. Gherroucha and M. Baka (2011). Improvement of salt tolerance in durum wheat by vitamin C application. *J. Stress Physiol. And Biochemistry*, 7(1): 27-37.
20. Feigin, A., Pressman, E., Imas, P., and Milta, O. (1991). Combined effects of KNO₃ and salinity on yield and chemical composition of lettuce and Chinese cabbage. *Irrig.Sci.* 12, 223–230.
21. Flowers TJ. (2004). Improving crop salt tolerance. *Journal of Ex- perimental Botany*, 55(396):307–19.
22. Grattan, S.R. and Grieve, C.M. (1994). Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: Pessarakli, M. (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker, New York, pp. 203–226.
23. Hamdia M. , Abd El-Samad and Shaddad M.A.K. (2014). The Exogenous Amelioration Roles of Growth Regulators on Crop Plants Grow under Different Osmotic. *Potential Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, Vol. 10 No. 1, pp. 203-213 ISSN 1997- 0838.
24. Hamdia. M. A. and El - Komy, H.M. (1998). Effect of salinity, gibberellic acid and *Azospirillum* inoculation on growth and nitrogen uptake of *Zea mays*. *Biol. Planta.* 40: 109-120.
25. Hayat S., Hayat Q., Alyemeni MS., Wani AS, Pichtel J., and Ahmad A. (2012). Role of proline under changing environments. *Plant Signal Behav.* 7: 1456-1466.
26. Halitim A. (1985). Contribution to study of the soles salty of arid zones (High Plains steppe of Algeria), morphology, distribution, and role of the salts in the genesis and the behavior of soils, PhD thesis are. *SCI Univ reindeer* 384 P.
27. Hegazi A., Abou-Bakr Z., Naim M., and Khalfallah A. (1998). Effect of some antitranspirants on growth and some metabolic products of wheat plants under water interval irrigation systems. *The Desert Institute Bulletin* 48: 153-171.
28. Hussain S., Khaliq A., Matloob A., Wahid MA., and Afzal I. (2013). Germination and growth response of three wheat cultivars to NaCl salinity. *Soil Environ* 32:36–43.
29. Immamul-Huq SM. and Larher F. (1983). Effect of NaCl salinity on the growth and the nitrogen status of nodulated Cowpea (*Vigna*

ANNEXES

- sinesis L.) and Mung bean (*Phaseolus aureus* L.) Z -Pflanzen-physiol Bd 112:79-87.
30. Iqbal N., M.Y. Ashraf, Farrukh Javed, Vicente Martinez and Kafeel Ahmad (2006b). Nitrate reduction and nutrient accumulation in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in soil salinization without different salts. *Journal Plant Nutrition* 29: 409-421.
 31. Iqbal M., Ashraf M., and Jamil A. (2006a). Seed enhancement with cytokinins: changes in growth and grain yield in salt stressed wheat plants. *Plant Growth Regul.* 50: 29-39.
 32. Iqbal M. and Ashraf M. (2013). Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. *Environ Exp Bot.* 86: 76-85.
 33. Iqbal N., Masood A., and Khan NA. (2012). Phytohormones in salinity tolerance: ethylene and gibberellins cross talk. In: Khan NA, Nazar R, Iqbal N, Anjum NA (eds) *Phytohormones and abiotic stress tolerance in plants*. Springer, Berlin, pp 77–98.
 34. Iqbal N., Umar S., Khan NA and Khan MIR (2014). A new perspective of phytohormones in salinity tolerance: regulation of proline metabolism. *Environ. Exp. Bot.* 100: 34-42.
 35. Jackson M. (1997). Hormones from roots as signals for the shoots of stressed plants. *Trends in Plant Science* 2(1): 22–28.
 36. Jackson M. (1997). Hormones from roots as signals for the shoots of stressed plants. *Elsevier Trends J* 2: 22–28.
 37. Javid M.G., Sorooshzadeh A., Moradi F., Sanavy S.A., and Allahdadi I. (2011). The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. *Australian Journal of Crop Science* 5(6): 726- 734.
 38. Khan W., Balakrishnan P., and Smith DL. (2004). Photosynthetic responses of Corn and Soybean to foliar application of sodium chloride. *Journal of Agronomy and Crop Science.*, 179(3): 163-169.
 39. Khan MA., Gul B., and Weber DJ. (2004). Action of plant growth regulators and salinity on seed germination of *Ceratoides lanata*. *Can J Bot* 82:37-42.
 40. Kriedemann P.E. (1986). Stomatal and photosynthetic limitations to leaf growth. *Aust. J. Plant. Physiol.*, 87: 878-882.
 41. Laaziza Ben Khaled, El Mostafa Ouarragi and Ezzedine Zid (2007). Impact of NaCl on growth and nutrition of the variety of durum Massa cultured in hydroponic medium *Acta bot Gallica*, 2007, 154 (1): 101-116.
 42. Levent Tuna A., Kaya C., Dicitilas M., and Higgs D. (2008). The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant

- enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants. In *Environmental and Experimental Botany*, vol. 62, 2008, pp. 1–9. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2007.06.007.
43. Lin C.C., T.Y. Hsu and H.C. Kao (2002). The effect of NaCl on proline accumulation in rice leaves. *Plant Growth Regul.* 36: 275- 285.
 44. Majumdar S., Ghosh B. R., Glick and E. B. Dumbroff (1991). “Activities of Chlorophyllase, Phosphoenolpyruvate Carboxylase and Ribulose 1,5-biphosphate Carboxylase in Primary Leaves of Soybean during Senescence and Drought,” *Physiologia Plantarum*, Vol. 81, No. 4, 1991, pp. 473-480. doi:10.1111/j.1399- 3054.1991.tb05087.x.
 45. Monneveux P. and Nemmar M. (1986). Contribution to the study of drought resistance in soft wheat (*Triticum aestivum L.*) and durum wheat (*Triticum durum Desf.*): Study of the accumulation of proline during the development cycle, *Agronomy*, 6, 583-590.
 46. Morris CJ., Thompson JF., and Johanson CM. (1969). Metabolism of glutamic acid and N-acetyl-glutamic acid in leaf discs and all free extracts of higher plants. - *Plant Physiol* 44:1023-1026.
 47. Munns R. and Tester M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Ann Rev Plant Physiol* 59:651–681.
 48. Parida AK. and Das AB. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicol Environ Saf* 60:324–349.
 49. Pazuki A., Sedghi, M., and Aflaki F. (2013). Interaction of salinity and phytohormones on wheat photosynthetic traits and membrane stability. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*. 59: 33–41.).
 50. Rodriguez P., J. Dell'Amico, D. Morales M.J., Sanchez Blanco and J.J., Alarco (1997). Effects of salinity on growth, shoot water relations and root hydraulic conductivity in tomato plants. *J Agric. Sci.*, 128: 438-444.
 51. Sabir P., Ashraf M., Hussain M. and Jamil A. (2009). Relationship of photosynthetic pigments and warer relations with salt tolerance of Proso Millet (*Panicum Miliacum L.*) accessions. *Pak. J. Bot.*, 41: 2957-2964.).
 52. Saud S., Li X., Chen Y., Zhang L., Fahad S., Hussain S., Sadiq A., and Chen Y. (2014). Silicon application increases drought tolerance of Kentucky bluegrass by improving plant water relations and morphophysiological functions. *SciWorld*
 53. Seckin B., A.H. Sekmen I., and Turkan. (2009). An enhancing effect of exogenous mannitol on the antioxidant enzyme activities in roots of wheat under salt stress. *J Plant Growth Regul* 28: 12- 20.

54. Siddiqi EH., Ashraf M., Hussain M., and Jamil A. (2009). Assessment of intercultivar variation for salt tolerance in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) using gas exchange characteristics as selection criteria. *Pak. J. Bot.* 41(5): 2251-2259.
55. Singh TN., Aspinall D., Paleg LG., Boggess S.F. (1973). Stress metabolism. II-Changes in Proline concentration in excised plant tissues. *-Aust J Biol Sci* 26:57-63.
56. Sritharan N., A. Aravazhi and M. Vanangamudi (2005). Effect of foliar spray of nutrients and plant growth regulators (PGRs) for yield maximization in blackgram. *Mad. Agric. J.*, 92: 301-307.
57. Stepien P. and Klobus G. (2006). Water relations and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. leaves under salt stress. *Biologia Plantarum.* 50: 610- 616.
58. Tuteja N. (2007). Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Methods Enzymol* 428:419–438
59. Tall M., Kaz A., Heikin H., and Dehan K. (1979). Salt tolerance in the wild relatives of the cultivated Tomato: Proline accumulation in *Lycopersicon esculentum*, *L. Peruvianum* and *Solanum pennellii* under NaCl salinity. *-New Phytol* 82, 349, 1.
60. Ueda A., Yamane YY., and Takabe T. (2007). Salt stress enhances proline utilization in the apical region of barley roots. *Biochemical Research J.*, 355: 61-66.
61. Vamil R., A.U., Haq and R.K. Agnihotri (2010). Plant growth regulators as effective tool for germination and seedling growth for *Bambusa arundinacea*. *Res. J. Agric. Sci.*, 1: 233-236.
62. Vernon L. P. and Seely G. R. (1966). *The chlorophylls* . Academic Press, New York, 79-80.
63. Yusuf M., Fariduddin Q., Varshney P., and Ahmad A. (2012). Salicylic acid minimizes nickel and/or salinity-induced toxicity in Indian mustard (*Brassica juncea*) through an improved antioxidant system. *Environ Sci Pollut Res* 19:8–18.
64. [64] Zholkevich VN. and Pustovoytova TN. (1993). The role of *Cucumis sativum* L leaves and content of phytohormones under soil drought. *Russ J Plant Physiol* 40:676-680.

RESUME

Résumé

Le blé dur est une céréale importante en termes de consommation humaine dans de nombreux pays du monde. Il est cultivé principalement dans les pays du bassin Méditerranéen à climat arides et semi-arides. Dans ces zones, la salinité des sols et des eaux d'irrigation est l'un des facteurs limitant de la productivité végétale et du rendement agricole.

Le but de ce travail est d'étudier l'effet néfaste de la salinité du sol à l'aide de différents niveaux de NaCl (0, 10000, 15000 mg/l NaCl) sur certaines propriétés morphologiques et physiologiques du blé dur (*Triticum durum Desf.*) var Kebir et sa correction par pulvérisation les plants stressés avec quatre types d'hormones végétales en utilisant trois doses différentes (10, 20 et 30 p.p.m.) pour chaque hormone sur deux stades de croissance (stade végétatif et stade montaison).

Les résultats obtenus montrent un impact négatif du stress salin sur la surface foliaire, la chlorophylle (A et B) et les Caroténoïdes à des niveaux de salinité modérés et plus élevés (10000, 15000 mg/l NaCl) durant les deux stades de croissance. Nous signalons aussi que l'effet du sel sur la teneur en chlorophylle A pendant le stade tallage demeure non significatif.

D'autre part, les réactions physiologiques et biochimiques du blé dur face à cette contrainte saline indiquent que certaines variables biochimiques telles que les sucres solubles et l'acide aminé proline sont modifiés et perturbés. La teneur en proline a excessivement augmenté avec l'élévation des niveaux de stress osmotique, en particulier avec les traitements les plus élevés de salinité (15000 mg/l NaCl) pour les deux stades de croissance et particulièrement la phase tallage.

En ce qui concerne les sucres solubles, les résultats obtenus indiquent que les teneurs en sucres solubles des feuilles cultivées sous conditions de stress salin, sont plus élevées par rapport à celles des plants du milieu 0 mg/l NaCl. Un accroissement de la teneur pour le stade montaison est marqué chez les plants cultivés dans les traitements 10000 et 15000 mg/l NaCl.

La Pulvérisation exogène d'acide indole-3-acétique (IAA) Indole Biotirique Acide (IBA), kinétine (Kn) et la Benzyle-Amino-Purine (BAP) avec trois niveaux (10, 20 et 30 p.p.m.), durant les deux phases de croissance, indique qu'une augmentation de la surface foliaire, le contenu en pigments et la teneur en sucres solubles est associée à une diminution de la teneur en proline.

Mots clés : Blé dur (*Triticum durum Desf.*), salinité, phytohormones, stress salin.

RESUME

يعد القمح الصلب (*Triticum durum Desf*) من أهم المحاصيل الزراعية يشكل مصدر الغذاء الأساسي لكثير من الشعوب في العديد من بلدان العالم.

زراعة القمح أساسا في بلدان البحر الأبيض المتوسط التي تتسم بمناخ جاف و شبه جاف في هذه المناطق ملوحة التربة و مياه السقي تع من أهم العوامل التي تحد من الانتاج و المردود الفلاحي.

الهدف من هذه التجربة هو دراسة الأثر السلبي لملوحة التربة باستعمال ثلاث تراكيز - - - (0 10000 15000 NaCl /) على بعض المعايير الفيزيولوجية و المورفولوجية للقمح الصلب (*Triticum durum Desf*) معالجته برش النباتات المجهدة بأربعة انواع من الهرمونات النباتية وذلك باستعمال (p.p.m. 30 20 ,10) هرمون على حدى

سمحت النتائج المتحصل عليها بملاحظة ثر - على المساحة الورقية الكلوروفيل (A,B) نباتات في أوساط الملوحة (10000 15000 /) , له أي تأثير على الكلوروفيل A النمو الخضرية.

من جهة أخرى مستوى البرولين تزايد بطريقة مع تزايد نسبة الملوحة خاصة في المستويات العليا (NaCl / 15000) و هذا خلال مرحلة النمو الخضرية.

حين أن محتوى السكريات تزايد في الأوساط ذات الملوحة المرتفعة (10000 15000 NaCl /)

الهرمونات النباتية مثل كسينات و السيبتوكينات بقدرتها على تنظيم تجاوب النباتات مع الاجهاد الملحي, فهي تعدل الأثر السلبي للملوحة. BAP , Kn ,IBA, IAA مختلفة لكل هرمون (p.p.m.30 20 ,10) بين لنا تزايد المساحة الورقية محتوى الصبغات و السكريات الذائبة في محتوى البرولين .

الكلمات المفتاحية

هرمونات النمو الاجهاد الملحي. (*Triticum durum Desf*)

ABSTRACT

Abstract

Durum wheat is an important cereal in terms of human consumption in many countries of the world. It is grown mainly in the countries of the Mediterranean basin with arid and semi-arid climate. In these areas, soil and irrigation water salinity is one of the limiting factors in plant productivity and agricultural yield.

The aim of this work is to study the effect of soil salinity using different levels of NaCl (0, 10000, 15000 mg/l NaCl) on some morphological and physiological properties of durum wheat (*Triticum durum Desf.*) var KEBIR and its correction by spraying the stressed plants with four types of plant hormones using three different doses (10, 20 et 30 p.p.m.) for each hormone in two stages of growth (Tillering Stage and Booting Stage).

The results obtained allowed us to observe the negative impact of salt stress on leaf area, chlorophyll (A and B) and carotenoids at moderate and higher salinity levels (10000, 15000 mg/l NaCl) during both growth stages. Note that the effect of salt on the chlorophyll A content during the Tillering Stage remains insignificant.

On the other hand, the physiological and biochemical reactions of wheat in the face of this saline stress show that certain biochemical variables such as soluble sugars and amino acid proline are altered and disturbed, the proline content has excessively increased with the rise of osmotic stress levels, particularly at higher levels of salinity (15000 mg/l NaCl) for both growth stages and especially during the Tillering Stage .

For soluble sugars, the results obtained indicate that the soluble sugar content of the leaves of wheat plants grown under conditions of saline stress are higher than those grown in the 0 mg/l NaCl medium. An increase in the content for the Booting Stage is marked especially for the medium 10000 and 15000 mg/l NaCl.

Phytohormones, such as auxin and cytokinin, are known to be involved in the regulation of plant responses to salinity stress. Also, it counteracts the adverse effect of stress conditions. Exogenous spraying of Indole-3-Acetic acid (IAA) indole Biotirique Acid (IBA), (Kinetin (Kn)) and Benzyl-Amino-purine (BAP)) with three levels (10, 20, and 30 p.p.m.), during the two growth phases, indicated that an increase in the leaf area, pigments content and the soluble sugar content are associated with a decrease in the proline content.

Keywords: Durum wheat (*Triticum durum Desf.*), salt, growth regulateurs, salt stress.

Etude de l'effet des phytohormones sur la croissance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) var. Kebir cultivée dans des conditions salines.

Thèse de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Doctorat en science

Résumé

Le blé dur est une céréale importante en termes de consommation humaine dans de nombreux pays du monde. Il est cultivé principalement dans les pays du bassin Méditerranéen à climat arides et semi-arides. Dans ces zones, la salinité des sols et des eaux d'irrigation est l'un des facteurs limitant de la productivité végétale et du rendement agricole.

Le but de ce travail est d'étudier l'effet néfaste de la salinité du sol à l'aide de différents niveaux de NaCl (0, 10000, 15000 mg/l NaCl) sur certaines propriétés morphologiques et physiologiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) var Kebir et sa correction par pulvérisation les plants stressés avec quatre types d'hormones végétales en utilisant trois doses différentes (10, 20 et 30 p.p.m.) pour chaque hormone sur deux stades de croissance (stade végétatif et stade montaison).

Les résultats obtenus montrent un impact négatif du stress salin sur la surface foliaire, la chlorophylle (A et B) et les Caroténoïdes à des niveaux de salinité modérés et plus élevés (10000, 15000 mg/l NaCl) durant les deux stades de croissance. Nous signalons aussi que l'effet du sel sur la teneur en chlorophylle A pendant le stade tallage demeure non significatif.

D'autre part, les réactions physiologiques et biochimiques du blé dur face à cette contrainte saline indiquent que certaines variables biochimiques telles que les sucres solubles et l'acide aminé proline sont modifiés et perturbés. La teneur en proline a excessivement augmenté avec l'élévation des niveaux de stress osmotique, en particulier avec les traitements les plus élevés de salinité (15000 mg/l NaCl) pour les deux stades de croissance et particulièrement la phase tallage.

En ce qui concerne les sucres solubles, les résultats obtenus indiquent que les teneurs en sucres solubles des feuilles cultivées sous conditions de stress salin, sont plus élevées par rapport à celles des plants du milieu 0 mg/l NaCl. Un accroissement de la teneur pour le stade montaison est marqué chez les plants cultivés dans les traitements 10000 et 15000 mg/l NaCl.

La Pulvérisation exogène d'acide indole-3-acétique (IAA) Indole Biotirique Acide (IBA), kinétine (Kn) et la Benzyle-Amino-Purine (BAP) avec trois niveaux (10, 20 et 30 p.p.m.), durant les deux phases de croissance, indique qu'une augmentation de la surface foliaire, le contenu en pigments et la teneur en sucres solubles est associée à une diminution de la teneur en proline.

Mots clés: Blé dur (*Triticum durum* Desf.), salinité, phytohormones, stress salin.

Laboratoire de recherche: Développement Et Valorisation Des Ressources Phytogénétiques
Université des Frères Mentouri Constantine1

Jury d'évaluation :

Président : Baka Mebarek Pr Université des Frères Mentouri Constantine1

Rapporteur : Gheroucha Hocine Pr Université des Frères Mentouri Constantine1

Examineurs :

Yahya	Abdelwaheb	Pr	Centre universitaire Abdelhafid Boussouf – Mila
Bazri	Kamel Eddine	MCA	Université des Frères Mentouri Constantine1
Hamel	Tarek	MCA	Université Badji Mokhtar – Annaba
Boutlelis	Djahra Ali	MCA	Université Echahid Hamma Lakhdar d' El oued

Date de soutenance : 06 / 03 /2018