



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE DE BATNA 2

Faculté Des Sciences de la Nature et de la Vie

Département Ecologie et Environnement

Thèse de Doctorat en Biologie

**Contribution à l'étude des effets de la sécheresse
et du stress salin sur l'écophysiologie des espèces
d'*Acacia* en Algérie**

Présentée par : Mr KHELOUFI Abdenour

Devant les membres de jury constitué de :

Président : CHAFAA Smail	Maître de conférences	Université de Batna 2
Promoteur : CHORFI Abdelmalek	Professeur	Université de Batna 2
Examineur : BELKHODJA Moulay	Professeur	Université d'Oran 1
Examineur : CHAFI Mohamed El Habib	Professeur	Université d'Oran 1

Année universitaire 2018-2019

Je dédie ce travail

A ma tendre Mère رَحْمَهَا اللهُ,

A mon cher Père.

A celle qui m'a toujours épaulé, ma Femme.

A mon petit héro, mon fils Ilyes Khalil

A mes deux frères,

A toute la famille Kfeloufi, Mansouri et Guesbaoui.

Abdenour



Remerciements

Mon travail de thèse a été réalisé au sein de plusieurs laboratoires : le laboratoire du département Ecologie et Environnement (Université de Batna 2, Algérie), le laboratoire de l'institut des sciences agronomiques et vétérinaires (Université de Batna 1, Algérie), le laboratoire de Biotechnologie (Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique) et le laboratoire du Parc National de Belezma (Batna, Algérie).

Je tiens à exprimer mes remerciements à

Professeur Chorfi Abdelmalek, pour la confiance qu'il m'a accordée tant que doctorant et enseignant. Je le remercie chaleureusement d'avoir eu l'obligeance d'être rapporteur de ce travail. La qualité et la patience de ses remarques m'ont permis d'améliorer la qualité de cette thèse. Je le remercie également de m'avoir permis de profiter de ses connaissances et compétences dans le domaine de la recherche ainsi que dans le domaine professionnel.

Professeur Belkhdja Moulay, que je remercie d'avoir accepté d'examiner ce travail. Je tiens à lui exprimer mes chaleureux remerciements pour sa confiance, sa générosité et de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire dans ma formation de Magister en me transmettant le goût de la recherche et n'a cessé de m'encourager. Pour sa sympathie et sa disponibilité et son professionnalisme.

Professeur Chafi Mohammed El Habib, Je tiens à lui exprimer mes vifs remerciements d'avoir accepté d'examiner cette thèse et surtout pour ses orientations.

Docteur Chafaa Smail, Je le remercie aussi d'avoir accepté de juger ce travail en tant que président et pour le suivi de mon dossier administratif, sa sympathie et sa disponibilité et son professionnalisme.

J'exprime également toute ma gratitude à toutes les personnes qui m'ont apporté leur aide pendant ce travail en particulier : Mr Hamchi A. (Chef de département du parc National de Belezma), de m'avoir ouvert la porte de son laboratoire afin d'accéder au microscope et au logiciel d'anatomie. Mme Boukhatem Z.F. (Université d'Oran) et Mr Djelilate M. (Centre universitaire de Relizane), d'avoir contribuer à l'inventaire et la distribution des Acacia. Mme Smati (Laboratoire de l'institut des sciences agronomiques et vétérinaires, Batna).

Je remercie infiniment les membres du laboratoire de recherche Agro-Biotech, Direction opérationnelle de l'Agriculture, des ressources naturelles et de l'environnement, Département du Développement Direction de la Qualité et Laboratoire d'analyses de semences de Gembloux (Belgique): Mme Cécile Vanbellinghen (Chef de laboratoire) qui m'a ouvert les portes de son laboratoire et m'a donné accès à tous ce dont j'avais besoin. J'exprime mes vifs remerciements à Mme Sylvie Saligot qui ne m'a pas lâché en m'orientant vers les bonnes pratiques au

laboratoire. Ma gratitude va également au reste de l'équipe : Mr Crahay Etienne (Contrôle de qualité au champs), Mme Terclavers Catherine et Mme Van Droogenbroeck Nancy. Je remercie Mr Servais Alain (Directeur du comptoir forestier en Wallonie, Belgique) de m'avoir donné la chance de visiter les différents écosystèmes de la Wallonie et de m'avoir tant appris sur le développement des essences forestières.

Je remercie le Professeur Vladan Ivetic (Chef de département de Foresterie, Université de Belgrade, Serbie) pour tous ce qu'il m'a appris sur le monde de la foresterie, de m'avoir intégré dans la société internationale de reboisement et surtout de m'avoir donné sa confiance en me nommant Editeur dans la revue internationale 'Reforesta' dans le domaine 'Germination et Régénération'.

Je suis reconnaissant envers le Professeur Bruce Roger Maslin, Membre de "Order of Australia and Senior Principal Research Scientist" (Department of Parks and Wildlife, Australia) et créateur du site "WorldWide-Wattle", pour l'identification de toutes les espèces répertoriées dans ce travail.

Je remercie tous les services de conservation des forêts, les instituts de recherches forestières ainsi que chaque population autochtone pour chaque région du territoire algérien où la prospection a été réalisé.

Je tiens à remercier ma famille professionnelle et mon équipe de formation de l'Université de Batna 2 : Mr Medjadba A., Mr Meradsi F., Mr Bezzalla A., Mr Meddah A., Melle Larouk C., Melle Nouri L., Melle Khater N., Melle Zekri J., Melle Neffar F., Mr Laabassi A.

Je n'oublierai surement pas de remercier mes étudiants : Mr Abdelhamid O., Mr Benyamina H., Mr Laourari Z., et Mr Belatreche R, et tous ceux qui ont contribué à ce travail.

Sommaire

	Page
Introduction générale	1
Chapitre I – Inventaire et distribution géographique des espèces du genre <i>Acacia</i> Mill. (Fabacées Mimosacées) en Algérie	
1 Objectif de l'étude	5
2 Matériel et Méthodes	5
2.1 Site d'étude	5
2.2 Cartographie	5
2.3 Prospection et collecte de données sur terrain	6
2.4 Caractérisation du degré d'aridité et classification climatique	6
3 Résultats et Discussion	6
3.1 Distribution par Climat	6
3.2 Répartition par région et caractéristiques biologiques des espèces	7
4 Conclusions	14
Chapitre II – Levée de la dormance tégumentaire et cinétique de germination chez les espèces du genre <i>Acacia</i> (Fabaceae Mimosaceae) en Algérie	
1 Objectif de l'étude	16
2 Matériel et Méthodes	18
2.1 Récolte et origine des graines	18
2.2 Dispositif expérimental et traitements	18
2.3 Analyses statistiques	19
3 Résultats et Discussion	20
4 Conclusion	27
Chapitre III – Effet de la salinité sur la germination de trois espèces du genre <i>Acacia</i> (<i>A. karroo</i>, <i>A. saligna</i> et <i>A. tortilis</i>)	
1 Objectif de l'étude	28
2 Matériel et Méthodes	29
2.1 Récolte et origine des graines	29
2.2 Germination des graines	30
2.3 Dispositif expérimental et Application du stress salin	30
2.4 Analyses statistiques	31
3 Résultats	31
3.1 Cinétique de germination	31
3.2 Pourcentage final de germination	34
3.3 Temps moyen de germination	35
4 Discussion	36
Chapitre IV – Effet de l'écotype, du type de sel et de l'eau de mer sur le comportement de chacune des espèces d'<i>Acacia</i> (<i>A. karroo</i>, <i>A. saligna</i> et <i>A. tortilis</i>) au stade germination et émergence des plantules	
1 Effet de l'écotype	39
1.1 Objectif de l'étude	39
1.2 Matériel et Méthodes	39
1.2.1 Matériel végétal	39
1.2.2 Conditions de germination et traitements de salinité	40
1.2.3 Paramètres étudiés	40
1.3 Résultats	41
1.3.1 Pourcentage final de germination	41
1.3.2 Germination journalière moyenne	42
1.3.3 Emergence des plantules	42
1.4 Discussion	43
2 Effet du type de sel sur la germination	45
2.1 Objectif de l'étude	45
2.2 Matériel et Méthodes	45
2.2.1 Récolte des graines	45
2.2.2 Germination des graines	45

2.2.3 Application du stress salin	46
2.2.4 Paramètres étudiées	46
2.2.5 Analyses statistiques	47
2.3 Résultats	47
2.3.1 Cinétique de germination	47
2.3.2 Pourcentage final de germination	49
2.3.3 Germination journalière moyenne	49
2.3.4 Réversibilité de l'action du sel	50
2.4 Discussion	50
3 Effet de l'eau de mer	53
3.1 Objectif de l'étude	53
3.2 Matériel et Méthodes	53
3.2.1 Récolte des graines	53
3.2.2 Taux moyen de la mer méditerranée	54
3.2.3 Germination des graines et traitements	54
3.2.4 Paramètres étudiés	55
3.2.5 Analyses statistiques	55
3.3 Résultats	55
3.4 Discussion	56
Chapitre V – Effet de la salinité sur les paramètres morpho-physiologiques, biochimiques et anatomiques chez les plantes d'<i>Acacia karroo</i> et <i>Acacia saligna</i>	
1 Objectif de l'étude	59
2 Matériel et Méthodes	59
2.1 Matériel végétal, conditions de croissance et traitement au sel	59
2.2 Mesure des paramètres morphologiques	61
2.3 Mesure des paramètres physiologiques	62
2.3.1 Indice de tolérance au sel	62
2.3.2 Surface de la masse foliaire	62
2.3.3 Teneur relative en eau des feuilles	62
2.3.4 Perte graduelle en eau	62
2.4 Mesure des paramètres biochimiques	63
2.4.1 Les pigments photosynthétiques	63
2.4.2 Teneur en ions	63
2.4.3 Proline foliaire	63
2.4.4 Extraction d'échantillons pour l'estimation de divers métabolites	64
2.4.4.1 Protéines solubles	64
2.4.4.2 Acides aminés libres totaux	64
2.4.4.3 Amidon	65
2.4.4.4 Total des sucres réducteurs	65
2.5 Mesure des paramètres anatomiques	66
2.6 Analyses statistiques	66
3 Résultats et discussion	67
3.1 Paramètres morphologiques	67
3.2 Paramètres physiologiques	70
3.3 Paramètres biochimiques	73
3.3.1 Effet de la salinité sur les pigments photosynthétiques/assimilateurs	73
3.3.2 Effets de la salinité sur l'homéostasie ionique	76
3.3.3 Effets de la salinité sur la teneur en proline, protéines solubles, acides aminés libres totaux, amidon et en sucres réducteurs	80
3.4 Effet de la salinité sur paramètres anatomiques des tiges et des racines	84
3.4.1 Effet de la salinité sur l'anatomie des tiges	84
3.4.2 Effet de la salinité sur l'anatomie des racines	89
4 Discussion générale	91
Conclusion générale	94
Références bibliographiques	96
Annexe	
Production scientifique	

Liste des Tableaux

Tableau	Titre	Page
1	Valeurs moyennes et erreur standard moyenne (SEM) des facteurs climatiques (températures et précipitations) (2000-2016) et d'altitudes du site où l'espèce est présente.	7
2	Synthèse bibliographique des différents noms taxonomiques des dix espèces d'acacia recensées en Algérie.	8
3	Provenances des semences d'Acacia.	18
4	Analyse de la variance des semences des espèces d'acacias étudiées en réponse à différentes durées de prétraitements à l'acide sulfurique et après 18 jours du semis.	20
5	Pourcentage final de germination (FGP), temps moyen de germination (MGT) et l'indice de taux de germination (GRI) pour les différentes espèces d'acacia exposées à différentes durées de prétraitements à l'acide sulfurique (TRT).	23
6	Coefficient de corrélation de Pearson entre le pourcentage final de germination (FGP), temps moyen de germination (MGT) et l'indice de taux de germination (GRI) pour les différentes espèces d'acacia exposées à différentes durées de prétraitements à l'acide sulfurique (TRT).	25
7	Caractéristiques et provenances des graines des acacias étudiés.	29
8	Analyse de la variance pour les variables : pourcentage final de germination (FGP), temps moyen de germination (MGT) des graines (<i>A. karroo</i> , <i>A. saligna</i> et <i>A. tortilis</i>) en réponse au stress salin opéré par du NaCl.	33
9	Effet du NaCl sur le pourcentage final de germination (FGP) et temps moyen de germination (MGT) des graines (<i>A. karroo</i> , <i>A. saligna</i> et <i>A. tortilis</i>) (après 21 jours de traitement).	34
10	Coefficient de corrélation de Pearson entre le pourcentage final de germination (FGP) et le temps moyen de germination (MGT) pour les différentes espèces d'acacia exposées à différentes concentrations de NaCl.	35
11	Coordonnées géographiques et climat des deux populations d' <i>A. karroo</i> en Algérie.	39
12	Effet du NaCl sur le pourcentage final de germination (FGP), la germination journalière moyenne (MDG) des graines et la longueur des plantules (SL) d' <i>A. karroo</i> (après 21 jours de traitement).	41
13	Analyse de la variance pour les paramètres étudiés pour les deux écotypes d' <i>A. karroo</i> Hayne (Côtier et steppique) en réponse au stress salin.	42
14	Effet du NaCl et du CaCl ₂ sur le pourcentage final de germination (FGP), la germination journalière moyenne (MDG) des graines d' <i>A. saligna</i> (après 21 jours de traitement).	47
15	Analyse de la variance pour les variables : pourcentage final de germination (FGP), germination journalière moyenne (MDG) et du test de réversibilité de l'action du sel (REC ₆₀₀) des graines d' <i>A. saligna</i> en réponse au stress salin opéré par du NaCl et du CaCl ₂ .	48
16	Composition des sels minéraux dissous dans l'eau de mer.	54
17	Effet du NaCl sur le pourcentage final de germination (FGP), la germination journalière moyenne (MDG) des graines et la longueur des plantules (SL) d' <i>A. tortilis</i> (après 15 jours de traitement à l'eau de mer).	55
18	Analyse de la variance pour les paramètres étudiés pour <i>A. tortilis</i> en réponse aux différentes dilutions de l'eau de mer.	56
19	Coefficient de corrélation de Pearson entre le pourcentage final de germination (FGP), germination journalière moyenne (MDG) et la longueur des plantules (SL) pour les graines d' <i>Acacia tortilis</i> exposées à différentes concentrations d'eau de mer.	56
20	Préparation de la solution saline et potentiel hydrique correspondant.	61
21	Analyse de la variance des effets de la salinité sur la longueur des tiges (LT), la longueur des racines (LR), le nombre de feuilles par plante (NFP), et le diamètre au collet (DC) chez deux espèces d'acacias (SP) soumises au traitement salin.	68

22	Analyse de la variance des effets de la salinité sur la surface massique foliaire (LMA), la perte graduelle en eau (RWL), le contenu relatif en eau (RWC) et l'indice de tolérance à la salinité (STI) chez deux espèces d'acacias (SP) soumises au traitement salin (TRT).	70
23	Analyse de la variance des effets de la salinité sur la chlorophylle totale (Chl_T), la chlorophylle a (Chl_a), la chlorophylle b (Chl_b), les caroténoïdes (Car) et le rapport Chlorophylle a/Chlorophylle b ($Chl_{a/b}$) chez les feuilles de deux espèces d'acacias (SP) soumises au traitement salin (TRT).	73
24	Analyse de la variance des effets de la salinité sur la teneur en ions sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}) et le rapport Na^+/K^+ ($Rap_{Na/K}$) chez les feuilles de deux espèces d'acacias (SP) soumises au traitement salin (TRT).	76
25	Analyse de la variance des effets de la salinité sur la teneur en proline (Pr), protéines solubles (PS), acides aminés libres totaux (AALT), amidon (Am) et en sucres réducteurs (SR) chez les feuilles de deux espèces d'acacias (SP) soumises au traitement salin (TRT).	80
26	Analyse de la variance des effets de la salinité sur les paramètres anatomiques de la tige (ST : Surface de la tige, PT : Périmètre de la tige, ECT : Epaisseur du cortex de la tige, SST : Surface de la stèle de la tige, PST : Périmètre de la stèle de la tige et SMT : Surface de la moelle) et de la racine (ER : Epaisseur de la racine, ECR : Epaisseur du cortex de la racine et ESR : Epaisseur de la stèle de la racine) de deux espèces d'acacias (<i>A. karroo</i> et <i>A. saligna</i>) (SP) soumises au traitement salin (TRT).	88

Liste des Figures

Figure	Titre	Page
1-10	Répartition géographique des espèces d'acacia en Algérie.	10
11	Classification des espèces du genre <i>Acacia</i> suivant l'indice d'Aridité de De Martonne (IM) en Algérie.	10
12	<i>Acacia farnesiana</i> , Relizane, Algérie.	12
13	<i>Acacia karroo</i> , Oran, Algérie.	12
14-15	<i>Acacia saligna</i> , Aïn Temouchent, Algérie.	12
16	<i>Acacia tortilis</i> , Tamanrasset, Algérie.	13
17	Description des graines des différentes espèces d'Acacia étudiées.	19
18	Evolution du taux de germination des semences des différentes espèces d'Acacia en fonction du traitement à l'acide sulfurique concentré durant 18 jours d'incubation.	21
19	Semences des différentes espèces d'Acacia étudiés.	31
20	Effet du NaCl avec des concentrations allant de 0 à 600 meq.L ⁻¹ sur la cinétique de germination des graines de (<i>A. karroo</i> , <i>A. saligna</i> et <i>A. tortilis</i>) pendant 21 jours.	32
21	Dispositif expérimental et germination en boîtes de Pétri. (A) <i>A. saligna</i> ; (B) <i>A. tortilis</i> ; (C) <i>A. karroo</i> .	35
22	Effet des différents types de sel (NaCl et CaCl ₂) avec des concentrations similaires de (0 à 600 meq.L ⁻¹) sur la cinétique de germination des graines d' <i>A. saligna</i> pendant 21 jours.	48
23	Variations du pourcentage final de germination (FGP) d' <i>A. saligna</i> , après 21 jours de traitement avec divers sels (NaCl et CaCl ₂) (0 à 600 meq.L ⁻¹).	49
24	Variations de la germination journalière moyenne (MDG) d' <i>A. saligna</i> , après 21 jours de traitement avec divers sels (NaCl et CaCl ₂) (0 à 600 meq.L ⁻¹).	50
25	Test de la réversibilité de l'action du sel sur une période de 7 jours pour les graines d' <i>A. saligna</i> traitées par la forte concentration de (600 meq.L ⁻¹).	50
26	Dispositif expérimental et différents stades de développement des plantules d' <i>A. karroo</i> .	60
27	Dispositif expérimental et différents stades de développement des plantules d' <i>A. saligna</i> .	60
28	Plantes d' <i>Acacia karroo</i> âgées de 111 jours et cultivées sous différents niveaux de salinité (0, 200, 400 et 600 mM NaCl) durant 21 jours de traitement.	67
29	Plantes d' <i>Acacia saligna</i> âgées de 111 jours et cultivées sous différents niveaux de salinité (0, 200, 400 et 600 mM NaCl) durant 21 jours de traitement.	67
30	Effets du stress salin sur (A) la longueur des tiges, (B) la longueur des racines, (C) le nombre de feuilles par plante et (D) le diamètre au collet des plantes d' <i>A. karroo</i> et d' <i>A. saligna</i> après 21 jours de traitement salin à différents niveaux.	69
31	Effets du stress salin sur (A) la surface massique foliaire, (B) la perte graduelle en eau, (C) le contenu relatif en eau et (D) l'indice de tolérance à la salinité des plantes d' <i>A. karroo</i> et d' <i>A. saligna</i> après 21 jours de traitement salin à différents niveaux.	71
32	Effets du stress salin sur la teneur en (A) Chlorophylle totale, (B) Chlorophylle a, (C) Chlorophylle b, (D) Carotinoïdes et (E) sur le rapport Chl _{a/b} chez les feuilles des plantes d' <i>A. karroo</i> et d' <i>A. saligna</i> après 21 jours de traitement salin à différents niveaux.	74
33	Effets du stress salin sur la teneur en (A) ions sodium (Na ⁺), (B) potassium (K ⁺), (C) calcium (Ca ²⁺) et (D) le rapport Na ⁺ /K ⁺ (Rap _{Na/K}) chez les feuilles des plantes d' <i>A. karroo</i> et d' <i>A. saligna</i> après 21 jours de traitement salin à différents niveaux.	77
34	Exemple de corrélation chez <i>A. karroo</i> : (A) Teneur en ions sodium et potassium et (B) Teneur en sodium et calcium.	78
35	Effets du stress salin sur la teneur en (A) proline, (B) protéines solubles, (C) acides aminés libres totaux, (D) amidon et en (E) sucres réducteurs chez les feuilles des plantes d' <i>A. karroo</i> et d' <i>A. saligna</i> après 21 jours de traitement salin à différents niveaux.	81

36	Exemple de corrélation chez <i>A. karroo</i> : (A) Protéines solubles et acides aminés libres totaux et (B) Amidon et sucres réducteurs.	83
37	Paramètres anatomiques étudiés de (A) la tige (coupe transversale) et (B) la racine (Vue de profil) à 1,5 cm de l'apex caulinaire et racinaire au 21ème jour d'exposition des plantes d' <i>A. karroo</i> et d' <i>A. saligna</i> soumises à différents niveaux de salinité (0, 200, 400 et 600 mM NaCl).	85
38	Effets du stress salin sur les paramètres anatomiques de la tige (coupe transversale, 1.5 cm de l'apex caulinaire) : (A) Surface de la tige, (B) Périmètre de la tige, (C) Epaisseur du cortex, (D) Surface de la stèle, (E) Périmètre de la stèle et (F) Surface de la moelle chez les plantes d' <i>A. karroo</i> et d' <i>A. saligna</i> après 21 jours de traitement salin à différents niveaux.	86
39	Effets du stress salin sur les paramètres anatomiques de la racine (Observation de profil, 1.5 cm de l'apex racinaire) : (A) Epaisseur, (B) Epaisseur du cortex et (C) Epaisseur de la stèle chez les plantes d' <i>A. karroo</i> et d' <i>A. saligna</i> après 21 jours de traitement salin à différents niveaux.	90
40	Diagramme schématique représentant le mécanisme de tolérance à la salinité de deux espèces du genre <i>Acacia</i> (<i>A. karroo</i> et <i>A. saligna</i>).	92

Liste des Abréviations

Abréviations

AALT	Acides aminés libres totaux
Am	Amidon
CaCl ₂	Dichlorure de calcium
Car	Caroténoïdes
Chl _a	Chlorophylle a
Chl _{a/b}	Rapport Chlorophylle a/Chlorophylle b
Chl _b	Chlorophylle b
Chl _T	Chlorophylle totale
DC	Diamètre au collet
DDL	Degré de liberté
ECR	Epaisseur du cortex de la racine
ECT	Epaisseur du cortex de la tige
ER	Epaisseur de la racine
ESR	Epaisseur de la stèle de la racine
FGP	Pourcentage final de germination
FGP	Pourcentage final de germination
GRI	Indice de taux de germination
LMA	Surface massique foliaire
LR	Longueur des racines
LT	Longueur des tiges
MDG	Germination journalière moyenne
MGT	Temps moyen de germination
NaCl	Chlorure de sodium
NFP	Nombre de feuilles par plante
Pr	Proline
PS	Protéines solubles
PST	Périmètre de la stèle de la tige
PT	Périmètre de la tige
RWC	Contenu relatif en eau
RWL	Perte graduelle en eau
SEM	Erreur standard moyenne
SL	Longueur des plantules
SMT	Surface de la moelle
SP	Espèce
SR	Sucres réducteurs
SST	Surface de la stèle de la tige
ST	Surface de la tige
STI	Indice de tolérance à la salinité
TRT	Traitement

Introduction générale

Le concept de désertification est très large, il englobe des causes multiples et toute une gamme de conséquences ou d'impacts, en fonction de la dynamique du site d'intérêt. Les processus typiques de désertification comprennent l'érosion des sols (hydrique ou éolienne), la déforestation et le surpâturage, ou la salinisation et d'autres formes de dégradation de l'environnement (Stringer, 2008 ; Squires et Glenn, 2011 ; D'Odorico *et al.*, 2013 ; Gibbs *et al.*, 2015). Le résultat générique de l'agressivité de ces différents facteurs est une perte de productivité (Zika et Erb, 2009). Un des problèmes les plus urgents à résoudre aujourd'hui est la reconstitution des écosystèmes déjà dégradés. En général, la végétation ligneuse joue un rôle fondamental dans la structure et le fonctionnement des écosystèmes semi-arides (Dickhoefer *et al.*, 2010 ; Yüksek et Yüksek, 2011 ; Gautier *et al.*, 2015). C'est dans ce contexte que l'introduction d'espèces exotiques à croissance rapide a été communément utilisée comme solution pour faciliter la restauration écologique des paysages dégradés (Weber *et al.*, 2008 ; Bâ *et al.*, 2010 ; Schneider *et al.*, 2014).

Des résultats probants ont été obtenus dans plusieurs programmes de reboisement en utilisant beaucoup plus de légumineuses forestières (Villegas *et al.*, 2009 ; Sekkour, 2009 ; de Souza Moreira *et al.*, 2010 ; Mansouri, 2011 ; Fuentes-Ramírez *et al.*, 2011). Cependant, d'autres programmes de reboisement ont abouti à des échecs. En effet, certains reboisements se sont heurtés à des problèmes graves dont la brève longévité des espèces introduites (Le *et al.*, 2012), la mort des plants à la suite d'un déficit hydrique (Allen *et al.*, 2010) et à l'augmentation progressive des concentrations des sels dans le sol (Noe *et al.*, 2013).

Comme la plupart des arbres forestiers, les acacias sont fréquemment utilisés dans les programmes de reboisement et dans les systèmes d'ajustement agro-sylvo-pastoral pour les régions arides et semi-arides (McInnes and Brockwell, 2008 ; Dierick et Hölscher, 2009 ; Kunert *et al.*, 2010 ; Kull *et al.*, 2011 ; Mansouri, 2011 ; Belay *et al.*, 2013). Les espèces locales d'acacia sont souvent adaptées aux contraintes hydriques et thermiques des milieux (Warren *et al.*, 2011), participent à la restauration des sols pauvres et permettent des gains de fertilité en fixant des quantités variables d'azote atmosphérique grâce à l'association de leurs systèmes racinaires avec des microorganismes (Rhizobium et Mycorhizes) (Thrall *et al.*, 2009 ; Boukhatem *et al.*, 2012). Elles sont largement connues et utilisées par les populations locales pour les animaux comme source de fourrage (Mokoboki *et al.*, 2011).

La solution à ces problèmes environnementaux est de rechercher des espèces relativement économes en eau et résistantes à des épisodes récurrents de divers stress abiotiques. En effet, les stress abiotiques, tels que la sécheresse, la salinité, les températures extrêmes, la toxicité chimique et le stress oxydatif sont des menaces sérieuses pour

l'agriculture et entraînent une détérioration de l'environnement. Le stress abiotique est la principale cause de perte de récolte dans le monde, réduisant de plus de 50% les rendements moyens de la plupart des grandes cultures (Bray *et al.*, 2000 ; Mittler, 2006 ; Atkinson et Urwin, 2012). La sécheresse et la salinité deviennent particulièrement répandues dans de nombreuses régions et peuvent entraîner une sérieuse salinisation de plus de 50% de toutes les terres arables d'ici 2050 (Galford *et al.*, 2010). Le stress abiotique entraîne une série de changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui nuisent à la croissance et à la productivité des plantes (Wang *et al.*, 2003 ; Gill et Tuteja, 2010). La sécheresse, la salinité, les températures extrêmes et le stress oxydatif sont souvent interconnectés et peuvent provoquer des dommages cellulaires similaires. Par exemple, la sécheresse et/ou la salinisation se manifestent principalement sous la forme d'un stress osmotique, ce qui perturbe l'homéostasie et la distribution des ions dans la cellule (Zhu, 2001 ; Seki *et al.*, 2002 ; Chaves *et al.*, 2009). Le stress oxydatif, qui accompagne souvent la haute température, la salinité ou le stress hydrique, peut entraîner la dénaturation des protéines fonctionnelles et structurales (Seki *et al.*, 2003). En conséquence, ces divers stress environnementaux activent souvent des voies de signalisation cellulaire similaires et des réponses cellulaires telles que la production de protéines de stress, la régulation à la hausse des anti-oxydants et accumulation de solutés compatibles (Aubert *et al.*, 2010).

Les réponses des plantes à la salinité et à la sécheresse sont souvent similaires (Passioura, 1986 ; Vandersande *et al.*, 2001 ; Albacete *et al.*, 2014). Par exemple, la première phase du stress salin est l'effet osmotique qui est assez similaire à celle du stress hydrique (Hu et Schmidhalter, 2005). Les racines des plantes ont des mécanismes efficaces pour détecter le faible potentiel hydrique résultant soit d'un manque d'eau dans l'environnement, dû à de faibles précipitations, soit à la présence d'ions de sel en excès dans l'eau d'irrigation ou dans la rhizosphère (Reynolds *et al.*, 2005). Dans les deux cas, les plantes ne peuvent absorber suffisamment d'eau pour une croissance et un développement normal.

La réponse des plantes à la salinité peut être décrite en deux phases principales : la réaction indépendante des pousses se produit d'abord, en quelques minutes à quelques jours, et on pense qu'elle est liée à la détection et à la signalisation du Na^+ (Roy *et al.*, 2014). Dans cette première phase, les effets de la salinité peuvent être importants sur les relations hydriques, provoquant la fermeture des stomates et l'inhibition de l'expansion des feuilles (Miller *et al.*, 2010). La deuxième phase, la réponse dépendante des ions à la salinité, se développe sur une période plus longue (de jours à semaines) et entraîne l'accumulation d'ions toxiques dans la tige, en particulier dans les vieilles feuilles, entraînant une sénescence prématurée des feuilles (Munns et Tester, 2008). La salinité peut affecter la croissance et le

rendement de la plupart des plantes, en induisant une réduction de la division cellulaire dans les racines et les feuilles, l'auxèse, la différenciation cellulaire, ainsi que les processus génétiques, anatomique, biochimiques, physiologiques, morphologiques, écologiques, avec leurs interactions complexes suivies de lésions tissulaires significatives, entraînant la mort des plantes en cas d'exposition prolongée à la salinité (Munns, 2002; Katerji *et al.*, 2003; Ashraf and Harris, 2004 ; Reynolds *et al.*, 2005 ; Munns et Tester, 2008 ; Negrão *et al.*, 2017).

Beaucoup de recherches se sont orienté vers les halophytes depuis longtemps et se sont encore accentués cette dernière décennie. En effet, les halophytes sont considérés comme de nouvelles cultures potentielles à être utilisés comme fourrage, légume et oléagineux (Masters *et al.*, 2007 ; Nichols *et al.*, 2009 ; Glenn *et al.*, 2013). Cependant, l'utilisation potentielle d'espèces halophytes dans les sols salés et faciliter la phytoremédiation du sol dépend de plusieurs facteurs tels que l'accumulation de sel, le taux de croissance relatif et de la biomasse ainsi que le rendement économique (Panta *et al.*, 2014 ; Cheeseman, 2015).

Objectifs de ce travail

Dans ce travail, nous décrivons des techniques qui mesurent l'impact de la salinité sur plusieurs traits, tels que la croissance, les relations hydriques, l'homéostasie ionique, la photosynthèse, les composantes biochimiques ainsi que la structure anatomique. Il peut souvent être difficile d'identifier les caractères les plus importants contribuant à la tolérance à la salinité dans le système végétal donné.

L'objectif principal de ce travail consiste à évaluer les éventuelles différences interspécifiques de la tolérance à la salinité dans le genre *Acacia*, et particulièrement dans les espèces répertoriées en Algérie et de faire un premier tri sur l'espèce qui fera l'objet pour d'autres études afin de l'intégrer efficacement dans un programme de boisement/reboisement.

Ce document est arrangé sous forme de cinq chapitres. Chaque chapitre commence par une introduction et se termine par une conclusion qui concernera la thématique du chapitre proposé. Une conclusion générale est rédigée à la fin et fera l'objet de synthèse des différents chapitres.

Nous avons procédé par un ordre chronologique décrit comme suit :

Le premier chapitre est une cartographie des espèces d'*Acacia* recensées au niveau du territoire national algérien. Vingt quatre régions ont été prospectés afin de tracer des cartes de distributions géographique en relation direct avec les données climatiques et la situation géographique.

Le deuxième chapitre est consacré à l'amélioration de la germination en recherchant le meilleur prétraitement basé sur l'immersion dans l'acide sulfurique à une durée déterminée. Un prétraitement est nécessaire aux graines des Acacias pour lever l'inhibition tégumentaire

(à cause de la dureté du tégument de la semence) et d'induire le processus d'imbibition, première étape importante de la germination.

Le troisième et quatrième chapitre étudient l'effet de la salinité sur la germination. Cependant, nous n'allons pas expérimenter cet effet sur toutes espèces d'Acacia recensées en Algérie. En effet, seulement trois parmi les dix espèces répertoriées seront étudiées. Cette sélection est basée surtout sur la distribution géographique et la densité de chaque espèce choisie (voir chapitre 1).

Le cinquième chapitre exclura *A. tortilis* de l'étude de l'effet du chlorure de sodium sur les paramètres morpho-physiologiques, biochimique et anatomiques des plantules. L'argument de cette exclusion, est que nous nous baserons sur les résultats de la comparaison au niveau de l'effet du NaCl sur la germination. Nous retiendrons donc l'espèce la plus tolérante au sel (*A. karroo*) et l'espèce sensible (*A. saligna*) à ce stade et nous poursuivons l'étude sur l'effet du sel sur la croissance et le comportement des plantules afin de vérifier l'hypothèse qu'une espèce tolérante au stade germination le sera aussi à un stade plus avancé. En plus, *A. tortilis* est une espèce à croissance très lente et n'a pas pu présenter un matériel végétal considérable qui pourra être intégré dans une comparaison (inter-espèces) où l'effet principal de l'action du sel est sur la croissance.

Enfin, une conclusion générale englobera les conclusions pertinentes retenues pour chaque étude. Les différents articles scientifiques publiés durant la réalisation de cette thèse sont classés à la fin du document dans un chapitre appelé 'Production scientifique'.

Chapitre I – Inventaire et distribution géographique des espèces du genre *Acacia* Mill. (Fabacées Mimosacées) en Algérie

1 Objectif de l'étude

Récemment, plusieurs travaux de recherches ont été entrepris pour une meilleure compréhension du comportement des espèces du genre *Acacia*, un genre qui pourrait contribuer pour un bon programme de reboisement rapide et permanent dans les régions où la dégradation des terres s'est largement étendue en Algérie (Mansouri, 2011 ; Kheloufi, 2017 ; Kheloufi *et al.*, 2017). Cependant, bien que ces espèces aient été souvent utilisées pour expliquer certaines caractéristiques écologiques et physiologiques de l'environnement, très peu de recherches se sont intéressées à leur zone de distribution réelle ou potentielle en Algérie.

La cartographie des zones occupées par ces différentes espèces peut être faite sur la base de la collecte de données sur terrain, en compilant des données bibliographiques et en consultant des collections d'herbiers. La réalisation de cartes dans ce travail représente une contribution à la distribution des espèces d'acacias en Algérie afin d'enrichir des connaissances potentielles dans ce domaine. En outre, une synthèse de noms taxonomiques divers sous forme d'un tableau de synthèse bibliographique a été établie dans le but d'éliminer n'importe quelle confusion dans l'étude pour une espèce définie et appartenant au genre *Acacia*.

2 Matériel et Méthodes

2.1 Site d'étude

L'Algérie est constituée d'une multitude de reliefs. Le nord est sillonné de l'Ouest vers l'Est par une double barrière montagneuse (Atlas Tellien et Saharien) avec des chaînes telles que le Dahra, l'Ouarsenis, le Hodna, les chaînes de Kabylie (le Djurdjura, les Babors et les Bibans) et les Aurès. Le sol est couvert de nombreuses forêts au centre, vastes plaines à l'Est et le Sahara qui représente à lui seul 84% du territoire. L'Algérie est située au nord de l'Afrique, entre les latitudes 37°4' N et 18°58' N, et les longitudes 8°40' O et 11°59' E. La superficie du pays est la plus grande d'Afrique, avec une surface de 2.381.741 km². Elle est administrativement divisée en 48 régions.

2.2 Cartographie

La réalisation des cartes de distribution réelles et potentielles a été basée beaucoup plus sur des observations sur terrain le long du territoire national. Nous n'avons pas pris en compte les herbiers exposés au niveau des instituts de recherches forestières ou dans les départements de foresterie parce que des informations de valeur manquaient comme les caractéristiques de population où les échantillons des plantes ont été collectés. La méthode utilisée pour dresser la carte de distribution d'espèce correspondra donc à la zone de distribution réelle. Les cartes de

distribution géoréférencées ont été réalisées avec GIS software (ArcGIS 10.3). De plus, nous nous orienterons par les données rassemblées au niveau des département de la conservation des forêts et des Parcs nationaux ainsi que les instituts de recherches forestières. La prospection s'est étalée de 2013 à 2016. Les positions géographiques ont été enregistrées en utilisant un Récepteur GPS Magellan eXplorist 200.

2.3 Prospection et collecte de données sur terrain

Vingt-quatre régions (Adrar, Aïn Defla, Aïn Témouchent, Alger, Annaba, Batna, Béchar, Biskra, Chlef, Djelfa, El Bayadh, El Tarf, Mascara, Mostaganem, Msila, Naama, Oran, Relizane, Saïda, Sidi Bel Abbas, Tamanrasset, Tiaret, Tindouf et Tlemcen) étaient l'objet d'observations diverses sur la distribution des espèces d'acacia. Chaque site est localisé d'abord avec le récepteur GPS (Altitude, Latitudes et Longitudes). Sur chaque site où l'espèce a été détecté, la surface moyenne globale était de 10.000 m² (100 m×100 m), conformément aux recommandations de Küchler et Zonneveld (1988) pour les zones arides et semi-arides. En effet, l'échelle retenue pour indiquer la présence de chaque espèce était de (> 50 individus par 10.000 m²).

2.4 Caractérisation du degré d'aridité et classification climatique

Les facteurs exogènes varient selon un gradient climatique du nord au sud du pays. Le climat est le facteur le plus important influençant la croissance forestière et la distribution des espèces (Guisan et Thuiller, 2005). Dans cette étude, nous avons retenu la précipitation moyenne annuelle d'une période de 17 ans (2000-2016) ainsi que la température moyenne annuelle. Les données climatiques ont été fournies par la banque des données climatiques mondiales : Tutiempo, disponible sur le site web : www.tutiempo.net.

L'indice d'aridité de De Martonne de chaque région où l'espèce est présente a été calculé par l'équation établie par De Martonne (1926), et cet indice a permis à classer l'espèce selon le niveau d'aridité de son habitat respectif. Cette classification a été utilisée dans la présentation des résultats.

$$IM = \frac{P}{T + 10}$$

IM = Indice d'aridité de De Martonne

P = Moyenne annuelle des précipitations en millimètre (mm).

T = Moyenne annuelle des températures en degré Celsius (°C).

3 Résultats et Discussion

3.1 Distribution par Climat

La diversité géographique de l'Algérie produit une gamme très large de conditions climatiques. La partie Nord du pays a un climat méditerranéen avec des hivers doux/humides

et des étés chauds/secs. La région des plateaux a un climat semi-aride, avec des contrastes importants entre l'été et l'hiver. Les températures varient le plus dans la région du désert, qui a un climat aride avec presque aucune averse annuelle. Les températures d'été atteignent en moyenne de 25°C dans la région côtière du Nord, 27°C dans les plateaux et 34°C dans le désert où des températures très élevées atteignant les 49°C ont été enregistrées. Les températures d'hiver atteignent en moyenne des variations de 5°C dans les plateaux à 11°C au Nord ; des diminutions des températures d'hiver dans le désert peuvent aller plus bas que -10°C. Le vent chaud, poussiéreux connu comme le Sirocco souffle souvent en été.

Tableau 1. Valeurs moyennes et Erreur standard moyenne (SEM) des facteurs climatiques (températures et précipitations) (2000-2016) et d'altitudes du site où l'espèce est présente.

Espèces	Moyenne annuelle de précipitations (mm)	Moyenne annuelle de température		Altitude (m)
		T min (°C)	T max (°C)	
<i>A. albida</i>	106,3	16,4	30,2	539
<i>A. decurrens</i>	1015,5	12,8	22,9	70
<i>A. ehrenbergiana</i>	49,2	16,7	31,8	709,5
<i>A. farnesiana</i>	257,8	13,3	26,6	274,5
<i>A. karroo</i>	386,3	11,6	23,7	713,5
<i>A. laeta</i>	94,2	15,7	29,7	1170
<i>A. nilotica</i>	80,7	16,7	31,2	466,5
<i>A. saligna</i>	499,3	12,3	24,1	446,7
<i>A. seyal</i>	125,4	16,4	29,4	609
<i>A. tortilis</i>	73,9	16,3	31,0	645,5
Moyenne (24 régions)	268,9	14,9	28,1	564,4
SEM	218,9	1,8	2,9	205,1

Les moyennes de température peut influencer les zones de distribution ainsi que les programmes de reboisement car elles déterminent le choix des espèces forestières utilisées en fonction de leur résistance ou non aux températures extrêmes. Cependant, ces données ne reflètent pas exactement les conditions météorologiques des sites, sachant que les données climatiques sont enregistrées dans des stations météorologiques situées à des endroits très précis. Nous pouvons supposer qu'il y a des différences de températures avec différents endroits parce que les régions ont des surfaces importantes. Cependant, ces observations restent une bonne indication des conditions météorologiques sur les différents sites.

3.2 Répartition par région et caractéristiques biologiques des espèces

Les aires de répartition des espèces d'acacia sont représentées selon un gradient climatique Nord-Sud et toujours dans les limites territoriales de l'Algérie (Figures 1-10 et Figures 12-16). A l'exception d'*A. karroo*, la répartition des espèces d'*A. albida*, *A. ehrenbergiana*, *A. laeta*, *A. nilotica*, *A. seyal* et *A. tortilis* ne semble pas traverser le Nord de

l'Algérie. Cependant, le manque de données sur cette observation ne permet pas de confirmer avec certitude cette hypothèse (Figures 1-10).

Selon la morphologie des espèces d'acacias répertoriées en Algérie, il existe trois groupes d'espèces. Dans le premier groupe, ils sont épineux avec des feuilles composées (*A. albida*, *A. ehrenbergiana*, *A. farnesiana*, *A. karroo*, *A. laeta*, *A. nilotica*, *A. seyal* et *A. tortilis*). Le second regroupe *A. decurrens*, qui n'est pas un arbre épineux, mais qui a des feuilles composées. Le dernier groupe est représenté par *A. saligna*, qui n'est pas une espèce épineuse, mais a des phyllodes (pétiole ou rachis modifié en feuille). Ces caractères morphologiques confèrent une adaptation pour chaque espèce à son environnement.

Le tableau 2 représente une synthèse de divers noms taxonomiques avec une référence historique de chaque espèce répertoriée dans notre étude. C'est une synthèse bibliographique de certains travaux de recherches sur les espèces ligneuses et leur systématique à travers le temps.

Tableau 2. Synthèse bibliographique des différents noms taxonomiques des dix espèces d'acacia recensées en Algérie.

Espèces	Synonymes	Références
<i>A. albida</i>	<i>Acacia albida</i> Delile, 1813 <i>Faidherbia albida</i> (Delile) Chev., 1934	(Arbonnier, 2009)
<i>A. decurrens</i>	<i>Mimosa decurrens</i> Donn, 1796 <i>Acacia decurrens</i> Willd., 1806 <i>Acacia angulata</i> Desv., 1814	(Moffett et Nixon, 1974)
<i>A. ehrenbergiana</i>	<i>Acacia ehrenbergiana</i> Hayne, 1827 <i>Acacia flava</i> Schweinf (Forssk.) Schweinf., 1896	(Arbonnier, 2009)
<i>A. farnesiana</i>	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd., 1806 <i>Acacia pedunculata</i> Willd., 1806	(Clarke <i>et al.</i> , 1989)
<i>A. karroo</i>	<i>Acacia eburnea</i> sensu auct. non (L. f.) Willd., 1806 <i>Acacia horrida</i> sensu auct. non (L.) Willd., 1806 <i>Acacia karroo</i> Hayne, 1827 <i>Acacia natalitia</i> E. Mey., 1836 <i>Acacia inconflagrabilis</i> Gerstner, 1948	(Jami <i>et al.</i> , 2012)
<i>A. laeta</i>	<i>Acacia laeta</i> R. Br., 1814 <i>Acacia trentiniani</i> A. Chev., 1901	(Arbonnier, 2009)
<i>A. nilotica</i>	<i>Acacia arabica</i> var. <i>tomentosa</i> Benth., 1842 <i>Acacia nilotica</i> subsp. <i>tomentosa</i> (Benth.) Brenan, 1957	(Arbonnier, 2009)
<i>A. saligna</i>	<i>Mimosa saligna</i> Labill., 1806 <i>Acacia saligna</i> (Labill.) H.L. Wendl., 1820 <i>Acacia cyanophylla</i> Lindl., 1839 <i>Acacia lindleyi</i> Meisn., 1844 <i>Racosperma salignum</i> (Labill.) Pedley, 1987	(Dhileepan <i>et al.</i> , 2006)
<i>A. seyal</i>	<i>Acacia seyal</i> Delile, 1813	(Arbonnier, 2009)
<i>A. tortilis</i>	<i>Acacia raddiana</i> Savi, 1830 <i>Acacia tortilis</i> var. <i>pubescens</i> A. Chev., 1927 <i>Acacia tortilis</i> fo. <i>raddiana</i> (Savi) Roberty, 1948 <i>Acacia tortilis</i> var. <i>raddiana</i> (Savi) Brenan, 1957	(Arbonnier, 2009)

Le territoire algérien semble abriter une diversité d'espèce intéressante du genre *Acacia* qui présentent des caractères rustiques, et qui survivent dans des conditions pédoclimatiques extrêmes. Cette aptitude leur confère un avantage pour être intégré dans des projets de

reboisement afin de réhabiliter des terres dégradées où la biodiversité est menacée. Les espèces recensées durant nos prospections étaient : *A. albida*, *A. laeta*, *A. ehrenbergiana*, *A. nilotica*, *A. seyal* et *A. tortilis*, considérées comme espèces indigènes (Ozenda, 1977), tandis que celles qui étaient introduites : *A. farnesiana*, originaire l'Amérique (Berhaut, 1975). *A. karroo*, originaire du sud de l'Afrique (Palmer et Pitman, 1972) et finalement *A. saligna* et *A. decurrens*, les deux originaires de l'Australie (Auld, 1983).

Les moyennes annuelles de précipitations, des températures minimales et maximales (2000-2016), et les altitudes de chaque site de prospection sont représentés sur le tableau 1. D'après l'indice d'aridité de De Martonne (Figure 11) et la classification bioclimatique de l'Algérie au cours d'une période de 17 ans (2000-2016) (Tableau 1), *A. albida*, *A. ehrenbergiana*, *A. laeta*, *A. nilotica*, *A. seyal* et *A. tortilis* sont distribuées dans les régions sahariennes (précipitations < 100 mm). *A. farnesiana* est distribuée dans les régions arides (précipitations entre 100-300 mm). *A. karroo* et *A. saligna* sont recensées en densité très importantes dans les zones semi-arides (précipitation entre 300-600 mm), et enfin *A. decurrens* est distribuée uniquement dans une région à climat méditerranéen humide (précipitations > 1000 mm).

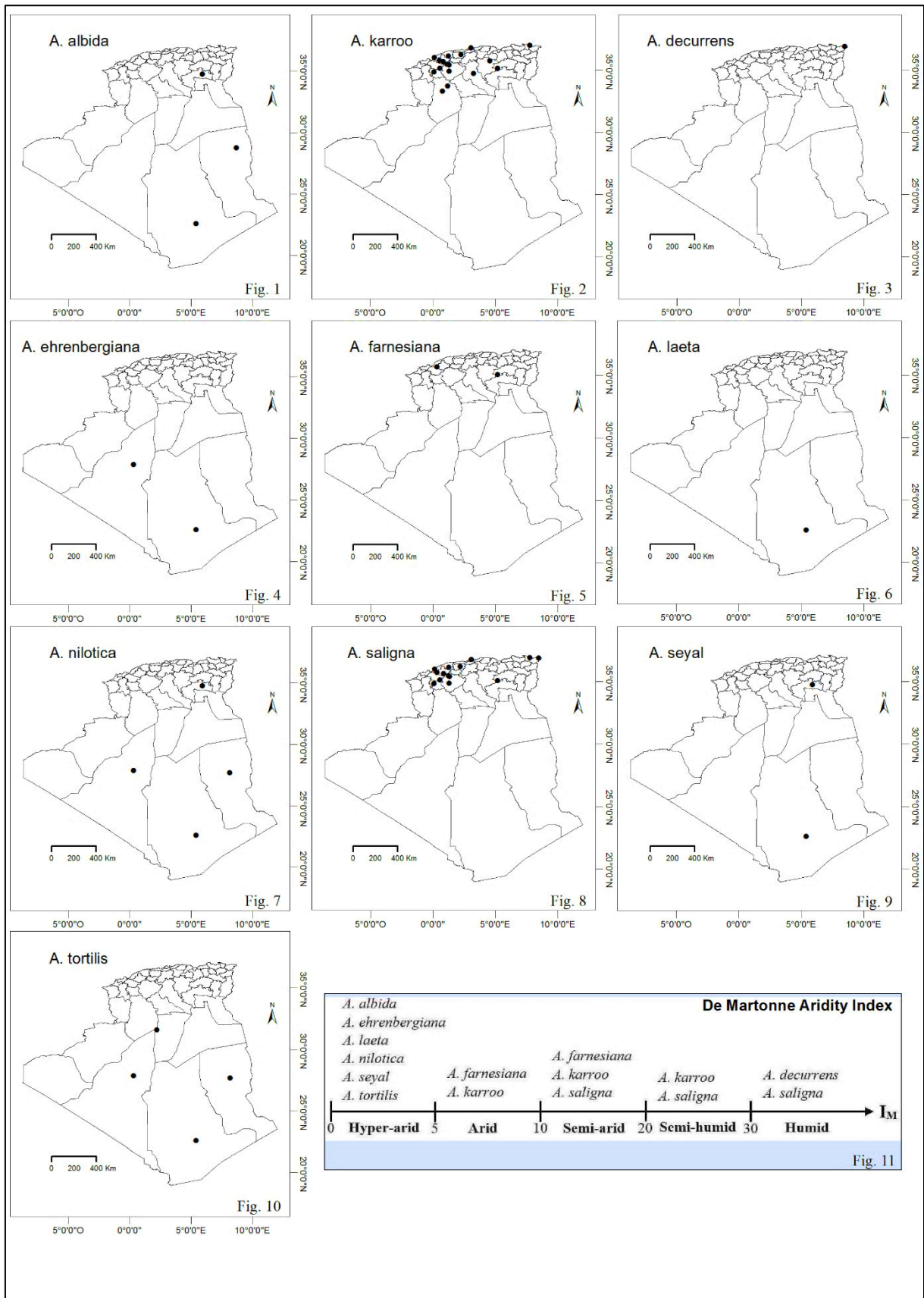
Les caractéristiques biologiques des différentes espèces ont été basées sur des observations, des recherches bibliographiques et des comparaisons entre les espèces répertoriées.

Acacia albida Delile, 1813

A. albida est un arbre à multiples usages et il est largement distribué dans les régions semi-arides (Biskra, Tamanrasset et Tindouf) (Figure 1). Le caractère distinctif le plus remarquable de cette espèce est sa phénologie inverse. Feuillu en saison sèche, caduc pendant la saison des pluies (Wood, 1992). La simple observation des feuillages, floraison ou fructification, révèle une grande variabilité au sein de la même population. *A. albida* est une espèce à haute plasticité écologique, car elle pousse sur presque tous les types de sols, mais elle pousse le plus souvent sur des substrats rocheux, boueux ou sableux. La médecine populaire ou la pharmacie familiale ont également révélé un avantage très intéressant de cette espèce dans le traitement des infections bronchopulmonaires, des troubles de la tête, de l'hypertension artérielle et du paludisme (Sheded *et al.*, 2006).

Acacia decurrens Willd., 1806

Cette espèce est l'une des plus représentées dans le Nord-Est de l'Algérie, avec beaucoup plus de populations concentrées dans le Parc National d'El-Kala (El Tarf) (Figure 3). *A. decurrens* est une espèce du bassin méditerranéen. C'est un arbre à croissance rapide avec une végétation bien développée (Kheloufi *et al.*, 2016a).



Figures (1 – 10). Répartition géographique des espèces d'acacia en Algérie.
Figure 11. Classification des espèces du genre *Acacia* suivant l'indice d'Aridité de De Martonne (IM) en Algérie.

Acacia ehrenbergiana Hayne, 1827

Cette espèce a été observée sur des sols argileux, rocheux et sablonneux dans les zones sèches. En exploitant les sources de données, il a été démontré que *A. ehrenbergiana* n'était localisé qu'à deux endroits (Adrar et Tamanrasset) le long des cours d'eau (Figure 4).

Acacia farnesiana (L.) Willd., 1806

A. farnesiana est originaire d'Amérique tropicale (Traveset, 1990). Il a été introduit dans toutes les régions tropicales où il s'est souvent naturalisé. Il est considéré comme pantropical aujourd'hui. Cet arbuste est très ramifié avec une écorce gris-brun, ses branches abondantes sont armées de fortes épines. Les épines droites et blanches ont une longueur de 1,5 à 5 cm. *A. farnesiana* est un mimosa tolérant à la sécheresse, mais pas tolérant au froid (Maldonado-Magaña *et al.*, 2011). Il est répertorié seulement dans deux zones spécifiques, à Relizane pour empêcher l'érosion du sol de la route nationale, et à Batna (M'doukel) pour lutter contre la désertification par la fixation des dunes (Figure 5).

Acacia karroo Hayne, 1827

C'est l'un des arbres à croissance rapide classé en deuxième position après *A. saligna*. Les feuilles sont composées de nombreuses folioles. Les branches sont armées de très longues épines acérées. Cet arbre est une bonne source de fourrage en raison du feuillage, des fleurs et des gousses. L'arbre attire les insectes par ses fleurs et sa gomme, et attire les oiseaux insectivores. C'est une source considérable d'ombre dans les régions sèches et un site de nidification pour plusieurs espèces d'oiseaux. Le bois est solide, durable et sa gomme est comestible (Anderson et Pinto, 1980). Cette espèce est répertoriée dans la majeure partie du territoire algérien et son comportement varie d'un écotype à l'autre (Kheloufi *et al.*, 2017) (Figure 2).

Acacia laeta R. Br., 1814

On le trouve seulement dans le Sud du pays (Figure 6). Cette espèce colonise presque tous les types de sols. *A. laeta* est un arbuste de 4-10 m de haut dont l'écorce est fissurée et gris-vert. Des épines par paires, en forme de griffes, juste en dessous de chaque nœud, recourbées et parfois avec un troisième piquant intermédiaire courbé vers le haut (Anderson *et al.*, 1968). Les feuilles sont composées et sont très caractéristiques avec leur aspect dur et leur pubescence surtout sur la face inférieure.

Acacia nilotica subsp. *tomentosa* (Benth.) Brenan, 1957

Deux sous-espèces d'*A. nilotica* (*nilotica* et *tomentosa*) sont connues en Algérie. Ils nécessitent plusieurs types de sols et occupent diverses zones de distribution. Comme cette étude ne tient pas compte de cette différenciation chez les sous-espèces, la distribution est relativement uniforme (Figure 7). *A. nilotica* est originaire des zones sèches d'Afrique tropicale

et d'Asie occidentale (Giri *et al.*, 2007). Les feuilles ont une valeur nutritionnelle considérable et sont particulièrement utilisées comme fourrage pour les ruminants (vaches, moutons et chèvres) (Kheloufi et Mansouri, 2017). Les arbres d'*Acacia nilotica* contribuent à améliorer les caractéristiques du sol et peuvent être utilisés comme bois de chauffage (Lal et Khanna, 1994).



Figure 12. *Acacia farnesiana*, Relizane, Algérie. **Figure 13.** *Acacia karroo*, Oran, Algérie.
Figures 14, 15. *Acacia saligna*, Aïn Temouchent, Algérie.



Figure 16. *Acacia tortilis*, Tamanrasset, Algérie.

Acacia saligna (Labill.) H.L. Wendl., 1820

C'est le seul *Acacia* avec des phyllodes présent en Algérie. Les feuilles adultes passent des feuilles composées bipennées juvéniles aux phyllodes. Cette espèce colonise tout le Nord de l'Algérie (Figure 8). Cet arbre tolère une grande variété de sols (même alcalins) et se comporte normalement dans des sols très salins (Sebkha, chott) et des côtes. En effet, *A. saligna* peut tolérer les embruns salés, le soleil chaud des côtes, les vents extrêmes et les sols sablonneux (Mansouri, 2011). Il est utilisé pour la création de brise-vent, et c'est l'une des espèces à croissance rapide. Le meilleur exemple est le projet de revégétalisations de la carrière de sable en association avec les rhizobiums sélectionnés par Mansouri (2011) dans la région d'Aïn Témouchent (Nord-Ouest de l'Algérie). La zone est située à 2 mètres d'altitude et à 400 mètres de la côte de Terga. Les 1840 arbres plantés d'*A. saligna* se développent très bien aujourd'hui en protégeant une large biodiversité et en empêchant l'érosion des sols. En raison de la grande rusticité cette espèce et de sa bonne adaptation, elle est utilisée comme espèce pionnière, favorisant l'amélioration de la fertilité du sol sur de courtes périodes et favorisant un meilleur développement d'autres espèces plus productives.

Acacia seyal Delile, 1813

A. seyal est une espèce d'arbuste qui pousse sur des sols graveleux, rocheux et sableux. Les branches dégagent généralement une gomme translucide. Les feuilles sont composées d'une série de folioles opposées et ont un pétiole extrêmement court. Cette étude a révélé sa présence dans le Sud avec une autre présence dans la région de Biskra (Figure 9). La hauteur que cet

arbre peut atteindre est de 17 mètres et 60 cm de diamètre. Il est commun dans plusieurs parties de l'Afrique, en particulier au Nord de l'Equateur (Menziès et al., 1996).

Acacia tortilis subsp. *raddiana* (Savi) Brenan, 1957

A. raddiana est l'arbre le plus répandu dans le Sahara (Coughenour et Detling, 1986). C'est un symbole du désert en Afrique du Nord. Parmi toutes les espèces d'acacia situées en Algérie, *A. tortilis* subsp. *raddiana* est apparemment la plus liée au désert (Figure 10). C'est une espèce pionnière des écotypes arides. C'est une espèce à croissance lente comparée à d'autres espèces d'acacia et constitue un élément majeur permettant la préservation de l'équilibre écologique et la lutte contre la désertification (Kheloufi *et al.*, 2016b). Les différentes parties de l'espèce : racines, feuilles, gousses, gomme et écorce sont très utiles à des fins médicales, pastorales et commerciales (Al-Fatimi *et al.*, 2007). *Acacia tortilis* pousse généralement dans des sols rocheux, boueux et sablonneux.

4 Conclusions

La répartition géographique du genre *Acacia* Mill. (Fabacées Mimosacées) en Algérie a été déterminée après des prospections, localisation et la description des différentes populations d'espèces dans l'ensemble du territoire algérien. Vingt-quatre régions ont été inspectées, en fonction de l'abondance relative des espèces. Parmi les dix espèces trouvées en Algérie, seules *A. karroo* et *A. saligna* peuvent être trouvées dans tout le pays. Cependant, il y a beaucoup plus de concentrations dans certaines régions du Nord. *A. decurrens* ne se trouvait que dans le nord-est, avec des concentrations élevées dans le parc national d'El Kala. Cinq d'entre eux sont enregistrés dans le sud-ouest (*A. albida*, *A. ehrenbergiana*, *A. nilotica*, *A. seyal* et *A. tortilis*). *A. farnesiana* est indiqué dans le nord-est et le nord-ouest. Les individus d'*Acacia laeta* étaient très rares. Selon les données climatiques au cours des années 2000-2016, les espèces suivantes adaptées à la pluviométrie annuelle, inférieure à 100 mm: *A. albida*, *A. ehrenbergiana*, *A. laeta*, *A. nilotica*, *A. seyal* et *A. tortilis*. Trois espèces (*A. karroo*, *A. farnesiana* et *A. saligna*) se trouvent dans des zones à pluviométrie annuelle comprise entre 250 et 500 mm. *Acacia decurrens* est située dans une zone où les précipitations annuelles dépassent 1000 mm.

L'aridité d'une région n'est pas seulement déterminée par les facteurs climatiques (précipitations et températures), mais aussi par d'autres facteurs tels que le relief topographique, la vitesse du vent qui affecte directement l'évaporation et les conditions écopédologiques. Chaque condition abiotique, qu'elle soit minière, géographique ou pédologique (précipitations, vent, nature du sol, localisation géographique, altitude, etc.) s'ajoute à l'influence de l'activité humaine (reboisement, déforestation) pour établir une distribution spécifique de chaque espèce végétale, dans l'espace et le temps. En considérant la répartition de cette espèce et la richesse

spécifique, les acacias établissent de bons indicateurs des zones écologiques en Algérie. Cette bonne concordance est liée à la quantité et à la qualité des données d'une part, et aux caractéristiques écologiques ainsi qu'à l'importance de la population d'espèces d'autre part.

Les cartes de répartition fournissent des outils essentiels à la compréhension de l'écologie des espèces et servent les actions de préservation des ressources naturelles. Les effets interactifs de la température ambiante et de l'échelle spatiale sur la diversité des espèces à l'aide de nos vastes bases de données sur la répartition des arbres ont divisé l'Algérie en deux grandes régions distinctes. Par conséquent, les acacias sont, par rapport aux résultats obtenus, de bons indicateurs des zones climatiques en Algérie. Certaines espèces présentent les éléments d'appréciation des conditions foncières comme la présence de l'eau ou d'un terrain spécifique.

Chapitre II – Levée de la dormance tégumentaire et cinétique de germination chez les espèces du genre *Acacia* (Fabaceae Mimosaceae) en Algérie

1 Objectif de l'étude

La germination est le premier stade de croissance des jeunes plants et c'est l'une des phases les plus vulnérables pour l'établissement de n'importe quelle espèce (Turnbull *et al.*, 2000 ; Moles et Westoby, 2006). Liée au pouvoir germinatif, l'inhibition tégumentaire est un problème crucial qui limite l'établissement des forêts renfermant principalement des arbres légumineux (Khurana et Singh, 2001). La dureté du tégument impose alors à la graine une dormance physique. C'est un mécanisme écologique qui ne permet l'induction de la germination que dans des conditions favorables afin d'assurer la survie des jeunes plants (Venier *et al.*, 2012a). Dans la nature, c'est la vernalisation, l'action du froid pendant l'hiver qui permet la sortie de la dormance au printemps. Ce mécanisme limite le pourcentage de germination qui n'est que de 5 à 10% une année donnée et cette germination des graines peut prendre des mois ou des années. Ainsi, ce phénomène représente un grand handicap quand un meilleur pourcentage de germination et une uniformisation sont exigés. Ce phénomène s'applique généralement aux arbres et aux arbustes forestiers de la famille des légumineuses qui sont ainsi facilement dispersés par zoochorie par des cervidés (Gill et Beardall, 2001). De ce fait, les graines exigent des prétraitements avant le semis pour obtenir des germinations rapides avec des taux de germination élevés et uniformes (Travlos *et al.*, 2007 ; Burrows *et al.*, 2009 ; Azad *et al.*, 2011).

La phase finale du développement des graines implique la perte d'eau, l'arrêt de la synthèse des réserves et l'entrée dans un état métaboliquement inactif. La dormance des graines a été définie comme l'échec temporaire d'une graine viable à germer dans des conditions favorisant la germination (Bewley, 1997). Ces conditions sont une combinaison complexe d'eau, de lumière, de température, de gaz, de restrictions mécaniques, de téguments et de structures hormonales. La dormance dans la nature sert à protéger la graine des conditions qui sont temporairement appropriées à la germination, mais qui retournent rapidement à des conditions trop dures pour la survie du jeune plant (Koornneef *et al.*, 2002). Ainsi, un tégument relativement imperméable à l'humidité empêche la germination pendant des averses isolées au milieu d'une longue saison sèche, tout en l'autorisant pendant une saison des pluies (Vázquez-Yanes et Orozco-Segovia 1993).

Il a été démontré que le tégument est un organe multifonctionnel qui fournit des nutriments au sac embryonnaire tout au long du développement (van Dongen *et al.*, 2003) et

qui est fonctionnel pendant la maturation de la graine (Howe et Smallwood, 1982). Les propriétés structurales et chimiques du tégument imposent une imperméabilité (Rolston 1978), régulent l'entrée d'eau une fois la dormance levée (Serrato-Valenti *et al.*, 1993) et constituent une barrière contre les champignons (Mohamed-Yasseen *et al.*, 1994). Donc, comprendre ce type de dormance et identifier les moyens naturels pour le lever devient économiquement important.

Du point de vue du forestier, la dormance présente certains inconvénients. La germination retardée et irrégulière en pépinière constitue une contrainte sérieuse pour une gestion efficace des pépinières (Schmidt, 2000). De nombreuses recherches ont donc été consacrées à la mise au point de traitements artificiels efficaces pour éliminer la dormance, afin de s'assurer que les graines germent rapidement. Selon Kheloufi *et al.* (2017), l'intensité de la dormance pour une même espèce peut varier selon le génotype et l'environnement dans lequel les graines sont produites. L'efficacité de la scarification avec l'acide sulfurique pour surmonter l'imperméabilité des téguments et augmenter la germination des graines a été rapportée pour différentes espèces. Cependant, l'efficacité de ce traitement varie avec la concentration en acide, les espèces végétales et la durée du traitement (Kheloufi, 2017).

Plusieurs traitements ont été utilisés pour lever la dormance tégumentaire et ainsi augmenter le degré d'imbibition de l'eau (Pearson *et al.*, 2002 ; Sharma *et al.*, 2008 ; Tanaka-Oda *et al.*, 2009). Effectivement, des traitements comme la stratification froide, la scarification mécanique, le traitement à l'eau chaude ou à l'acide sulfurique sont largement utilisés parce qu'ils peuvent améliorer le rendement de la germination dans une période relativement courte (Muhammad et Amusa, 2003 ; Sautu *et al.*, 2006 ; Azad *et al.*, 2010). Le trempage dans de l'eau chaude ou des acides présente l'avantage de traiter une quantité importante de graines en même temps. Cependant, la durée de l'immersion doit être déterminée pour déduire le meilleur temps requis pour augmenter les chances de levée de la dormance tégumentaire. Dans la présente étude, nous avons évalué la cinétique de germination des graines des dix espèces du genre *Acacia* (qui ont été répertoriés dans le chapitre I) sous des prétraitements opérés par l'acide sulfurique à différentes durées d'immersion. La réponse positive de ces graines à ces prétraitements est cruciale pour une régénération meilleure et rapide pour une intégration dans un programme de reboisement afin d'assurer des essences pérennes et denses dans les régions arides et semi-arides où on assiste à un recul important du couvert végétal.

2 Matériel et Méthodes

2.1 Récolte et origine des graines

Les provenances des graines des 10 arbres utilisées dans cette étude (*A. albida*, *A. decurrens*, *A. ehrenbergiana*, *A. farnesiana*, *A. karroo*, *A. laeta*, *A. nilotica*, *A. saligna*, *A. seyal* et *A. tortilis*) sont présentés dans le Tableau 3. L'expérience a été menée au Laboratoire du département de Biologie à l'Université de Batna 1 (Algérie). Les gousses matures ont été récoltés à partir de 10 arbres pour chaque espèce d'Acacia. Les gousses déjà séchées naturellement ont été écrasées manuellement pour libérer les graines. Après la récolte, les graines ont été mélangées afin de minimiser les variations inter-génétiques. Une fois séchées, les graines ont été conservées dans des bols en verre à une température de 4 °C pendant 3 mois (simulation de la période de vernalisation). L'échantillon de graines destiné pour notre expérience a été obtenu en mélangeant les graines avec une cuillère en bois et en éliminant les impuretés telles que les matières végétales (restes de tégument, tiges, cotylédons brisés), animaux (insectes morts) ou minéraux (sables, graviers).

Tableau 3. Provenances des semences d'Acacia.

Espèces	Régions	Données GPS	Altitudes (m)
<i>A. albida</i>	Tindouf	28°45'00"N ; 8°40'00"O	399
<i>A. decurrens</i>	El Tarf	36°51'51.60"N ; 8°25'55.01"E	185
<i>A. ehrenbergiana</i>	Tamanrasset	22°35'54.64"N ; 5°23'36.73"E	1200
<i>A. farnesiana</i>	Relizane	35°42' 40.58"N ; 0°18'28.76"E	160
<i>A. karroo</i>	Djelfa	34°41'41.34"N ; 3°14'49.41"E	1155
<i>A. laeta</i>	Tamanrasset	22°35'54.64"N ; 5°23'36.73"E	1170
<i>A. nilotica</i>	Tamanrasset	22°46' 6.66"N ; 5°30'50,44"E	1154
<i>A. saligna</i>	Aïn Témouchent	35°26'32.26"N ; 1°13'42.80"O	2
<i>A. seyal</i>	Biskra	34°44'29.14"N ; 5°53'30.14"E	51
<i>A. tortilis</i>	Tamanrasset	22°46'57.09"N ; 5°34'35.00"E	1409

2.2 Dispositif expérimental et traitements

Les graines de chaque espèce (Figure 17) ont subi plusieurs durées de prétraitement consistant en une immersion dans l'acide sulfurique (98%) à différentes durées (30, 60, 90 et 120 minutes) suivie d'un bon rinçage à l'eau distillée. Pour le lot témoin, les graines n'ont pas été traitées. Le lot témoin a été créé pour pouvoir comparer l'effet d'aucun prétraitement sur la germination. Le semis (4 répétitions de 25 graines × 5 traitements × 10 espèces) a été réalisé dans des boîtes de Pétri de 10 cm de diamètre, tapissées avec deux couches de papier filtre Whatman et imbibées de 20 ml d'eau distillée puis placées dans une chambre de culture à l'obscurité à la température du laboratoire (25 ± 2 °C) pendant 18 jours d'incubation. Les boîtes de Pétri étaient arrangées tous les deux jours, selon un plan aléatoire afin d'éliminer tout effet de la position dans la chambre de culture (Kheloufi *et al.*, 2017). Les comptages des

graines germées ont été effectués chaque jour depuis le 5^{ème} jour au 18^{ème} jour d'incubation et ont été exprimés en pourcentage (Le critère de germination était une apparition radiculaire de 2 mm). Dans les tests de germination, le pourcentage final de germination (FGP), le temps moyen de germination (MGT) et l'indice de taux de germination (GRI) pour chaque espèce et prétraitement ont été calculés en utilisant les procédures et formules suivantes :

$$\text{FGP (\%)} = \frac{\sum ni}{N} \times 100$$

Où FGP est le pourcentage final de germination, ni est le nombre de graines germées au dernier jour de test, et N est le nombre total de graines incubées par test (Côme, 1970).

$$\text{MGT (jours)} = \frac{\sum(ti \cdot ni)}{\sum ni}$$

Où MGT est le temps moyen de germination, ti est le nombre de jours depuis le début de l'essai, ni est le nombre de graines germées enregistrées à l'instant $t(i)$, et $\sum ni$ est le nombre total de graines germées (Orchard, 1977).

$$\text{GRI (\%)} = \sum \frac{\text{Nombre de graines germées}}{\text{Nombre de jours}}$$

Où GRI est l'indice de taux de germination. Il est calculé selon Maguire (1962).

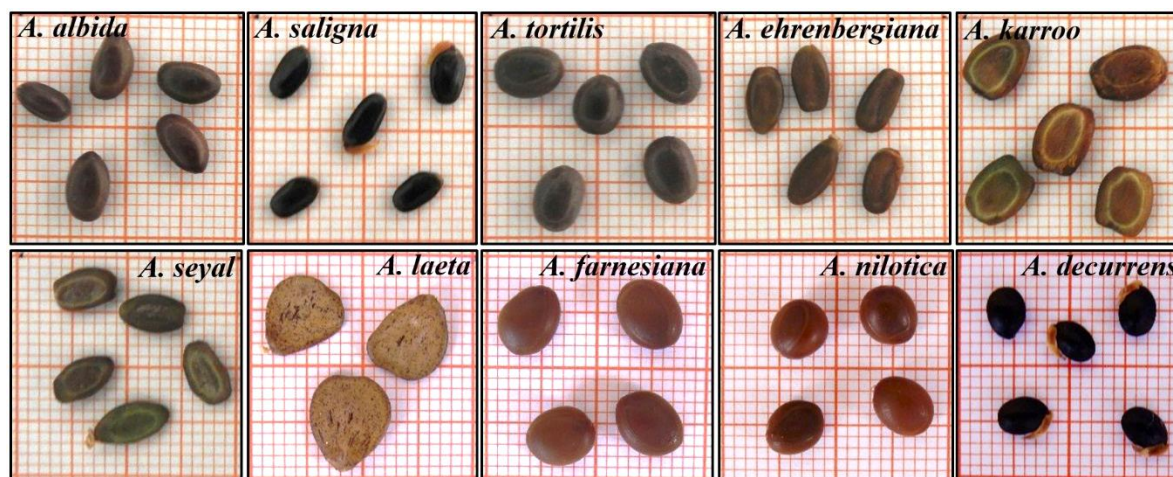


Figure 17. Description des graines des différentes espèces d'Acacia étudiées.

2.3 Analyses statistiques

Les effets des prétraitements sur les trois variables ont été testés par analyse de variance (ANOVA). Les différences entre les traitements après les ANOVA ont été réalisées par comparaison des moyennes. Des comparaisons multiples des moyennes ont été réalisées avec le test de Duncan ($p \leq 0,05$). Le coefficient de corrélation de Pearson a été calculé pour les trois variables étudiées ($p \leq 0,05$). Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS Version 9.0 (Statistical Analysis System) (2002).

3 Résultats et Discussion

L'effet du prétraitement à l'acide sulfurique sur la cinétique de germination des graines des différentes espèces d'Acacia durant 18 jours est illustré sur la figure 2. Les semences présentent des comportements variables face aux différentes durées d'immersion dans l'acide sulfurique concentré. En effet, le traitement affecte très significativement ($P < 0,0001$) l'évolution de la germination au cours du temps (Tableau 4). Les résultats obtenus montrent l'influence du traitement qui joue un rôle très important dans l'induction de l'activité germinative. D'après le même tableau, les facteurs traitement (TRT), espèces (SP) et le facteur temps (T) ainsi que leur corrélation (T×TRT×SP) affectent très significativement ($P < 0,0001$) la cinétique de germination.

Les résultats illustrés sur la figure 18 indiquent que dans le lot témoin, l'imbibition à l'eau distillée n'a aucune action positive sur l'initiation de la germination chez *A. saligna*, *A. decurrens*, *A. farnesiana*, *A. karroo*, *A. nilotica* et *A. tortilis*, et ceci durant toute la période de l'incubation. Cependant, les semences d'*A. albida*, *A. ehrenbergiana*, *A. laeta* et *A. seyal* ont pu germer sans prétraitement mais le taux de germination reste inférieur à 50% en se situant entre 12 et 40% (Figure 18, Tableau 5).

Tableau 4. Analyse de la variance des semences des espèces d'acacias étudiées en réponse à différentes durées de prétraitements à l'acide sulfurique et après 18 jours du semis.

Paramètres	Sources de variables	Degré de Liberté	Somme des Carrées	Carré moyen	F de Fisher	P
FGP	TRT	4	100138,68	25034,67	901,01	< 0,0001
	SP	9	13465,80	1496,20	53,85	< 0,0001
	TRT*SP	36	129393,12	3594,25	129,36	< 0,0001
MGT	TRT	4	89,84	22,46	181,47	< 0,0001
	SP	9	19,62	2,18	17,62	< 0,0001
	TRT*SP	31	136,57	4,40	35,59	< 0,0001
GRI	TRT	4	99454,20	24863,55	889,33	< 0,0001
	SP	9	14010,64	1556,73	55,68	< 0,0001
	TRT*SP	36	128526,07	3570,16	127,70	< 0,0001
Cinétique de Germination	Procédure GLM					
	Analyses répétées des mesures de variance					
	<i>Tests univariés d'hypothèses pour l'effet entre-sujet</i>					
	TRT	4	1299535,00	324883,75	889,33	< 0,0001
	SP	9	183072,44	20341,38	55,68	< 0,0001
	TRT*SP	36	1679407,42	46650,20	127,70	< 0,0001
	<i>Tests univariés d'hypothèses pour l'effet intra-sujet</i>					
	T	14	516910,81	36922,20	7357,09	< 0,0001
	T*TRT	56	95726,11	1709,39	340,61	< 0,0001
	T*SP	126	14757,97	117,12	23,34	< 0,0001
T*TRT*SP	504	131059,25	260,03	51,82	< 0,0001	

FGP (pourcentage final de germination), MGT (temps moyen de germination), GRI (l'indice de taux de germination), TRT (traitement), SP (espèce), T (temps).

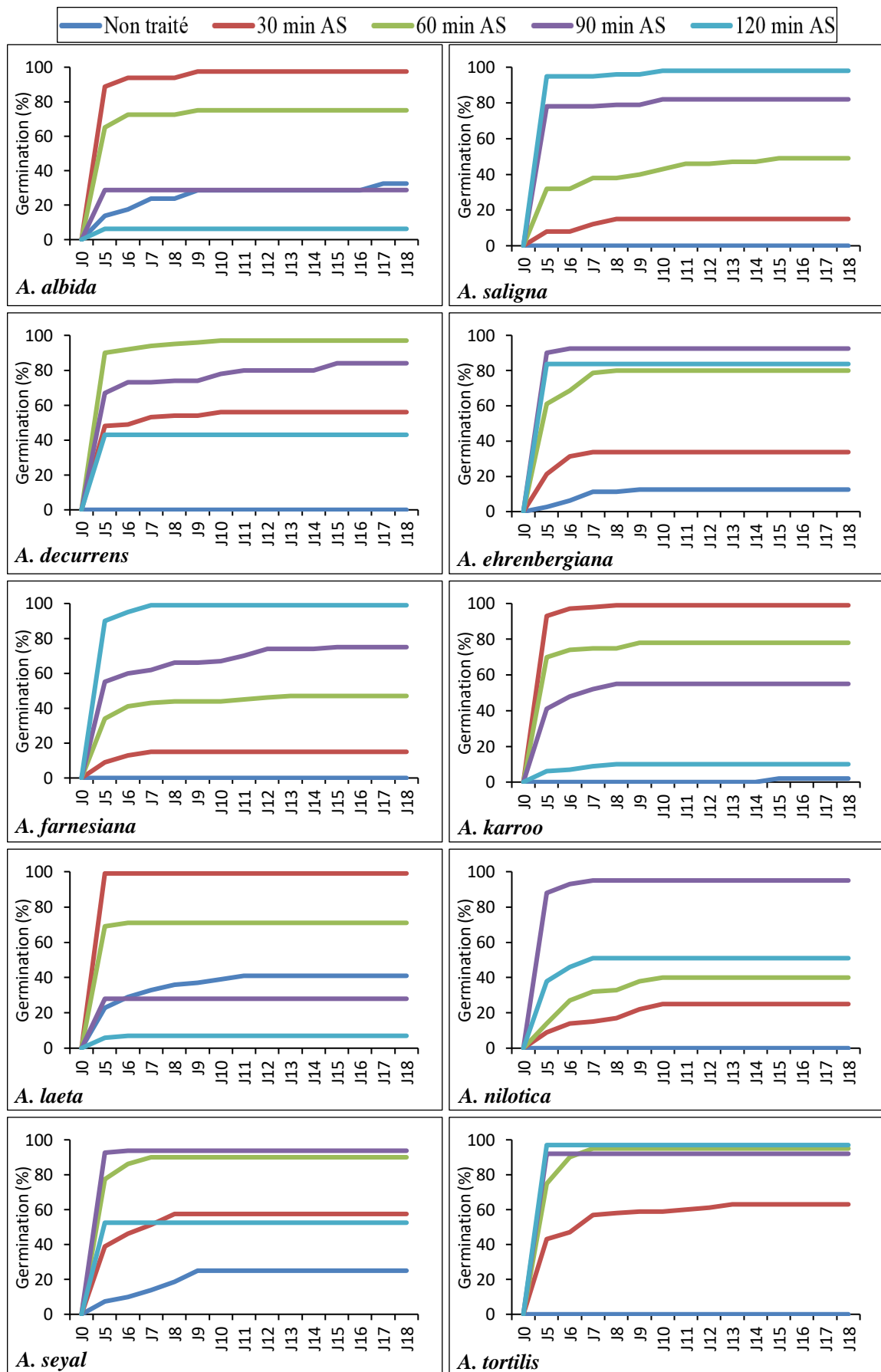


Figure 18. Evolution du taux de germination des semences des différentes espèces d'Acacia en fonction du traitement à l'acide sulfurique concentré durant 18 jours d'incubation.

L'examen de la figure 2, représentant la dynamique des taux de germination en fonction des durées croissantes de l'immersion dans l'acide sulfurique concentré (0 à 120 minutes) montre trois phases, une première phase de latence, due à l'imbibition des graines, une deuxième phase exponentielle où l'on assiste à une accélération de la germination et enfin une troisième phase caractérisée par un palier indiquant un arrêt de germination (phase stationnaire).

Chez le lot de graines traité à 30 min d'immersion dans l'acide, la phase de latence et la phase exponentielle s'étalent jusqu'au 9^{ème} jour pour la majorité des espèces sauf pour les semences d'*A. tortilis* qui se poursuivent jusqu'au 13^{ème} jour. En revanche, chez les lots traités à 120 min, la phase stationnaire débute en moyenne au 6^{ème} jour pour toutes espèces sauf pour *A. saligna* qui débute au 10^{ème} jour. Le début de la phase stationnaire est proportionnel par rapport à la durée du prétraitement ($T \times TRT$; $P < 0,0001$) (Tableau 4).

Selon les résultats du test ANOVA et Duncan, des différences hautement significatives ($P < 0,0001$) ont été trouvées entre les espèces et entre les prétraitements, résultant en une interaction hautement significative ($TRT \times SP$) (Tableau 4).

Chez les différentes espèces, le FGP a donné des différences significatives après traitement (témoin, acide sulfurique). D'après les résultats du test de l'ANOVA et de Duncan, des variations significatives de germination ont été observées entre les espèces et entre la durée du traitement (Tableau 2).

La germination moyenne globale pour une immersion très courte de 30 minutes dans l'acide sulfurique était supérieure à 95%, indiquant que c'était le traitement le plus efficace chez *A. albida*, *A. karroo* et *A. laeta*, avec des valeurs de FGP respectives de 97,5%, 99% et 99%. (Tableau 5). Une durée supérieure de prétraitement pour ces trois espèces semble être fatale pour les semences et on observe une réduction nette et progressive du FGP et du GRI à partir de 60 minutes de traitement. Il a été observé que de nombreuses graines sont mortes, ce qui indique qu'une longue exposition à l'acide sulfurique concentré a eu un contact avec les embryons des graines (Teketay, 1996). Cela est dû au fait que les téguments, qui régulent normalement l'absorption d'eau, ont été endommagés et dommages irréversibles ont été causés (Kheloufi, 2017). Ce résultat a démontré que le traitement mentionné ci-dessus avait un effet destructeur sur l'embryon.

60 minutes de prétraitement ont été le traitement idéal pour les semences d'*A. decurrens* en indiquant un FGP de 97% (Tableau 3). Pour *A. ehrenbergiana*, *A. nilotica* et *A. seyal*, les semences demandaient une prolongation dans la durée du traitement afin d'aboutir un pourcentage maximal et considérable de germination de 92,5%, 95% et 93,7% respectivement.

Tableau 5. Pourcentage final de germination (FGP), temps moyen de germination (MGT) et l'indice de taux de germination (GRI) pour les différentes espèces d'acacia exposées à différentes durées de prétraitements à l'acide sulfurique (TRT). Pour chaque espèce, la même lettre le long de la colonne n'indique aucune différence de signification (Duncan Multiple Range Test).

Espèces	TRT	FGP (%)	MGT (jours)	GRI (%)
<i>A. albida</i>	Non traité	32,5 ± 2,88 ^c	7,47 ± 0,89 ^a	26,7 ± 2,33 ^c
	30 min AS	97,5 ± 2,88 ^a	5,20 ± 0,10 ^b	96,1 ± 2,54 ^a
	60 min AS	75,0 ± 5,77 ^b	5,23 ± 0,16 ^b	73,7 ± 6,03 ^b
	90 min AS	28,7 ± 4,78 ^c	5,00 ± 0,00 ^b	28,7 ± 4,78 ^c
	120 min AS	6,25 ± 2,50 ^d	5,00 ± 0,00 ^b	6,25 ± 2,50 ^d
<i>A. saligna</i>	Non traité	0,00 ± 0,00 ^e	--	0,00 ± 0,00 ^e
	30 min AS	15,0 ± 3,82 ^d	6,14 ± 0,42 ^a	13,8 ± 3,62 ^d
	60 min AS	49,0 ± 3,82 ^c	6,63 ± 0,89 ^a	43,2 ± 3,82 ^c
	90 min AS	82,0 ± 5,16 ^b	5,22 ± 0,16 ^b	80,7 ± 5,86 ^b
	120 min AS	98,0 ± 2,30 ^a	5,13 ± 0,15 ^b	97,1 ± 2,33 ^a
<i>A. decurrens</i>	Non traité	0,00 ± 0,00 ^e	--	0,00 ± 0,00 ^e
	30 min AS	56,0 ± 8,64 ^c	5,38 ± 0,11 ^b	54,4 ± 8,02 ^c
	60 min AS	97,0 ± 2,00 ^a	5,18 ± 0,16 ^{cb}	95,7 ± 1,09 ^a
	90 min AS	84,0 ± 8,64 ^b	5,99 ± 0,38 ^a	82,2 ± 9,99 ^b
	120 min AS	43,0 ± 6,00 ^d	5,00 ± 0,00 ^c	43,0 ± 6,00 ^d
<i>A. ehrenbergiana</i>	Non traité	12,5 ± 2,88 ^d	6,50 ± 0,40 ^a	11,2 ± 2,61 ^d
	30 min AS	33,7 ± 4,78 ^c	5,45 ± 0,19 ^b	32,7 ± 4,92 ^c
	60 min AS	80,0 ± 4,08 ^b	5,39 ± 0,03 ^b	77,8 ± 4,08 ^b
	90 min AS	92,5 ± 5,00 ^a	5,02 ± 0,05 ^c	92,3 ± 5,13 ^b
	120 min AS	83,7 ± 7,50 ^b	5,00 ± 0,00 ^c	83,7 ± 7,50 ^d
<i>A. farnesiana</i>	Non traité	0,00 ± 0,00 ^e	--	0,00 ± 0,00 ^e
	30 min AS	15,0 ± 6,83 ^d	5,54 ± 0,41 ^{ba}	14,4 ± 6,50 ^d
	60 min AS	47,0 ± 6,83 ^c	5,74 ± 0,27 ^{ba}	44,5 ± 6,47 ^c
	90 min AS	75,0 ± 8,24 ^b	6,14 ± 0,70 ^a	69,1 ± 10,6 ^b
	120 min AS	99,0 ± 2,00 ^a	5,13 ± 0,10 ^b	98,1 ± 1,42 ^a
<i>A. karroo</i>	Non traité	2,00 ± 2,30 ^e	15,0 ± 0,00 ^a	0,57 ± 0,65 ^e
	30 min AS	99,0 ± 2,00 ^a	5,09 ± 0,05 ^c	98,3 ± 2,33 ^a
	60 min AS	78,0 ± 5,16 ^b	5,23 ± 0,15 ^{cb}	76,7 ± 5,64 ^b
	90 min AS	55,0 ± 6,83 ^c	5,44 ± 0,27 ^{cb}	53,3 ± 7,06 ^c
	120 min AS	10,0 ± 5,16 ^d	5,75 ± 0,64 ^b	9,42 ± 4,95 ^d
<i>A. laeta</i>	Non traité	41,0 ± 8,24 ^c	6,17 ± 0,48 ^a	37,5 ± 7,40 ^c
	30 min AS	99,0 ± 2,00 ^a	5,00 ± 0,00 ^b	99,0 ± 2,00 ^a
	60 min AS	71,0 ± 3,82 ^b	5,02 ± 0,05 ^b	70,8 ± 3,98 ^b
	90 min AS	28,0 ± 10,3 ^d	5,00 ± 0,00 ^b	28,0 ± 10,3 ^d
	120 min AS	7,00 ± 3,82 ^e	5,25 ± 0,50 ^b	6,92 ± 3,90 ^e
<i>A. nilotica</i>	Non traité	0,00 ± 0,00 ^e	--	0,00 ± 0,00 ^e
	30 min AS	25,0 ± 5,03 ^d	6,93 ± 0,76 ^a	21,6 ± 4,60 ^d
	60 min AS	40,0 ± 3,26 ^c	6,39 ± 0,22 ^a	36,0 ± 2,75 ^c
	90 min AS	95,0 ± 5,03 ^a	5,09 ± 0,06 ^b	94,3 ± 5,03 ^a
	120 min AS	51,0 ± 3,82 ^b	5,35 ± 0,08 ^b	49,7 ± 3,59 ^b
<i>A. seyal</i>	Non traité	25,0 ± 4,08 ^c	6,93 ± 0,54 ^a	21,4 ± 2,64 ^c
	30 min AS	57,5 ± 12,5 ^b	5,60 ± 0,33 ^b	54,9 ± 11,7 ^b
	60 min AS	90,0 ± 4,08 ^a	5,18 ± 0,05 ^{cb}	88,8 ± 4,09 ^a
	90 min AS	93,7 ± 4,78 ^a	5,01 ± 0,02 ^c	93,6 ± 4,88 ^a
	120 min AS	52,5 ± 9,57 ^b	5,00 ± 0,00 ^c	52,5 ± 9,57 ^b
<i>A. tortilis</i>	Non traité	0,00 ± 0,00 ^c	--	0,00 ± 0,00 ^c
	30 min AS	63,0 ± 5,03 ^b	5,95 ± 0,63 ^a	58,7 ± 5,54 ^b
	60 min AS	92,0 ± 3,82 ^a	5,26 ± 0,06 ^b	92,0 ± 3,41 ^a
	90 min AS	95,0 ± 3,26 ^a	5,00 ± 0,00 ^b	93,2 ± 3,26 ^a
	120 min AS	97,0 ± 3,82 ^a	5,00 ± 0,00 ^b	97,0 ± 3,82 ^a

A. saligna, *A. farnesiana* et *A. tortilis* sont les seules espèces qui ont nécessité une durée encore plus longue d'immersion dans l'acide sans que ça soit fatale et néfaste pour leurs embryons en indiquant des valeurs très considérables de 98%, 99% et 97%, respectivement (Tableau 5). Cette grande variation dans les réponses aux traitements indique des différences considérables entre les espèces dans la structure du tégument comme barrière protectrice.

Le MGT varie significativement entre les différentes espèces ($P < 0,0001$) et en fonction des prétraitements ($P < 0,0001$) (Tableau 4). La réduction du MGT chez les graines traitées à l'acide implique que la période de dormance dans ces graines a été réduite en raison du prétraitement. Il est rapporté que le traitement à l'acide sulfurique est une méthode efficace pour améliorer la germination des graines des espèces avec un tégument dur et imperméable (Patanè et Gresta, 2006 ; Amusa, 2011 ; Gokturk *et al.*, 2012 ; Ghassali *et al.*, 2012 ; Nasr *et al.*, 2013). Il stimule une germination rapide et uniforme des graines.

D'après nos résultats, la germination d'une graine dépend du potentiel de croissance de l'embryon ou des potentiels de prévention de la croissance. Ces potentiels dépendent notamment de la structure de la graine qui entoure l'embryon (endosperme, péricarpe, glume) (Schopfer et Plachy, 1985, Germanà *et al.*, 2014). D'autres facteurs tels que les hormones et les facteurs environnementaux affectent également le développement de l'embryon (Shu *et al.*, 2016). La dormance des semences est déterminée par plusieurs facteurs tel que la déshydratation, la teneur en oxygène, les températures extrêmes et l'acidité du substrat de culture. Plusieurs études ont démontré que des scarifications humides (acide ou eau chaude) et des scarifications sèches (abrasion) appliquées sur des graines qui présentaient des téguments très durs ont permis une imbibition et une respiration améliorée dans la graine (Esashi *et al.*, 1979 ; Muscolo *et al.*, 2001 ; Chen *et al.*, 2007). Ces conditions sont nécessaires pour une bonne production de pousses par les graines. Le reste est déterminé par les qualités internes des graines elles-mêmes dont le métabolisme, la teneur de certains régulateurs de croissance ainsi que la présence de certaines substances inhibitrices de germination au niveau du tégument empêchant et retardant le phénomène de l'imbibition qui est la première étape de l'induction du processus de germination (Teketay, 1998).

Ce type de dormance se produit lorsque des facteurs comme l'eau et le gaz ne peuvent pas entrer dans la graine, de sorte que l'imbibition n'est pas produite et, par conséquent, entraînant une diminution de la germination des graines (Bewley, 1997). Il est possible que la mauvaise germination observée dans les graines non traitées ait pu être en partie attribuée à la sévérité réduite du prétraitement, c'est-à-dire à une courte durée d'immersion dans l'acide. De plus, l'imperméabilité des graines à l'eau et au gaz a été attribuée à des obstacles physiques et biochimiques du tégument (Allen *et al.*, 2007). Selon les résultats obtenus, les traitements de

scarification avec de l'acide sulfurique (98%) étaient efficaces, ce qui a provoqué la rupture de la dormance et l'induction de la germination des graines de toutes les espèces étudiées.

Tableau 6. Coefficient de corrélation de Pearson entre le pourcentage final de germination (FGP), temps moyen de germination (MGT) et l'indice de taux de germination (GRI) pour les différentes espèces d'acacia exposées à différentes durées de prétraitements à l'acide sulfurique (TRT) (DDL=200).

	FGP	MGT	GRI
FGP	1.00000	-0.39330	0.99845
<i>P</i>		< 0.0001	< 0.0001
MGT	-0.39330	1.00000	-0.42276
<i>P</i>	< 0.0001		< 0.0001
GRI	0.99845	-0.42276	1.00000
<i>P</i>	< 0.0001	< 0.0001	

D'après le tableau 6, la corrélation entre les différents variables étudiées (FGP, MGT et GRI) était très hautement significative. En effet, quand le FGP croit, le GRI augment aussi (Corrélation positive) mais le MGT tend à diminuer (corrélation négative). Plusieurs chercheurs suggèrent que pour caractériser le meilleur prétraitement pour espèce donnée, il faut calculer une variable FGP et/ou GRI avec une variable en relation avec le temps tel que le MGT ou le T50 (Temps où le taux de germination arrive à 50%) (Mouradi *et al.*, 2016 ; Vargas-Simón *et al.*, 2017, Kheloufi, 2017).

De nombreuses expériences concernant le traitement des semences font ressortir que le facteur temps est un facteur important pour l'induction d'une bonne activité germinative. En effet, l'évaluation de l'aptitude germinative ne dépend pas seulement du pourcentage de germination atteint mais aussi de sa vitesse ainsi que de son évolution au cours du temps (Poorter, 1999 ; Norden *et al.*, 2009). Ces deux facteurs combinés sont souvent utilisés pour déterminer le succès d'un prétraitement sur la levée des dormances qu'elles soient de nature tégumentaire ou embryonnaire (Vázquez-Yanes et Smith, 1982 ; Blakesley *et al.*, 2002). Ceci confirme nos résultats qui indiquent que le traitement idéal est caractérisé par un FGP et un GRI élevé et un MGT très bas par rapport aux autres traitements.

Nos résultats démontrent que chaque espèce a son propre ensemble caractéristique d'exigences de germination avec un seuil de réponse spécifique en fonction de son degré d'hétérochronie particulier. Erickson *et al.* (2016) ont également déclaré que le traitement acide des graines élimine la couche cireuse du tégument par décomposition chimique du composant du tégument qui est similaire au processus de dégradation qui se produit pendant l'attaque microbienne. De facteurs comme la période de stockage en fonction de la longévité des graines de l'espèce, des méthodes de prétraitement des graines et de la taille des graines peuvent affecter la germination (Liu *et al.*, 2011). Les plus grosses graines ont abouti à un

pourcentage de germination plus élevé car les graines les plus grosses contiennent plus de réserves nutritives pour soutenir le processus de germination (Long *et al.*, 2015). La caractéristique de l'arbre mère peut également affecter le comportement des graines (Herrera et Garcia, 2010). De plus, les provenances (écotypes) et la période de récolte doivent être prises en compte (Petrie *et al.*, 2016). La vitesse de germination des graines dépend aussi de la récolte des graines à différents moments de l'année, résultant d'une propriété biologique très cruciale pour une adaptation aux conditions de l'environnement (Diatta *et al.*, 2008).

Il existe différents types de dormance : exogène (déterminée par les propriétés du tégument entourant la semence) ; endogène (déterminée par l'état physiologique de l'embryon) et combinée (déterminée par une combinaison des deux facteurs précédents) (De Steven, 1991 ; Jurado et Flores, 2005). Dans le cas d'une dormance tégumentaire, l'inhibition de la germination est due à l'action de certains obstacles mécaniques créant une pression osmotique négative et un déséquilibre dans les échanges gazeux dans la graine (Jiang *et al.*, 1995). Le degré de cette dormance diffère d'une espèce à une autre (Nakashizuka, 2001).

Cependant, ce type d'inhibition peut être éliminé en utilisant des prétraitements divers comme l'immersion dans l'eau bouillante, l'acide sulfurique concentré ainsi que l'abrasion du tégument en utilisant du sable (Al-Mударis *et al.*, 1999). L'effet de la température peut s'ajouter à ces traitements en utilisant différents modes de congélation ainsi que le choc thermique (Stokes, 1965 ; Chmielarz, 2009).

Comme il a été indiqué dans la section des résultats, les graines non scarifiées *A. saligna*, *A. decurrens*, *A. farnesiana*, *A. karroo*, *A. nilotica* et *A. tortilis*, soumises même durant une longue période d'incubation allant de jusqu'à 18 jours ; n'ont pas germé, indiquant l'effet inhibiteur du tégument qui les rend imperméable à l'eau, phénomène typique chez les espèces de légumineuses forestières. Ceci corrobore les résultats de Venier *et al.* (2012b) qui ont rapporté que les graines non scarifiées des arbres légumineux n'ont pas révélé d'imbibition ou de germination à cause de la dureté du tégument.

Les semences de certaines essences ont des téguments durs et cutinisés, qui empêchent totalement l'imbibition de l'eau et, parfois même, les échanges gazeux. Or, sans imbibition et échanges gazeux, la reprise de la croissance embryonnaire et de la germination est impossible. La dormance tégumentaire physique de cette sorte concerne le plus souvent des essences adaptées à une alternance de saisons sèches et de saisons des pluies, et notamment plusieurs genres de légumineuses, comme *Acacia*, *Prosopis*, *Ceratonia*, *Robinia*, *Albizzia* et *Cassia*. L'étude des effets des prétraitements chez le genre *Acacia* montre une influence très significative sur le taux et les temps moyens de germination (Masamba, 1994 ; Van der Burg *et al.*, 2014). En outre, la scarification chimique par l'acide sulfurique concentré donne des

taux de germination très importants comparés avec la scarification par l'eau bouillante ou par le papier de verre (Materechera et Materechera, 2001 ; Nasr *et al.*, 2013).

4 Conclusion

Les prétraitements destinés à lever la dormance tégumentaire physique consistent à amollir, percer, user ou fendre le tégument de manière à le rendre perméable, sans pour autant endommager l'embryon et l'endosperme. La dormance des graines est connue dans de nombreuses espèces d'arbres tropicaux. Les graines de la plupart des zones d'arbres arides et semi-arides ne peuvent pas germer rapidement lorsqu'elles sont soumises à des conditions favorables à la germination en raison de l'imperméabilité du tégument à l'eau. L'étude a révélé l'existence d'une variation considérable de la germination entre les espèces en ce qui concerne le pourcentage de germination et le temps moyen de germination soumis à différentes durées de trempage dans l'acide sulfurique. Un trempage insuffisant peut ne pas être assez efficace. De plus, la concentration de l'acide et la durée de l'exposition sont très critiques et doivent être quantifiées pour chaque espèce puisque les graines exposées pendant longtemps sont facilement endommagées. La meilleure durée d'immersion peut réduire le temps moyen de germination et augmenter le pourcentage final de germination.

En Algérie, les départements forestiers adoptent des orientations qui consistent à utiliser de plus en plus d'espèces natales. Cependant, des espèces exotiques pourraient aussi contribuer au succès d'un bon programme de reboisement afin d'assurer du fourrage à plusieurs espèces animales. Les départements forestiers doivent juste étudier leur adaptation et leur survie dans l'environnement où le programme sera implanté, sans oublier de limiter le caractère invasif de chaque espèce. Basé sur les résultats présentés, il est clair que les graines des différentes espèces d'Acacia ont besoin d'un prétraitement pour améliorer leur germination. Le taux de germination passe ainsi de 5-10% dans la nature à plus de 90% après traitement à l'acide sulfurique pendant une durée bien définie. Les résultats approuvent aussi que le type de dormance chez les graines de ce genre est de type physique. On pourrait recommander ce prétraitement aux forestiers et aux pépiniéristes parce que cette solution est peu chère et simple à mettre en œuvre, ce qui favoriserait la restauration des terres dans les zones arides et semi-arides tout en profitant économiquement des intérêts de cette espèce.

Chapitre III – Effet de la salinité sur la germination de trois espèces du genre *Acacia* (*A. karroo*, *A. saligna* et *A. tortilis*)

1 Objectif de l'étude

Les écosystèmes arides et semi-arides sont caractérisés par une faible et une forte irrégularité des précipitations (Aguilar et Sala, 1999 ; Morton *et al.*, 2011) associée à une sécheresse importante favorisant l'accumulation de sels dans les sols (Jaleel *et al.*, 2008). Il est possible de limiter l'ampleur prise par la salinisation des sols et des eaux d'irrigation par l'exploration des écosystèmes salins et l'identification des espèces végétales à potentiel économique et/ou écologique afin d'utiliser ces espèces qui naturellement tolérantes pour la réhabilitation des sols endommagés (Le Houérou, 1992 ; Jordan *et al.*, 2004). Ainsi, plusieurs espèces halophytes exprimant de fortes potentialités de croissance et de stockage de sel dans leurs feuilles sont intéressantes pour la fixation et le dessalement des terres dans les régions arides et semi-arides (Khan et Duke, 2001).

L'importance fondamentale de la physiologie de la germination pour l'agriculture et l'horticulture est si évidente qu'il est difficile de l'affirmer, car la quasi-totalité de notre dépendance vis-à-vis des plantes dépend en fin de compte de la germination des graines. Ainsi, la germination des graines a une grande importance pour la régénération naturelle ou artificielle. Le passage du stade de germination est décisif et crucial dans tout développement et croissance des plantules (Zhang *et al.*, 2010). Cependant, le stade de germination est souvent limité par plusieurs facteurs environnementaux tels que la température, la salinité, la lumière, l'humidité du sol, la concentration en oxygène, le pH et la structure du sol (Liu *et al.*, 2011). Une germination vigoureuse et rapide après l'atténuation des conditions défavorables confère aux halophytes un avantage écologique majeur en ce qui concerne la dispersion des graines et l'établissement des plantules de la prochaine génération. Ceci est vrai pour les halophytes annuels qui produisent des graines une fois au cours de leur cycle de vie, et qui ont développé des mécanismes de survie pour assurer la viabilité des graines et la persistance de l'espèce (Kumar, 2013 ; Bushman *et al.*, 2015).

Acacia est un genre pantropical et subtropical abondant en Australie, en Asie, en Afrique et en Amérique. Les espèces d'acacias se développent dans une gamme variée d'habitats et d'environnements. De nombreuses espèces sont bien adaptées aux régions semi-arides et de savane, mais d'autres survivent dans les forêts et les zones riveraines, tolérant à la fois des sols à pH élevé et des sols gorgés d'eau (Benninson et Paterson, 1993 ; Wampach *et al.*, 2017).

Les essais en laboratoire et sur le terrain à grande échelle visant à déterminer la tolérance à la salinité des plantes au stade de la germination prennent généralement beaucoup de temps et nécessitent d'importants apports de main-d'œuvre et de ressources. Qu'elle soit indigène ou exotique, chaque équipe de recherche s'est intéressé à une espèce particulière d'*Acacia* sur laquelle une caractérisation minutieuse et générale vis-à-vis de l'adaptation aux conditions stressantes de l'environnement, a été établie afin de l'intégrer dans un programme de boisement/reboisement durable (Jaouadi *et al.*, 2010 ; Manga *et al.*, 2017 ; Proce *et al.*, 2018).

L'objectif de la présente étude est donc d'étudier les effets de neuf niveaux de stress salin (NaCl) allant du plus faibles aux plus sévères sur la germination des graines d'*Acacia*. Cependant, nous n'allons pas expérimenter cet effet sur toutes espèces d'*Acacia* recensées en Algérie. En effet, seulement trois parmi les dix espèces répertoriées seront étudiées (voir chapitre I). Cette sélection est basée surtout sur la distribution géographique et la densité de chaque espèce choisie. *A. saligna* représente le Nord, *A. tortilis* pour le Sud, et *A. karroo* qui est une espèce qui est présente dans le Nord et dans le Sud en même temps. Ce même chapitre présentera trois cas de comportement de chacune de ces espèces vis-à-vis de l'effet de l'écotype (*A. karroo*), de l'effet du type de sel (*A. saligna*) et de l'effet de l'eau de mer (*A. tortilis*), toujours sur la germination et le développement des jeunes plantules.

2 Matériel et Méthodes

2.1 Récolte et origine des graines

Les provenances des graines des 10 arbres utilisées dans cette étude (*A. karroo*, *A. saligna* et *A. tortilis*) sont présentés dans le tableau 7. Sur le même tableau, des valeurs biométriques (poids de 1000-grains, longueur et largeur des semences) sont indiquées avec un nombre de répétition de 50 graines par espèce. L'expérience a été menée au Laboratoire du département de Biologie à l'Université de Batna 2 (Algérie).

Tableau 7. Caractéristiques et provenances des graines des acacias étudiés.

	<i>A. karroo</i>	<i>A. saligna</i>	<i>A. tortilis</i>
Poids 1000 grains (g)	44,8	14,7	53,4
Longueur (cm)	0,54 ± 0,05	0,49 ± 0,02	0,59 ± 0,03
Largeur (cm)	0,32 ± 0,02	0,28 ± 0,01	0,42 ± 0,01
Régions	Djelfa	Aïn Témouchent	Tamanrasset
Données GPS	34°40'00.3" N 3°09'18.8" E	35°26'32.26"N 1°13'42.80"O	22°46'57.09"N 5°34'35.00"E
Altitudes (m)	1155	2	1409

Les gousses matures ont été récoltés à partir de 10 arbres pour chaque espèce d'*Acacia*. Les gousses déjà séchées naturellement ont été écrasées manuellement pour libérer

les graines. Après la récolte, les graines ont été mélangées afin de minimiser les variations inter-génétiques. Une fois séchées, les graines ont été conservées dans des bols en verre à une température de 4 °C pendant 3 mois (simulation de la période de vernalisation). L'échantillon de graines destiné pour notre expérience a été obtenu en mélangeant les graines avec une cuillère en bois et en éliminant les impuretés telles que les matières végétales (restes de tégument, tiges, cotylédons brisés), animaux (insectes morts) ou minéraux (sables, graviers).

2.2 Germination des graines

Les téguments des graines (*A. karroo*, *A. saligna* et *A. tortilis*) ont une structure anatomique typique des espèces du genre *Acacia*, ce qui entraîne une forte inhibition tégumentaire de la germination (Figure 19). Cela implique qu'une scarification naturelle ou artificielle du tégument est nécessaire pour permettre l'imbibition et la germination des graines. Pour lever l'inhibition tégumentaire, une immersion des graines dans l'acide sulfurique concentré (H_2SO_4 à 98%) était indispensable pendant 120 minutes pour que les graines assurent un succès de germination près de 100% dans des conditions non salines pour *A. saligna* et *A. tortilis* et seulement 30 minutes pour les semences d'*A. karroo* (Kheloufi, 2017 ; Kheloufi *et al.*, 2017). Ces graines subiront à la fin de la durée de l'immersion dans l'acide, un lavage à l'eau distillée afin d'éliminer toute trace d'acide. Ils seront ensuite mis à sécher sur du papier absorbant en attendant leur semis immédiat dans un milieu de culture approprié comprenant différentes concentrations de sel.

2.3 Dispositif expérimental et Application du stress salin

Afin d'étudier l'effet du sel sur la germination, nous avons utilisé le chlorure de sodium (NaCl). Les graines (3 espèces × 5 boîtes × 10 graines × 1 sel × 9 concentrations) sont mises à germer dans des boîtes de Petri de 10 centimètres de diamètre tapissées de deux couches de papier Whatman N°1, celles-ci sont humectées avec 15 ml d'eau distillée pour le témoin (0 meq.L⁻¹) et avec 15 ml de l'une des solutions salines ayant les concentrations suivantes: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400 et 600 meq.L⁻¹. La norme est de veiller à ce que les graines conservent une certaine humidité pendant toute la durée de l'expérience. Le comptage des graines germées et dont la radicule a perforé le tégument s'est effectué tous les 3 jours et ceci durant les 21 jours de l'expérience. Les boîtes de Pétri sont ensuite placées dans l'obscurité à température ambiante (25 ± 1°C). Les graines seront humectées avec une fréquence de trois jours avec 15 ml de la solution appropriée de solution de NaCl. Aussi, les papiers sont remplacés une fois tous les trois jours pour éviter l'accumulation de sel (Akbarimoghaddam *et al.*, 2011).

Dans les tests de germination, le pourcentage final de germination (FGP) et le temps moyen de germination (MGT)) pour chaque espèce et traitement ont été calculés en utilisant les procédures et formules suivantes :

$$\text{FGP (\%)} = \frac{\sum ni}{N} \times 100$$

Où FGP est le pourcentage final de germination, ni est le nombre de graines germées au dernier jour de test, et N est le nombre total de graines incubées par test (Côme, 1970).

$$\text{MGT (jours)} = \frac{\sum(ti \cdot ni)}{\sum ni}$$

Où MGT est le temps moyen de germination, ti est le nombre de jours depuis le début de l'essai, ni est le nombre de graines germées enregistrées à l'instant $t(i)$, et $\sum ni$ est le nombre total de graines germées (Orchard, 1977).



Figure 19. Semences des différentes espèces d'Acacia étudiés.

2.4 Analyses statistiques

Les effets des différentes concentrations de NaCl sur les deux variables étudiées ont été testés par analyse de variance (ANOVA). Les différences entre les traitements après les ANOVA ont été réalisées par comparaison des moyennes. Des comparaisons multiples des moyennes ont été réalisées avec le test de Duncan ($p \leq 0,05$). Le coefficient de corrélation de Pearson a été calculé pour les trois variables étudiées ($p \leq 0,05$). Pour la cinétique de germination, nous avons appliqué la procédure GLM (Analyses répétées des mesures de variance) avec des tests univariés d'hypothèses pour l'effet entre-sujet et intra-sujet. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS Version 9.0 (Statistical Analysis System) (2002).

3 Résultats

3.1 Cinétique de germination

Les résultats illustrés sur la figure 20 correspondent aux taux de germination cumulés durant 21 jours, pour les semences de trois espèces du genre *Acacia* (*A. karroo*, *A. saligna* et *A. tortilis*). L'examen de cette figure, représentant la dynamique des taux de germination en fonction des concentrations croissantes de NaCl (meq.L^{-1}) nous expose trois phases, une

première phase de latence, due à l'imbibition des graines, une deuxième phase exponentielle où l'on assiste à une accélération de la germination et enfin une troisième phase caractérisée par un palier indiquant un arrêt de germination (phase stationnaire) (Figure 20).

Il est à signaler qu'aucune germination ne s'est manifesté chez les graines des trois espèces étudiées à 600 M de NaCl et cela au cours des 21 jours de l'expérience.

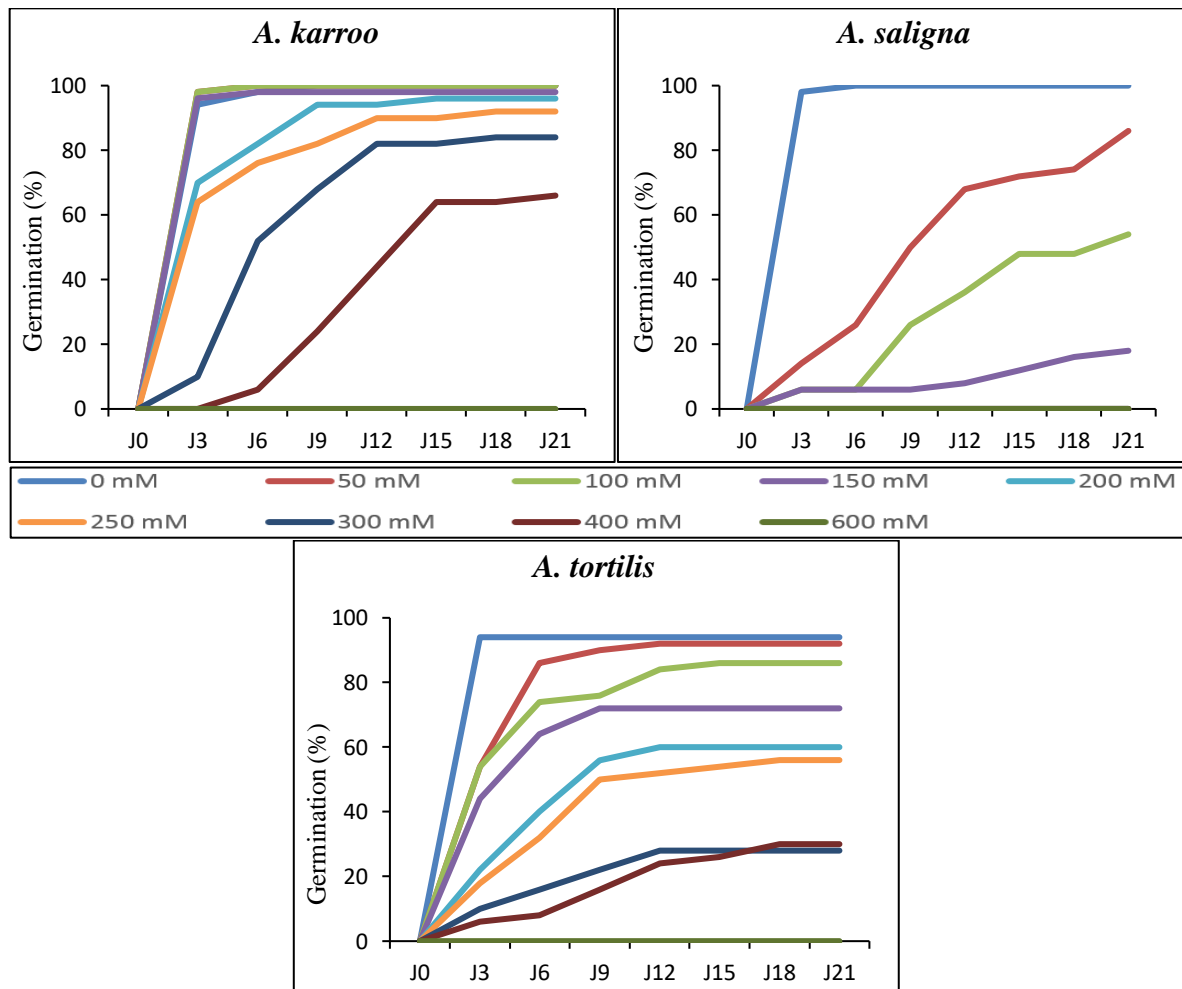


Figure 20. Effet du NaCl avec des concentrations allant de 0 à 600 meq.L⁻¹ sur la cinétique de germination des graines de (*A. karroo*, *A. saligna* et *A. tortilis*) pendant 21 jours.

Au fur et à mesure que la salinité augmente, l'allure de cette courbe est modifiée dans le sens d'un étirement, se traduisant par un retard et un ralentissement de la vitesse germination.

Pour *A. karroo* : La phase stationnaire chez le témoin commence au 6^{ème} jour. Celle des graines soumises à 50, 100 et 150 mM débute dès le 3^{ème} jour avec des taux de germination proche de 100%. A partir de 200 mM de NaCl, la phase stationnaire prend encore plus de temps au fur et à mesure que le niveau de la salinité s'accroît en dépassant les 21 jours sous 400 mM de NaCl.

Pour *A. saligna* : Aucune germination n'a été observé à partir de 200 mM et ceci au cours des 21 jours de l'étude. Les graines non traitées avec du sel enregistre 98% de

germination au 3^{ème} jour. La phase stationnaire chez ce lot témoin commence dès le 6^{ème} jour arrivant à un pourcentage de 100% de germination. Aucune phase stationnaire n'a été observé chez les graines soumises à 50, 100 et 150 mM où la germination commence avec un faible taux mais qui continue à s'améliorer avec le temps.

Tableau 8. Analyse de la variance pour les variables : pourcentage final de germination (FGP), temps moyen de germination (MGT) des graines (*A. karroo*, *A. saligna* et *A. tortilis*) en réponse au stress salin opéré par du NaCl.

Paramètres	Sources de variables	Degré de Liberté	Somme des Carrés	Carré moyen	F de Fisher	P
FGP	TRT	8	117746,66	14718,33	197,71	< 0,0001
	SP	2	63631,11	31815,55	427,37	< 0,0001
	TRT×SP	16	33422,22	2088,88	28,06	< 0,0001
MGT	TRT	7	378,31	54,04	26,49	< 0,0001
	SP	2	240,57	120,28	58,95	< 0,0001
	TRT×SP	10	372,38	37,23	18,25	< 0,0001
Cinétique de Germination	Procédure GLM					
	Analyses répétées des mesures de variance					
	<i>Tests univariés d'hypothèses pour l'effet entre-sujet</i>					
	TRT	8	693241,29	86655,16	273,93	< 0,0001
	SP	2	387272,40	193636,20	612,11	< 0,0001
	TRT×SP	16	160695,92	10043,49	31,75	< 0,0001
	<i>Tests univariés d'hypothèses pour l'effet intra-sujet</i>					
	T	7	336248,05	48035,43	1513,43	< 0,0001
	T×TRT	56	118126,11	2109,39	66,46	< 0,0001
	T×SP	14	58508,33	4179,16	131,67	< 0,0001
	T×TRT×SP	112	71910,00	642,05	20,23	< 0,0001

Pour *A. tortilis* : La phase stationnaire chez le témoin commence au 3^{ème} jour avec 94% de germination. En analysant minutieusement la cinétique de germination chez cette espèce, nous nous rendons compte que à partir de l'application du stress salin du plus faible au plus élevé des niveaux, la phase stationnaire débute à peu près au 15^{ème} jour de l'application du traitement salin avec des pourcentages qui diminuent avec l'augmentation de la concentration en NaCl. Il est important de signaler qu'à chaque fois où la concentration du NaCl augmente de 50 mM, la phase exponentielle débute avec un taux de germination inférieure au niveau précédent jusqu'à arriver à 6% de germination enregistré chez le lot soumis à 400 mM par rapport à 54% enregistré chez le lot traité à 50 mM.

La figure 20 montre que l'augmentation du stress salin entraîne une réduction des taux de germination chez les graines de toutes les espèces étudiées qui sont affectées significativement par le NaCl ($P < 0,0001$). En outre, nous pouvons remarquer que le temps de latence est variable selon les espèces et augmente en fonction de la concentration en NaCl. En effet, la procédure d'analyses répétées des mesures de variance (durant les 21 jours du test à raison d'une analyse chaque 3 jours) montre un effet très hautement significatif ($P < 0,0001$)

entre les différents facteurs et variables à savoir le TRT (traitement), SP (espèces) et T (temps), et ceci pour l'effet entre-sujet, intra-sujet et leur corrélation (Tableau 8).

3.2 Pourcentage final de germination

Sur milieu témoin (eau distillée), le taux de germination final chez les trois espèces d'*Acacia* dépasse les 90%. En présence de NaCl, l'analyse de la variance a montré qu'il existe un effet hautement significatif du NaCl ($P < 0,0001$) sur les taux de germination (Tableau 8, Tableau 9).

Tableau 9. Effet du NaCl sur le pourcentage final de germination (FGP) et temps moyen de germination (MGT) des graines (*A. karroo*, *A. saligna* et *A. tortilis*) (après 21 jours de traitement).

Espèces	TRT [NaCl]	FGP (%)	MGT (jours)
<i>A. karroo</i> ^A	0 mM	100 ± 0,00 ^a	3,24 ± 0,25 ^d
	50 mM	100 ± 0,00 ^a	3,06 ± 0,13 ^d
	100 mM	100 ± 0,00 ^a	3,06 ± 0,13 ^d
	150 mM	98,0 ± 4,47 ^a	3,06 ± 0,13 ^d
	200 mM	96,0 ± 5,47 ^a	4,39 ± 0,52 ^{dc}
	250 mM	92,0 ± 10,9 ^{ba}	4,89 ± 0,58 ^c
	300 mM	84,0 ± 15,2 ^b	7,46 ± 1,69 ^b
	400 mM	66,0 ± 8,94 ^c	11,8 ± 2,01 ^a
	600 mM	0,00 ^d	--
<i>A. tortilis</i> ^B	0 mM	94,0 ± 5,47 ^a	3,00 ± 0,00 ^e
	50 mM	92,0 ± 8,36 ^a	4,47 ± 0,56 ^d
	100 mM	86,0 ± 5,47 ^a	4,96 ± 1,02 ^{cd}
	150 mM	72,0 ± 8,36 ^b	4,48 ± 0,85 ^d
	200 mM	60,0 ± 15,8 ^c	6,09 ± 0,71 ^{cb}
	250 mM	56,0 ± 5,47 ^c	6,96 ± 0,96 ^b
	300 mM	30,0 ± 8,36 ^d	6,75 ± 1,27 ^b
	400 mM	20,0 ± 7,07 ^d	9,80 ± 1,48 ^a
	600 mM	0,00 ^e	--
<i>A. saligna</i> ^C	0 mM	100 ± 0,00 ^a	3,06 ± 0,13 ^b
	50 mM	86,0 ± 20,7 ^b	12,0 ± 2,33 ^a
	100 mM	54,0 ± 21,9 ^c	11,2 ± 1,09 ^a
	150 mM	18,0 ± 4,47 ^d	12,0 ± 4,37 ^a
	200 mM	0,00 ^e	--
	250 mM	0,00 ^e	--
	300 mM	0,00 ^e	--
	400 mM	0,00 ^e	--
	600 mM	0,00 ^e	--

Les différentes lettres dans la même colonne indiquent une différence significative à $p \leq 0,05$, telle qu'évaluée par les tests de Duncan.

Avec l'augmentation de la concentration des traitements, la germination est retardée chez la majorité des espèces. Afin de pouvoir classer nos espèces par ordre de tolérance au stress salin, nous avons pris la valeur intermédiaire 200 mM comme référence. A ce niveau de stress salin, les espèces ont, en effet, une grande amplitude de variation. En effet, exactement à cette concentration de NaCl, le pouvoir germinatif chez *A. saligna* s'annule et chez les graines d'*A. tortilis* diminue de moitié. Cependant, les graines d'*A. karroo* tolèrent

parfaitement ce niveau de stress en indiquant un FGP de 96%. D'après le classement opéré, nous constatons un chevauchement des niveaux de concentrations, et nous pouvons conclure que parmi les espèces étudiées, *A. karroo* présente le pouvoir germinatif le plus élevé et par conséquent la plus grande tolérance au stress salin. En revanche, *A. saligna* semble la moins tolérante au sel.

Le classement des espèces dans un ordre de tolérance décroissant, sur la base de leur capacité germinative, est alors le suivant : *A. karroo* > *A. tortilis* > *A. saligna*. Ceci est aussi justifié avec le test Duncan (Tableau 8).



Figure 21. Dispositif expérimental et germination en boîtes de Pétri.
(A) *A. saligna* ; (B) *A. tortilis* ; (C) *A. karroo*

3.3 Temps moyen de germination

D'après les résultats fournis par le tableau, la germination chez la plupart des espèces d'*Acacia* est affectée par le sel. Les taux de germination diminuent significativement avec l'augmentation de la concentration du sel dans le milieu de culture et on enregistre un retard pour le démarrage de germination des graines (temps moyen de germination devient important) (Tableau 8, Tableau 9).

Tableau 10. Coefficient de corrélation de Pearson entre le pourcentage final de germination (FGP) et le temps moyen de germination (MGT) pour les différentes espèces d'acacia exposées à différentes concentrations de NaCl (DDL=100).

	FGP	MGT
FGP	1.00000	-0,63112
<i>P</i>		< 0.0001
MGT	-0,63112	1.00000
<i>P</i>	< 0.0001	

D'après le tableau 10, la corrélation entre les différentes variables étudiées (FGP et MGT) sont très hautement significative et une corrélation négative est indiquée. En effet, quand le FGP croît, le MGT tend à diminuer. Nous suggérons que pour caractériser la meilleure tolérance au sel à une concentration déterminée pour une espèce donnée, il faut calculer une variable FGP et/ou GRI avec une variable en relation avec le temps tel que le MGT ou le T_{50} (Temps où le taux de germination arrive à 50%) (Mouradi *et al.*, 2016 ; Vargas-Simón *et al.*, 2017, Kheloufi, 2017).

4 Discussion

Chez les halophytes comme chez les glycophytes, la salinité réduit la capacité de germination et retarde le processus d'initiation de la germination (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2002). Cependant, les réponses sont variables et spécifiques à chaque espèce (Ungar, 1991). En effet, les glycophytes et particulièrement les espèces à intérêt agronomique ont une croissance diminuée en présence d'une salinité excessive dans le sol généralement supérieure à 100 meq.L⁻¹ de chlorure de sodium (Guerrier, 1984 ; Sun *et al.*, 2017).

Nos résultats montrent que chez toutes les espèces, il y avait une réduction du pourcentage de germination due à l'augmentation de la contrainte saline et en conséquence la germination a été retardée. Selon Fernando *et al.* (2018) la réduction de la germination dans des conditions de stress est due à l'apparition de certains déséquilibres métaboliques internes. La germination a été réduite sous les différents niveaux de stress avec des réponses variables pour chaque espèce. Le pourcentage de germination chez *A. karroo* est plus élevé que chez *A. tortilis* et *A. saligna*. Les graines de la dernière espèce ne pouvaient germer qu'à un niveau de stress salin inférieur ou égale à 150 mM et la germination était complètement inhibée par des niveaux de stress salin plus élevés. La germination des graines est un processus qui est affecté à la fois par des facteurs génétiques et environnementaux et les différentes espèces ont développé différents mécanismes pour s'adapter à des conditions défavorables opérées par le chlorure de sodium.

Selon Masondo *et al.*, 2018, la germination des graines, qu'elles soient tolérantes ou sensibles, est affectée par la salinité. Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique. Les effets osmotiques se traduisent par l'inaptitude des graines à absorber des quantités suffisantes en eau pour les ramener à leur seuil critique d'hydratation, nécessaire au déclenchement du processus de germination. Les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination. Cet effet toxique peut conduire à

l'altération des processus métaboliques de la germination et dans le cas extrême à la mort de l'embryon par excès d'ions (Belhodja, 1996).

Ces résultats sont en accord avec ceux de Meloni *et al.* (2015) obtenus sur l'*Acacia saligna* soumis à une contrainte saline qui révèle une diminution très significative du taux de germination avec l'augmentation de la concentration du sel dans le milieu de culture. Les mêmes observations sont rapportées par Jaouadi *et al.* (2010) sur les semences d'*A. tortilis* et Kheloufi *et al.* (2017) sur les semences d'*A. karroo*.

Plusieurs auteurs ont démontré que le potentiel osmotique dû au NaCl affecte l'imbibition et le temps moyen de germination mais pas la germination finale. D'autre part, selon Tiryaki et Andrews (2001), le retard causé par le sel n'est pas contraignant pour le rendement final de la culture, mais plutôt la capacité de germination qui est la plus décisive. En effet, la germination n'est pas régulée par les caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et en particulier, la disponibilité de l'eau dans le sol et la présence de sel (Ozinga *et al.*, 2004). Le faible potentiel externe peut inhiber l'activité enzymatique des graines et retarder la libération et le développement de la radicule (Wang *et al.*, 2009).

L'absorption des ions de sodium a des effets toxiques sur la germination des graines, principalement par la perturbation du mouvement de Ca^{+2} et Na^{+} au niveau de la paroi cellulaire qui pourrait perturber sa synthèse et, par conséquent, empêcher la croissance de la radicule (Bekhrad *et al.*, 2016). Le chlorure de sodium affecte également la perméabilité de la membrane plasmique en augmentant l'influx d'ions externes et les solutions d'efflux du cytosol (Zhang *et al.*, 2015). De plus, il augmente la rigidité de pariétale et diminue la conductance fluide de la membrane plasmique (Liu *et al.*, 2016).

Durant la germination de la plupart des graines, les réserves sont dégradées par les amylases, les phosphorylases et la glucosidase et une grande partie des produits d'hydrolyse sont transportés à l'embryon pour sa croissance et développement (Wang *et al.*, 2016a). Le ralentissement de la mobilisation des réserves est dû soit à un retard de l'activation et la synthèse des hydrolases, soit à un transfert d'inhibition des produits d'hydrolyse de l'endosperme vers l'embryon. Ce ralentissement de la mobilisation des réserves est principalement dû à l'effet de salinité (Wang *et al.*, 2016b).

Le classement des espèces étudiées dans un ordre de tolérance décroissant, sur la base de leur capacité germinative, est alors le suivant : *A. karroo* > *A. tortilis* > *A. saligna*. *A. saligna* semble très sensible par rapport aux deux autres espèces mais elle arrive à avoir le statut d'une glycophyte tolérante au sel. A ce stade, *A. karroo* et *A. tortilis* seront en revanche des halophytes.

Dans la région méditerranéenne pendant l'été et au début de l'automne, le niveau de salinité à la surface du sable atteint des niveaux élevés (Balestri & Cinelli, 2004). Dans le cas des *Acacia*, la forte interaction entre le sel et la température doit être soulignée : il est clair qu'en présence de sel, la germination est plus élevée à basse température et diminue progressivement à mesure que la température augmente (Meloni *et al.*, 2013). Ceci est important sur le plan écologique car il indique la nécessité de réduire la salinité du sol pour la germination des graines, car la germination en milieu salin survient généralement au printemps lorsque les températures sont plus basses et que la salinité du sol diminue à la fin de l'hiver et au printemps (Khan et Ungar, 1984). Ce comportement est également commun aux graines de la plupart des halophytes qui montrent une germination optimale en eau douce (Keiffer et Ungar, 1997 ; Muñoz-Rodríguez *et al.*, 2017), tandis que l'augmentation de la salinité entraîne une réduction de la germination des graines d'halophyte et de glycophyte (Sun *et al.*, 2017 ; Cheeseman, 2017).

Chapitre IV – Effet de l'écotype, du type de sel et de l'eau de mer sur le comportement de chacune des espèces d'*Acacia* (*A. karroo*, *A. saligna* et *A. tortilis*) au stade germination et émergence des plantules

1 Effet de l'écotype

Espèce concernée : *Acacia karroo*

Écotypes : Côtier (région d'Oran) et Steppique (région de Djelfa)

1.1 Objectif de l'étude

Dans cette étude, les effets du stress salin ont été étudiés pour deux écotypes de graines d'*Acacia karroo* Hayne en utilisant des solutions de chlorure de sodium (NaCl) avec des concentrations variant de 0 (témoin) à 600 mM. L'objectif est d'évaluer l'influence du stress salin sur la germination et l'émergence de l'appareil végétatif et de déterminer s'il existe une variation intraspécifique significative de la tolérance à la salinité entre les graines des différentes zones bioclimatiques (Côtière et steppique).

1.2 Matériel et Méthodes

1.2.1 Matériel végétal

Nous avons utilisé des graines d'*A. karroo*, un lot a été collecté dans la forêt de Msila, une forêt côtière à l'Ouest d'Oran (Algérie), zone au climat méditerranéen du Nord-Ouest de l'Algérie. Le deuxième lot a été échantillonné dans la forêt de Sen El Bae, région de Djelfa, une région steppique localisée au Sud-Ouest de l'Algérie (Algérie) et caractérisée par un climat semi-aride. L'altitude, la température annuelle moyenne, les précipitations annuelles totales et les l'indice de De Martonne, de 17 ans (2000-2016) sont représentés sous forme d'un tableau (Tableau 11) comparative entre les deux écotypes. Les données climatiques ont été fournies par World Climate Data : Tutiempo disponible sur le site : www.tutiempo.net.

Tableau 11. Coordonnées géographiques et climat des deux populations d'*A. karroo* en Algérie.

Données climatiques (2000-2016)	Oran	Djelfa
Altitude	394	1155
Latitude	35°38'35.3" N	34°40'00.3" N
Longitude	0°51'33.2" O	3°09'18.8" E
Température annuelle moyenne (°C)	18,3	16,6
Précipitation totale annuelle (mm)	372,7	282,6
Indice de De Martonne (IM)	13,15 (semi-aride)	10,63 (semi-aride)

Les gousses matures ont été récoltées de 10 différents arbres en 2015. Nous avons extrait les graines des gousses séchées en écrasant ou en brisant soigneusement les gousses. Les débris écrasés ont ensuite été séparés des graines en tamisant le tout à travers un tamis à mailles fines. La flottaison a également été utilisée pour trier les graines. Le test de flottaison vise à éliminer les graines vides, cassées et endommagées par les insectes.

Les graines propres, d'un poids de (21 à 23 gr/1000 graines), sont ensuite déposées sur le papier filtre pour sécher. Une fois séchées, elles sont stockées dans un récipient en verre 4°C, pour simuler la condition de vernalisation pendant 2 mois, en attendant leur manipulation en 2016.

1.2.2 Conditions de germination et traitements de salinité

Les combinaisons factorielles de 2 sources d'*A. karroo* et de 9 niveaux étaient des traitements d'essai de salinité. Des concentrations de salinité de 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 600 mM (millimolaire) ont été créés en utilisant du chlorure de sodium (NaCl). Tout d'abord, les graines collectées ont été nettoyées puis placées dans de l'acide sulfurique pendant 30 minutes, comme traitement de pré-germination bien connu pour la plupart des graines d'Acacia (Sweedman et Merritt, 2006 ; Kheloufi, 2017).

10 graines par boîte de Pétri (5 répétitions) ont été utilisées pour chaque traitement. Les graines ont été germées dans des boîtes de Pétri de 10 cm avec des papiers filtres Whatman N°1 humectées avec la solution appropriée ou de l'eau distillée pour 0 mM de concentration de NaCl (témoin). Les graines ont été incubées à l'obscurité continue à $25 \pm 1^\circ\text{C}$ (Celsius) dans une pièce à température contrôlée. Les papiers ont été changés avec le même traitement tous les 3 jours pour éviter l'accumulation de sel (Akbarimoghaddam *et al.*, 2011). Les graines ont été humidifiées avec les solutions appropriées de NaCl et maintenues humides tout au long de l'expérience. Le critère de germination a été pris en compte lorsque la radicule avait percé le tégument avec une longueur de 2 mm (millimètre) (Egley, 1978).

1.2.3 Paramètres étudiés

Les paramètres étudiés lors de ce travail sont :

Taux final de germination : ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration en sel qui présente la limite physiologique de la germination des graines. Il est exprimé par le rapport nombre graines germées sur le nombre total de graines (Côme, 1970). La durée de l'essai a été fixée à la période de germination qui a duré plus de 21 jours.

Germination journalière moyenne (MDG) : selon Osborne et al. (1993), MDG est le rapport entre le pourcentage de germination final sur le nombre de jours jusqu'à la germination finale.

Longueurs des plantules (SL) : la longueur des plantules en centimètre (cm) est mesurée en utilisant un fil de coton à cause des courbes des plantules dans des boîtes de Pétri après 21 jours de semis.

1.2.4 Analyses statistiques

Les effets de l'écotype et de la concentration du sel sur les trois variables ont été testés par analyse de variance (ANOVA). Les différences entre les traitements après les ANOVA ont été réalisées par comparaison des moyennes. Des comparaisons multiples des moyennes ont été

réalisées avec le test de Duncan ($p \leq 0,05$). Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS Version 9.0 (Statistical Analysis System) (2002).

1.3 Résultats

Les résultats d'une ANOVA à deux facteurs (écotypes et traitement) indiquent clairement que les traitements opérés par les différentes concentrations de chlorure de sodium exercent un effet très significatif ($P < 0,0001$) sur la capacité germinative et la croissance en longueur des plantules (Tableau 12 et Tableau 13). Dans l'ensemble, le taux de germination diminue lorsque le stress salin augmente.

Tableau 12. Effet du NaCl sur le pourcentage final de germination (FGP), la germination journalière moyenne (MDG) des graines et la longueur des plantules (SL) d'*A. karroo* (après 21 jours de traitement).

Ecotypes	[NaCl] (mM)	FGP (%)	MDG (%)	SL (cm)
<i>Acacia karroo</i> (Région côtière)	0 (Témoin)	96,0 ± 5,47 ^a	4,57 ± 0,26 ^a	11,3 ± 1,17 ^a
	50	50,0 ± 10,0 ^b	2,38 ± 0,47 ^b	6,57 ± 0,78 ^b
	100	46,0 ± 13,4 ^b	2,19 ± 0,63 ^b	5,23 ± 0,59 ^c
	150	40,0 ± 15,8 ^{cb}	1,90 ± 0,75 ^{cb}	3,81 ± 0,36 ^d
	200	30,0 ± 17,3 ^{cd}	1,42 ± 0,82 ^{cd}	2,78 ± 0,47 ^e
	250	28,0 ± 4,47 ^{cd}	1,33 ± 0,21 ^{cd}	1,30 ± 0,34 ^f
	300	22,0 ± 10,95 ^d	1,04 ± 0,52 ^d	1,16 ± 0,28 ^f
	400	20,0 ± 15,81 ^d	0,95 ± 0,75 ^d	0,88 ± 0,25 ^f
	600	0 ^e	0 ^e	0 ^g
<i>Acacia karroo</i> (Région steppique)	0 (Témoin)	100 ± 0,00 ^a	4,76 ± 0,00 ^a	12,7 ± 0,40 ^a
	50	100 ± 0,00 ^a	4,76 ± 0,00 ^a	12,6 ± 0,54 ^{ab}
	100	100 ± 0,00 ^a	4,76 ± 0,00 ^a	11,9 ± 0,79 ^b
	150	98,0 ± 4,47 ^a	4,66 ± 0,21 ^a	9,52 ± 1,33 ^c
	200	96,0 ± 5,47 ^a	4,57 ± 0,26 ^a	6,92 ± 0,96 ^d
	250	92,0 ± 10,9 ^{ab}	4,38 ± 0,52 ^{ab}	4,07 ± 0,79 ^e
	300	84,0 ± 15,2 ^b	4,00 ± 0,72 ^b	3,30 ± 0,71 ^f
	400	66,0 ± 8,94 ^c	3,10 ± 0,42 ^c	1,07 ± 0,67 ^g
	600	0 ^d	0 ^d	0 ^h

Les valeurs sont des moyennes de 5 répétitions ± SD pour les paramètres de germination et des moyennes de 8 répétitions ± SD pour la longueur. Les différentes lettres dans la même colonne indiquent une différence significative à $p \leq 0,05$, telle qu'évaluée par les tests de Duncan.

Cependant, une différence nette a été observée entre les deux provenances de graines où les graines de la steppe ont présenté un meilleur comportement en ce qui concerne l'augmentation des niveaux de traitement. De plus, aucune germination n'est apparue à 600 mM de NaCl pour les deux écotypes (Tableau 12).

1.3.1 Pourcentage final de germination

Le tableau 12 représente la réponse de la germination au stress salin pour deux lots de graines d'*A. karroo* récoltés dans deux zones bioclimatiquement différentes. Nous observons clairement l'effet de l'origine des graines en ce qui concerne la tolérance à la salinité.

L'effet de traitement du NaCl avec ses concentrations croissantes n'a pas une grande influence sur la germination des graines d'*A. karroo* (Steppiques). D'autre part, l'effet du NaCl

est nettement significatif pour les graines collectées dans la zone côtière, confirmant sa sensibilité au sel (Tableau 12 et Tableau 13). Pour 0 mM de NaCl, quelle que soit l'origine des graines, le taux maximum de germination était égal ou très proche de 100% des deux provenances. Le taux final de germination reflète clairement que les graines de *A. karroo* (Steppiques) sont tolérantes au sel. En effet, sous 400 mM de NaCl, 20% de germination a été obtenue à partir des graines côtières contre 66% des graines steppiques.

Tableau 13. Analyse de la variance pour les paramètres étudiés pour les deux écotypes d'*A. karroo* Hayne (Côtier et steppique) en réponse au stress salin.

Paramètres	Source de Variables	DDL	Somme des carrés	Moyennes des carrés	F de Fisher
FGP	[NaCl] (mM)	8	586,2	73,27	76,24***
	Ecotype	1	453,37	453,37	471,72***
	[NaCl] × Ecotype	8	126,82	15,85	16,49***
MDG	[NaCl] (mM)	8	1,32	0,16	76,23***
	Ecotype	1	1,02	1,02	471,73***
	[NaCl] × ECOTYPE	8	0,28	0,03	16,49***
SL	[NaCl] (mM)	8	2233,43	279,17	613,56***
	Ecotype	1	377,65	377,65	829,97***
	[NaCl] × Ecotype	8	204,88	25,61	56,29***

*, **, ***: significant at 5%, 1% et 0.1% level, respectively. DDL: degré de liberté

1.3.2 Germination journalière moyenne

Pour les deux zones, l'effet de salinité (concentration) a entraîné une augmentation ou une réduction de la vitesse de germination par rapport au témoin. Le taux de germination d'*A. karroo* (Steppique) est beaucoup plus important que celui observé pour les graines côtières en conditions salines. La germination quotidienne moyenne a tendance à être complètement annulée à 600 mM de NaCl pour les deux populations étudiés (Tableau 12). Le MDG de la population côtière diminue dès la première concentration de sel (50 mM), il passe de 4,57% chez le témoin à 2,38% et il continue à diminuer. Cependant, chez la population steppique, le MDG reste stable aux environs de 4% de 0 mM à 400 mM de NaCl et cela même si le FGP est réduit (Tableau 12).

1.3.3 Emergence des plantules

L'effet du NaCl sur l'émergence des plantules d'*A. karroo* a été évalué en mesurant seulement une caractéristique morphologique qui est la longueur totale des plantules âgées de 21 jours. L'analyse de variance à deux facteurs (provenances et concentrations de NaCl) montre que la provenance et l'écotype ont un effet très significatif ($P < 0,0001$) ainsi que leur interaction (provenances × concentration de NaCl) sur le paramètre longueur de plantules (Tableau 12). Selon le tableau 12, nous avons noté que pour toutes les concentrations utilisées, l'effet du NaCl sur les graines d'*A. karroo* est différent d'une zone à l'autre et même sous 0 mM où les plantules d'*A. karroo* de la région steppique ont présentés une croissance en longueur

plus élevée que celles de la région côtière. Les plantules de Djelfa semblent être les plus tolérantes aux sels, même si leur croissance est réduite de moitié aux concentrations allant de 100 à 200 mM de NaCl. L'effet de l'augmentation progressive de la concentration de NaCl dans le milieu de culture a entraîné une forte réduction de la longueur des plantules.

1.4 Discussion

Un grand nombre d'études a été mené sur les effets de la sécheresse et de la salinité sur la germination des essences forestières. Jusqu'à présent, les études comparatives de diverses espèces d'*Acacia* soumises à un stress salin sont rares. La majorité des espèces et des écotypes ont montré une sensibilité différente au stress salin vis-à-vis de la germination des graines (Everitt, 1983 ; Ungar, 1995 ; Tiwari *et al.*, 2013). Peu de ces études ont pris en compte la sélection de provenance basée sur la classification bioclimatique. La germination est la première étape délicate de la plantation et les graines sont confrontées à un problème de salinisation du sol (Ayers, 1952 ; Redmann, 1974 ; Flowers, 2004 ; Balakhnina *et al.*, 2015). Ashraf et Orooj (2006) ont évalué que le stress salin est d'une importance primordiale pour déterminer les caractéristiques des graines et les limites de germination dans les zones arides et semi-arides.

D'après nos résultats, les graines d'*A. karroo* germées en l'absence et/ou en présence d'une concentration faible ou élevée de NaCl, sont tolérantes au sel, mais cette tolérance diffère selon l'écotype. Pour tous les paramètres étudiés, les graines récoltées dans la zone steppique ont montré des résultats très intéressants. Ce type de réponse a été interprété comme indiquant une tolérance au sel. Les recherches de (Lessani et Marschner, 1978) et celles de (Parida et Das, 2005) ont affirmé que la germination des graines en milieu salin est liée à l'espèce. Le stress salin du chlorure de sodium a entraîné une diminution du pourcentage de germination. La germination des graines a été considérablement réduite à un niveau de sel élevé (400 mM). En effet, une forte concentration en sel d'un milieu de germination peut induire une réduction et un retard de la germination des graines.

La salinité affecte la germination de deux façons : il peut y avoir suffisamment de sels dans le milieu de culture qui réduisent le potentiel osmotique, en modifiant l'activité enzymatique dans le processus d'hydrolyse des réserves (Dkhil et Denden, 2010). Rejili *et al.* (2010) ont montré que les effets osmotiques se traduisaient par l'incapacité des graines à absorber des quantités suffisantes d'eau pour rééquilibrer leur point critique d'hydratation afin d'activer le processus de germination. Cependant, l'effet toxique est lié à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations dans le métabolisme et la respiration des enzymes. De nombreuses études ont montré que l'effet du sel sur la germination pourrait être un inhibiteur (toxique) lorsque la concentration est très élevée, ou réducteur de vitesse

(osmotique) lorsque la concentration est plus faible (Rehman *et al.*, 2000 ; Ramoliya *et al.*, 2004 ; Zhang *et al.*, 2014). L'augmentation de la salinité entraîne un retard de germination dû au temps nécessaire aux graines pour ajuster leur pression osmotique interne (Okçu *et al.*, 2005). Sy *et al.* (2001) ont également montré que l'aptitude à germer dans des conditions de sécheresse ou de salinité ne reflète pas nécessairement le comportement des plantes adultes.

En analysant les longueurs des plantules soumises à un stress salin pendant les périodes de traitement, il semble qu'il y ait une tendance générale à la diminution de la longueur des plantules en utilisant des concentrations croissantes de chlorure de sodium. Les raisons de cette réduction peuvent s'expliquer par l'inhibition de l'absorption d'eau, causée par une accumulation excessive d'ions Na^+ et Cl^- (Alencar *et al.*, 2015). Ces croissances en longueur réduites sont également en relation avec le retard de la germination des graines. Dans des conditions naturelles, la dépendance au sel et la tolérance au sel au stade de la germination sont d'un grand intérêt car une germination réussie dans une large gamme de conditions abiotique augmente la probabilité de réhabilitation du sol. Comprendre les caractéristiques des semences et les modèles d'établissement des plantules est essentiel pour l'élaboration de stratégies de gestion efficaces pour le reboisement (Ghars *et al.*, 2008).

Dans cette étude, il était possible d'évaluer et de déterminer les graines les plus tolérantes au sel provenant de l'écotype steppique pour leur utilisation dans les systèmes de boisement et de reboisement dans les régions arides et semi-arides où la salinité ne cesse de progresser. Les graines de cet écotype pourraient être l'objectif de sélection future afin de fixer le caractère de la tolérance au sel. De plus, la culture étant un arbre légumineux envahissant, elle pourrait contribuer efficacement et rapidement à l'amendement de l'azote dans les sols dégradés et servir de bon point de conception pour restaurer la biodiversité.

2 Effet du type de sel sur la germination

Espèce concernée : *Acacia saligna*

Type de sel : Chlorure de sodium (NaCl) et Dichlorure de calcium (CaCl₂)

2.1 Objectif de l'étude

Les terres arides et semi-arides algériennes ont un besoin urgent de trouver les meilleures espèces pour réduire la dégradation et réinstaller la biodiversité. Néanmoins, le succès des phases de germination et de croissance de la végétation passe inéluctablement par une bonne connaissance de leurs caractéristiques germinatives et de leur développement ainsi que de leurs comportements avec les conditions du milieu. Nous avons analysé l'effet de la salinité sur la phase de germination des graines d'*Acacia saligna* qui a une densité très importante et une production de graines très intéressante sur le territoire algérien constituant un élément capital dans le maintien de nombreuses écosystèmes arides et désertiques (Aswatappa *et al.*, 1987 ; Kull *et al.*, 2011). Et comme la salinité prend une échelle croissante et menaçante avec le chlorure de sodium (NaCl) comme élément le plus abondant, nous avons étudié ses effets avec différentes concentrations de (0 meq.L⁻¹: témoin) à (600 meq.L⁻¹) au niveau des premiers stades de développement. Dans une seconde expérience parallèle à la précédente et avec les mêmes concentrations que le NaCl, nous avons initié l'étude de l'effet d'un autre sel qui est le dichlorure de calcium (CaCl₂), car un sol salin est caractérisé par l'intervention de plusieurs sels ; le plus nocif est le chlorure de sodium (Belkhodja, 1996, Ungar, 1996, Munns et Tester, 2008). Le but de ce travail est de déduire l'attitude des graines vis-à-vis de ces deux sels.

2.2 Matériel et Méthodes

2.2.1 Récolte des graines

L'expérience a été menée au Département d'Ecologie et d'Environnement de l'Université Batna 2 (Algérie). Lors de ce test, le choix s'est porté sur les graines d'*Acacia saligna*. Les graines récoltées en 2014 ont été nettoyées et examinées. Ces graines ont été stockées dans un endroit sec à une température de 4 °C pour être utilisées dans notre étude en 2015. Les gousses ont été récoltées dans le Parc national d'El Kala situé à El Tarf au Nord-Est de l'Algérie.

2.2.2 Germination des graines

Les téguments des graines d'*A. saligna* ont une structure anatomique typique des espèces du genre *Acacia*, ce qui entraîne une forte inhibition tégumentaire de la germination. Cela implique qu'une scarification naturelle ou artificielle du tégument est nécessaire pour permettre l'imbibition et la germination des graines. Pour lever l'inhibition tégumentaire, une immersion des graines dans l'acide sulfurique concentré (H₂SO₄ à 98%) était indispensable pendant 120 minutes pour que les graines assurent un succès de germination à 100% dans des

conditions non salines. Ces graines subiront à la fin de la durée de l'immersion dans l'acide, un lavage à l'eau distillée afin d'éliminer toute trace d'acide. Ils seront ensuite mis à sécher sur du papier absorbant en attendant leur semis immédiat dans un milieu de culture approprié comprenant différentes concentrations de sel.

2.2.3 Application du stress salin

Afin d'étudier l'effet du sel sur la germination, nous avons utilisé deux types de sel : le chlorure de sodium (NaCl) et le dichlorure de calcium (CaCl₂). Les graines (1 espèce × 5 boîtes × 10 graines × 2 sels × 9 concentrations) sont mises à germer dans des boîtes de Petri de 10 centimètres de diamètre tapissées de deux couches de papier Whatman N°1, celles-ci sont humidifiées avec 15 ml d'eau distillée pour le témoin (0 meq.L⁻¹) et avec 15 ml de l'une des solutions salines ayant les concentrations suivantes: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400 et 600 meq.L⁻¹. La norme est de veiller à ce que les graines conservent une certaine humidité pendant toute la durée de l'expérience. Le comptage des graines germées et dont la radicule a perforé le tégument s'est effectué tous les 3 jours et ceci durant les 21 jours de l'expérience. Les boîtes de Pétri sont ensuite placées dans l'obscurité à température ambiante (25 ± 1°C). Les graines seront humidifiées avec une fréquence de trois jours avec 15 ml de la solution appropriée de solution de NaCl ou de CaCl₂. Aussi, les papiers sont remplacés une fois tous les trois jours pour éviter l'accumulation de sel (Akbarimoghaddam *et al.*, 2011).

2.2.4 Paramètres étudiées

Les paramètres étudiés lors de ce travail sont :

Cinétique de germination : pour mieux appréhender la signification physiologique du comportement germinatif des graines étudiées, le nombre de graines germées a été compté tous les 3 jours jusqu'au 21^{ème} jour de l'expérience.

Pourcentage final de germination (FGP) : ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration en sel qui présente la limite physiologique de la germination des graines. Il est exprimé par le rapport nombre graines germées sur le nombre total de graines (Côme, 1970). La durée de l'essai a été fixée à la période de germination qui a duré plus de 21 jours.

Germination journalière moyenne (MDG) : selon Osborne et al. (1993), MDG est le rapport entre le pourcentage de germination final sur le nombre de jours jusqu'à la germination finale.

Test la réversibilité de l'action du sel (REC) : pour les essais de réversibilité de l'action du sel, le test ne portera que sur les graines qui n'ont pas germé après 21 jours de culture. Seules la concentration élevée en sel (600 meq.L⁻¹) sera prise en considération. Ainsi, après avoir rincé plusieurs fois à l'eau distillée afin d'éliminer le sel, on place ensuite les graines dans des boîtes de Pétri dans l'obscurité et en l'absence de sel pendant 7 jours. Ce paramètre a l'avantage

de déterminer l'origine de l'effet dépressif du sel, si c'est de nature osmotique ou toxique. Il est calculé par le nombre de graines germées sur le total des graines.

2.2.5 Analyses statistiques

Les effets du type et de la concentration du sel sur les trois variables ont été testés par analyse de variance (ANOVA). Les différences entre les traitements après les ANOVA ont été réalisées par comparaison des moyennes. Des comparaisons multiples des moyennes ont été réalisées avec le test de Duncan ($p \leq 0,05$). Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS Version 9.0 (Statistical Analysis System) (2002).

2.3 Résultats

Les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) indiquent clairement que les traitements opérés par les différentes concentrations et les différents types de sel exercent un effet très hautement ($P < 0.0001$) significatif sur la capacité de germination des graines d'*A. saligna* au cours du temps (Tableau 14, Tableau 15).

Tableau 14. Effet du NaCl et du CaCl₂ sur le pourcentage final de germination (FGP), la germination journalière moyenne (MDG) des graines d'*A. saligna* (après 21 jours de traitement).

Traitements		FGP (%)	MDG (%)
[NaCl] (meq.L ⁻¹)	Témoin (0)	100 ± 0,00 ^a	4,46 ± 0,00 ^a
	50	86,0 ± 20,7 ^b	4,09 ± 0,98 ^b
	100	54,0 ± 21,9 ^c	2,57 ± 1,04 ^c
	150	18,0 ± 4,47 ^d	0,85 ± 0,21 ^d
	200	0 ^e	0 ^e
	250	0 ^e	0 ^e
	300	0 ^e	0 ^e
	400	0 ^e	0 ^e
	600	0 ^e	0 ^e
[CaCl ₂] (meq.L ⁻¹)	Témoin (0)	100 ± 0,00 ^a	4,76 ± 0,00 ^a
	50	92,0 ± 10,9 ^a	4,38 ± 0,52 ^a
	100	68,0 ± 4,47 ^b	3,23 ± 0,21 ^b
	150	66,0 ± 32,1 ^b	3,14 ± 1,52 ^b
	200	44,0 ± 5,47 ^c	2,09 ± 0,26 ^c
	250	20,0 ± 10,0 ^d	0,95 ± 0,47 ^d
	300	14,0 ± 8,94 ^{de}	0,66 ± 0,42 ^{de}
	400	0 ^e	0 ^e
	600	0 ^e	0 ^e

Les différentes lettres dans la même colonne indiquent une différence significative à $p \leq 0,05$, telle qu'évaluée par les tests de Duncan.

2.3.1 Cinétique de germination

Les résultats représentés sur la figure 21 indiquent que dans les conditions salines opérées par les deux types de sels (NaCl et CaCl₂), la cinétique de germination exprime trois phases, une première phase de latence, qui est en relation directe avec l'imbibition des graines ; une seconde phase exponentielle où l'on assiste à une accélération de la germination et enfin une troisième phase caractérisée par une phase stationnaire indiquant un arrêt de germination.

Tableau 15. Analyse de la variance pour les variables : pourcentage final de germination (FGP), germination journalière moyenne (MDG) et du test de réversibilité de l'action du sel (REC_{600}) des graines d'*A. saligna* en réponse au stress salin opéré par du NaCl et du $CaCl_2$.

Paramètres	Source de variable	DDL	Moyennes des carrés	F de Fisher
FGP	TRT ($meq.L^{-1}$)	8	14831,94	115,57***
	Type	1	5921,11	46,14***
	TRT \times Type	8	843,61	6,57***
MDG	TRT ($meq.L^{-1}$)	8	33,62	115,55***
	Type	1	13,41	46,12***
	TRT \times Type	8	1,91	6,57***
	TRT ($meq.L^{-1}$)	0	--	--
REC_{600}	Type	1	13690,00	912,67***
	TRT \times Type	0	--	--

*, **, ***: significant at 5%, 1% et 0.1% level, respectively. DDL : degré de liberté

En régime salin créé par le NaCl, la dynamique de la capacité germinative est clairement perturbée par l'augmentation des concentrations en sel. En effet, les courbes des traitements au NaCl sont en dessous de la courbe témoin. Les graines expriment leur sensibilité à partir de la plus faible concentration en exprimant des pourcentages de germination très réduits avec une phase exponentielle très lente et qui dure beaucoup plus longtemps pour se stabiliser au 21^{ème} jour de l'expérience. Il est à noter qu'aucune activité germinative n'apparaît à partir de la concentration de (200 $meq.L^{-1}$) de NaCl (Figure 22).

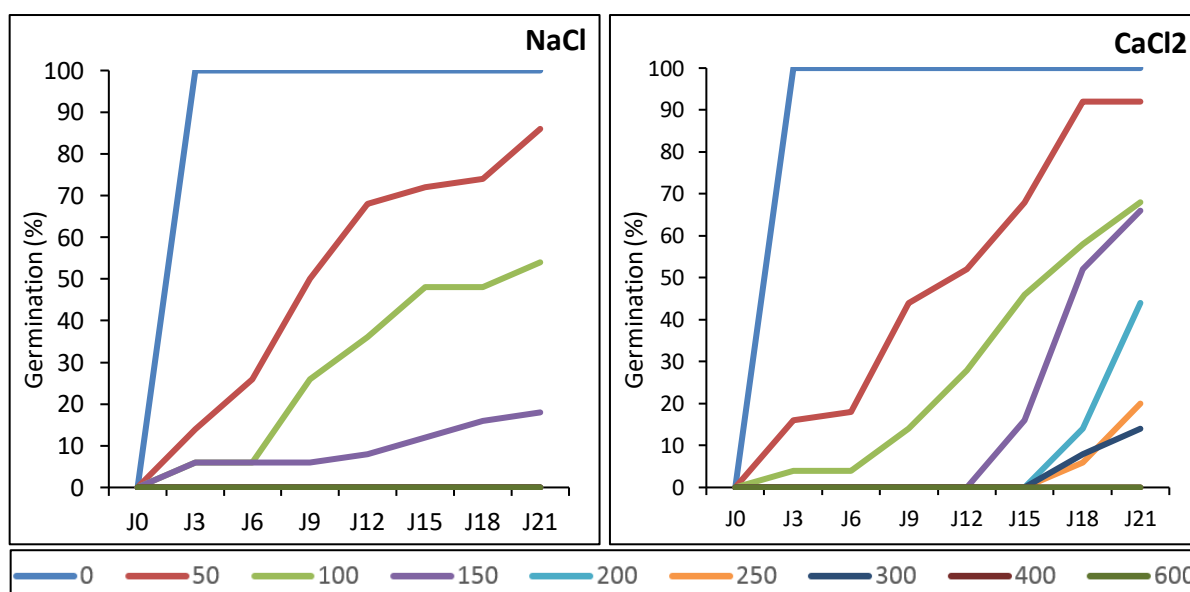


Figure 22. Effet des différents types de sel (NaCl et $CaCl_2$) avec des concentrations similaires de (0 à 600 $meq.L^{-1}$) sur la cinétique de germination des graines d'*A. saligna* pendant 21 jours.

D'un autre côté, sous conditions salines créées par le $CaCl_2$; l'évolution de la germination avec (50 $meq.L^{-1}$) a atteint 93,33% au 18^{ème} jour. Même si ce taux est proche du témoin, mais son acquisition a pris beaucoup plus de temps que celle du témoin où un taux maximum de germination de 100% avait été exprimé simplement au 3^{ème} jour. Cette progression tend à diminuer à mesure que les concentrations de $CaCl_2$ augmentent. Avec des concentrations

plus élevées de CaCl_2 (400 et 600 meq.L^{-1}), les graines semblent trop affectées par ces conditions et montrent une dynamique de germination nulle, et ce, tout au long de la durée de l'expérience (Figure 22).

2.3.2 Pourcentage final de germination

D'après la figure 23 et dans son ensemble, le taux final de germination est un paramètre qui reflète clairement et distinctement que les concentrations accentuées du NaCl sont plus agressives que celles du CaCl_2 au stade de la germination. En effet, le pourcentage final de germination des graines d'*A. saligna* sous conditions salines créées par le NaCl est plus réduit que celui enregistré chez celles sous du CaCl_2 .

Les graines continuent à germer dans les concentrations de 200, 250 et 300 meq.L^{-1} de CaCl_2 ; alors qu'aucune germination ne s'est produite après 150 meq.L^{-1} de NaCl (Figure 23).

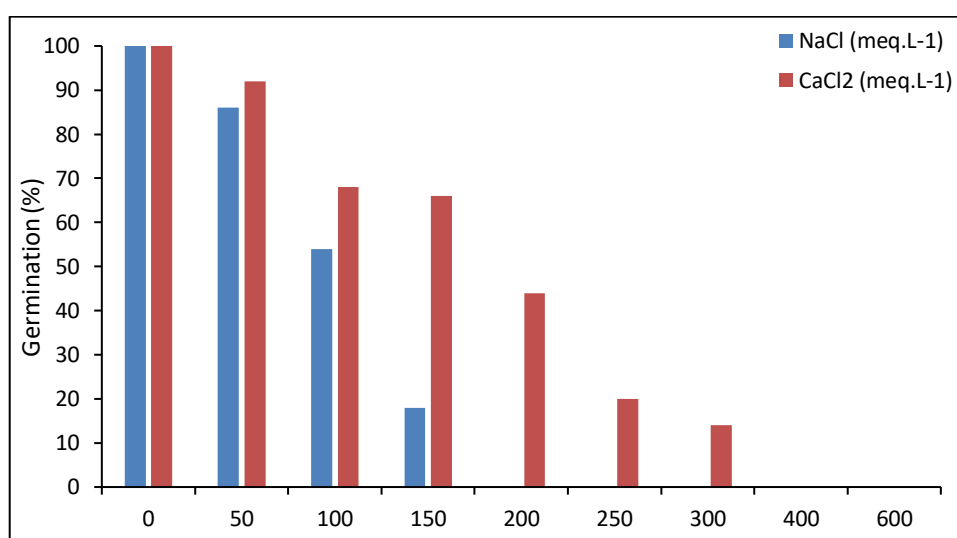


Figure 23. Variations du pourcentage final de germination (FGP) d'*A. saligna*, après 21 jours de traitement avec divers sels (NaCl et CaCl_2) (0 à 600 meq.L^{-1}).

2.3.3 Germination journalière moyenne

La figure 24 montre que l'effet de la salinité entraîne perturbation de la vitesse de germination par rapport au témoin.

Le traitement au NaCl réduit progressivement la vitesse de germination d'*A. saligna* jusqu'à (0,85%/jour) sous (150 meq.L^{-1}) de concentration, une vitesse qui est annulée avec l'absence totale de germination à partir de cette concentration ((Figure 24). La même observation a été rapportée sur l'effet du CaCl_2 où les vitesses de germination diminuent avec l'augmentation des concentrations. Cependant, son effet sur le paramètre MDG était moins marqué que l'effet du NaCl avec une vitesse annulée à partir de (300 meq.L^{-1}).

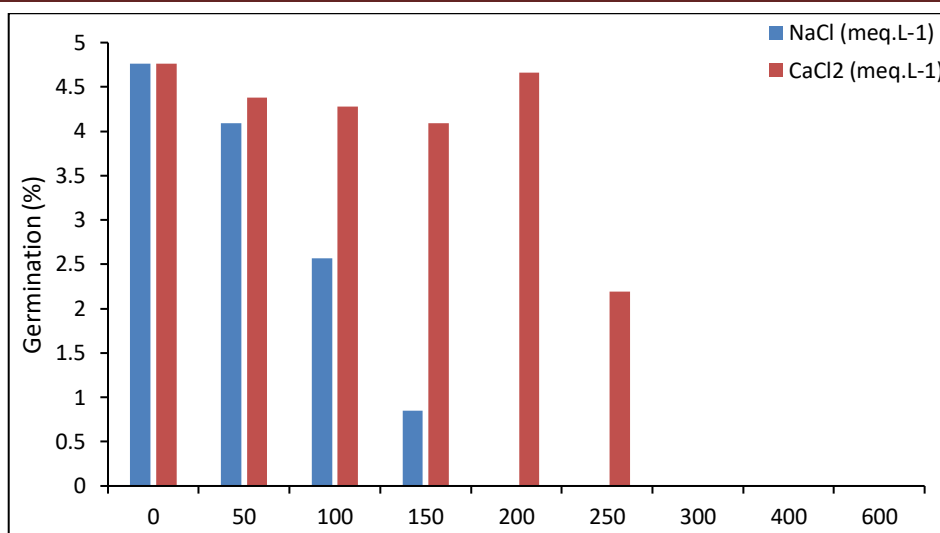


Figure 24. Variations de la germination journalière moyenne (MDG) d'*A. saligna*, après 21 jours de traitement avec divers sels (NaCl et CaCl₂) (0 à 600 meq.L⁻¹).

2.3.4 Réversibilité de l'action du sel

La figure 25 représente la réponse des graines qui n'ont pas pu germer (600 meq.L⁻¹) pour des traitements au NaCl et au CaCl₂, et ceci en évaluant le taux final de germination après rinçage des graines à l'eau distillée. Aucune reprise de germination après les conditions salines au chlorure de sodium. En effet, les résultats de la réversibilité de l'action du sel ne révélant rien confirmant l'effet toxique du NaCl (Figure 25). Cependant, la récupération des graines qui ont subi un immersion prolongée (21 jours) avec (600 meq.L⁻¹) de CaCl₂, a donné un taux de germination considérable de 74%, justifiant l'effet osmotique de ce type de sel (Figure 25).

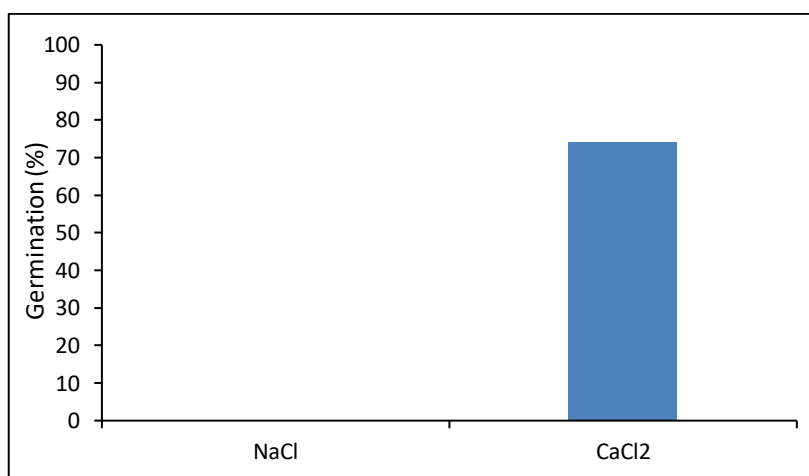


Figure 25. Test de la réversibilité de l'action du sel sur une période de 7 jours pour les graines d'*A. saligna* traitées par la forte concentration de (600 meq.L⁻¹).

2.4 Discussion

Le résultat de l'analyse de la variance a montré un effet significatif de la salinité sur le stade de germination chez les semences d'*A. saligna*. Néanmoins, cet effet diffère de la nature d'un sel à l'autre. En effet, le chlorure de sodium semble être beaucoup plus nocif que le

dichlorure de calcium. Il semblerait que la réponse de la germination aux salinités modérées puisse être en grande partie la conséquence de l'absorption accrue de solutions aqueuses nécessaires pour induire l'expansion cellulaire, car cela maintient le potentiel osmotique dans les tissus des plantules (Nedjimi et Daoud, 2009).

La majorité des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de semis (Chiapusio *et al.*, 1997 ; Hilhorst et Karssen, 2000 ; Munzuroglu et Geckil, 2002). Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (Khan, 1971 ; Kucera *et al.*, 2005). Plusieurs auteurs ont montré un retard de germination causé par la salinité chez plusieurs espèces, même chez les espèces halophytes (Khan *et al.*, 2000 ; Belkhodja et Bidai, 2004 ; Koyro, 2006).

Même si la germination des graines d'*A. saligna* étaient très sensibles ; cette germination (annulée à partir de 200 meq.L⁻¹ de NaCl) semble appréciable par rapport à beaucoup d'arbres forestiers; Eucalyptus (Pearce-Pinto *et al.*, 1990); Argan (Bani-Aameur et Sipple-Michmerhuizen, 2001); Pinus (Sidariet *et al.*, 2008). La germination des espèces d'*Acacia* peut germer dans des conditions de stress salin proches de celles de l'eau de mer (35 g.L⁻¹) comme c'est le cas d'*A. tortilis* (Jaouadi, 2010).

Le retard de germination engendré par les concentrations croissantes du milieu contenant du NaCl conduirait à une difficulté d'hydratation des graines par suite d'un fort potentiel osmotique, et peut s'expliquer par le temps nécessaire aux semences pour installer des mécanismes permettant un ajustement de leur pression osmotique interne (Mauromicale et Cavallaro, 1995, Bajii *et al.*, 2002, Askri *et al.*, 2007).

Une augmentation de la concentration en sel a entraîné une diminution du pourcentage final de germination. La germination était fortement réduite au plus haut degré de salinité, en particulier au niveau du NaCl. L'augmentation de la concentration du NaCl a affecté négativement le mécanisme de germination des graines d'*A. saligna*. Ces résultats sont en accord avec ceux de Guan *et al.*, (2009), fondés sur le fait que des niveaux élevés de salinité du sol peuvent inhiber significativement la germination des graines. La présence de NaCl en forte dose inhibe la croissance en imposant un stress osmotique dans la cellule et par la toxicité du sodium dans le cytoplasme (Neumann, 1997). Ces effets peuvent résulter de changements dans la relation ionique, l'état hydrique, les processus physiologiques et les réactions biochimiques (Bernstein, 1975 ; Neumann *et al.*, 1994 ; Cramer et Quarrie, 2002).

La tolérance au sel n'est pas associée à une faible accumulation du sodium (Collins *et al.*, 2008) mais plutôt à la capacité de maintenir un équilibre ionique (Ghanem *et al.*, 2009). En effet, la récupération des graines qui n'ont pas germé dans des conditions de salinité au NaCl ou au CaCl₂ à (600 meq.L⁻¹) indique que le chlorure de sodium était toxique à cette

concentration et ce contrairement aux effets néfastes de CaCl_2 qui n'a fait que réduire le potentiel osmotique de la solution externe.

Généralement et selon Ungar (1996) et Tavakkoli (2011), l'augmentation de la salinité entraîne une diminution de la germination des semences d'*A. saligna*. Cela pourrait être dû aux effets toxiques de Na^+ et au processus de germination. Il modifie le processus d'imbibition en raison du potentiel osmotique inférieur des milieux de germination, provoque une toxicité qui modifie l'activité des enzymes de l'acide nucléique et du métabolisme protéique, interrompt l'équilibre hormonal et réduit l'utilisation de la réserve des graines (Azevedo Neto *et al.*, 2006).

Dans des conditions de fortes concentrations externes de sodium, celle-ci pénètre dans les cellules racinaires par des canaux et transporteurs d'ions non spécifiques provoquant une dépolarisation électrique des membranes, une réduction de la turgescence cellulaire et un décollement de la membrane plasmique de la paroi cellulaire, ce qui engendre une activation des canaux calciques Ca^{++} (Sanders *et al.*, 1999) et par conséquent une modification de la concentration en Ca^{++} cytoplasmique jouant le rôle de premier signal du stress (Monroy et Dhindsa, 1995; Saijo *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2006).

Les graines stressées avec le CaCl_2 ont des taux de germination plus élevés que les graines traitées avec le NaCl . Cependant, aucun signe de germination n'est apparu à (600 meq.L^{-1}) avec ces deux types de sel. Jaleel *et al.* (2008) ont rapporté dans leurs travaux que la combinaison du CaCl_2 avec un traitement au NaCl avait des effets variés sur les protéines, les sucres totaux, les acides aminés libres, la proline et l'activité enzymatique antioxydante. Compléter le milieu avec du Ca^{++} atténue l'inhibition de la croissance par le sel dans les plantes glycophytes (Gul et Khan, 2006). D'autres chercheurs mentionnent que le calcium augmente l'halotolérance (Bernstein et Hayward, 1958, Bernstein, 1975, Girijaet *et al.*, 2002, Tuna *et al.*, 2007). Les ions Ca^{++} ont un effet améliorateur sur la croissance des plantes stressées par le NaCl , en modulant le métabolisme global (Shabala *et al.*, 2006).

3 Effet de l'eau de mer

Espèce concernée : *Acacia tortilis*

Stress salin : Eau de mer à différentes dilutions

3.1 Objectif de l'étude

La côte méditerranéenne de l'Algérie se caractérise par sa situation géographique intéressante et par l'importance de ses plages de sable. Néanmoins, ce littoral subit des contraintes et des transformations qui pourraient influencer l'état présent et futur de ses plages. Ces effets sont dus à l'évolution de la pression humaine et à la dynamique météorologique marine du littoral. En outre, l'environnement naturel du littoral algérien est caractérisé par une sécheresse prolongée et une précipitation très réduite. De plus, la qualité réduite du couvert végétal exerce une grande influence sur la dégradation des sols et accélère l'érosion (Illou *et al.*, 2012). D'autre part, les ressources limitées en eau et la salinité constituent une contrainte majeure pour le développement agricole et socio-économique (Zalidis *et al.*, 2002 ; Hanjra et Qureshi, 2010). En effet, dans les zones arides et semi-arides, la salinité est l'un des problèmes les plus marqués de l'irrigation agricole (Connor, 2012). Dans ces régions, il est très intéressant d'utiliser de l'eau saline pour l'irrigation en raison des ressources en eau très limitées (Gaaloul, 2011 ; Rameshwaran *et al.*, 2016). La quantité et la qualité de l'eau d'irrigation disponible dans de nombreuses régions arides et semi-arides du monde sont les principaux facteurs limitant l'extension de l'agriculture (Dai et Li, 2013). Le plus important et le plus urgent est le reboisement destiné à restaurer la végétation dans les zones menacées par les érosions (Luzzadder-Beach *et al.*, 2016).

L'objectif de la présente étude est de déterminer et de comparer les effets de diverses dilutions d'eau de mer sur la germination d'un arbre de la famille des légumineuses (*Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne var. *raddiana*), et en déduire si l'eau de mer pourrait être une alternative pour l'irrigation basée sur la concentration tolérée par l'espèce étudiée afin de générer des connaissances utiles pour les programmes de reboisement dans des conditions salines.

3.2 Matériel et Méthodes

3.2.1 Récolte des graines

Les graines d'*Acacia tortilis* var. *raddiana* ont été testées au laboratoire pour confirmer leur viabilité avant d'établir le test de tolérance à la salinité dans les boîtes de Pétri en Novembre 2015. Les graines récoltées en 2015 ont été nettoyées et inspectées minutieusement. Ces graines ont été conservées dans un endroit sec à une température de 4 °C pour être utilisées dans notre étude en 2016. Les gousses ont été récoltées de la région de *Oued Tin Amezzegin* (Tamanrasset, Sud de l'Algérie).

3.2.2 Taux moyen de la mer méditerranéenne

D'après les recherches de Lavini *et al.* (2016), le taux de salinité de la mer Méditerranéenne varie entre 36 et 38 g.L⁻¹. Sa valeur oscille autour de g.L⁻¹ près du détroit de Gibraltar où les eaux se marient par les courants avec celles de l'Atlantique. Les écarts engendrés par de fortes pluies (baisse du taux) ou par de fortes évaporations lors de pics de chaleur en été, ne sont que temporaires et rapidement compensés. L'eau de mer contient environ 35 g de sels par litre et elle est composée de nombreux sels dont une majeure partie sont présent en très petite quantité. Parmi la soixantaine d'éléments identifiés comme constituants de l'eau de mer, le tableau 16 regroupe les plus représentatifs, classés par concentration décroissante.

Tableau 16. Composition des sels minéraux dissous dans l'eau de mer (Lavini *et al.*, 2016).

Éléments	g/L	Éléments	g/L
Chlore	19,4	Brome	0,05
Sodium	10,7	Carbone	0,03
Magnésium	1,3	Strontium	0,008
Soufre	0,9	Bore	0,005
Calcium	0,4	Silicium	0,003
Potassium	0,4	Fluor	0,001

3.2.3 Germination des graines et traitements

Les téguments des graines du genre *Acacia* ont une structure anatomique typique qui entraîne une forte inhibition tégumentaire de la germination. Cela implique qu'une scarification naturelle ou artificielle est nécessaire pour permettre l'imbibition et la germination des graines. Pour lever cette inhibition, une immersion des graines dans l'acide sulfurique concentré (H₂SO₄ à 96°) est indispensable pendant 120 minutes pour que les graines assurent un succès de germination aux alentours de de 100% dans des conditions non salines (Roussel, 1984 ; Ndour, 1997). Ces graines subiront à la fin de la durée de l'immersion dans l'acide, un rinçage à l'eau distillée afin d'éliminer toute trace d'acide. Elles seront ensuite mises à sécher sur du papier absorbant en attendant leur semis immédiat dans un milieu de culture approprié.

Afin d'étudier l'effet du sel sur la germination, nous avons utilisé différentes dilutions de l'eau de mer méditerranéenne (EM) basées sur le pourcentage de cette eau saline dans un volume d'eau distillée (10, 30, 50 et 100%). Les graines sont mises à germer dans des boîtes de Pétri de 10 centimètres de diamètre tapissées de deux couches de papier Whatman N°1, celles-ci sont humectées avec 15 ml d'eau distillée pour le témoin (0% EM) et 15 ml de l'une des solutions d'eau de mer. La norme est de veiller à ce que les graines conservent une certaine humidité pendant toute la durée de l'expérience. Les boîtes de Pétri sont ensuite placées à

l'obscurité à température ambiante (25 ± 2 °C). Chaque concentration a été répliquée 5 fois avec une quantité de 10 graines dans chaque boîte de Pétri.

3.2.4 Paramètres étudiés

Les paramètres étudiés lors de ce travail sont :

Pourcentage final de germination : ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration en sel qui présente la limite physiologique de la germination des graines. Il est exprimé par le rapport nombre graines germées sur le nombre total de graines (Côme, 1970). La durée de l'essai a été fixée à la période de germination qui a duré plus de 15 jours.

Germination journalière moyenne (MDG) : selon Osborne *et al.* (1993), MDG est le rapport entre le pourcentage de germination final sur le nombre de jours jusqu'à la germination finale.

Longueurs des plantules (SL) : la longueur des plantules en centimètre (cm) est mesurée en utilisant un fil de coton à cause des courbes des plantules dans des boîtes de Pétri après 15 jours de semis.

3.2.5 Analyses statistiques

Les effets de l'écotype et de la concentration du sel sur les trois variables ont été testés par analyse de variance (ANOVA). Les différences entre les traitements après les ANOVA ont été réalisées par comparaison des moyennes. Des comparaisons multiples des moyennes ont été réalisées avec le test de Duncan ($p \leq 0,05$). Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS Version 9.0 (Statistical Analysis System) (2002).

3.3 Résultats

D'après le tableau 17 et le tableau 18, le pourcentage final de germination diffère significativement ($P < 0,0001$) entre les différentes concentrations de l'eau de mer. Les tests de germination ont montré que les graines d'*A. tortilis* ont germé à tous les niveaux de concentration sauf pour le traitement à 100% de l'eau de mer où aucune activité germinative n'a été observée. Le taux final de germination indique des pourcentages très proches de 100% et ce aux trois premiers traitements à l'eau de mer (10, 30 et 50%).

Tableau 17. Effet du NaCl sur le pourcentage final de germination (FGP), la germination journalière moyenne (MDG) des graines et la longueur des plantules (SL) d'*A. tortilis* (après 15 jours de traitement à l'eau de mer).

Eau de Mer (%)	FGP (%)	MDG (%)	SL (cm)
0	99 ^a	6,6 ^a	16,7 ^a
10	99 ^a	6,6 ^a	12,9 ^b
30	98 ^a	6,5 ^a	10,6 ^c
50	96 ^a	6,4 ^a	5,6 ^d
100	0 ^b	0 ^b	0 ^e

Les différentes lettres dans la même colonne indiquent une différence significative à $p \leq 0,05$, telle qu'évaluée par les tests de Duncan.

La germination journalière moyenne est un paramètre qui reflète clairement le comportement temporel des graines et ceci à diverses concentrations de l'eau de mer (0, 10, 30, 50, 100%) et après 15 jours de traitement. Le tableau 17 révèle que les trois concentrations d'eau de mer (10, 30 et 50%) ont des valeurs similaires.

Tableau 18. Analyse de la variance pour les paramètres étudiés pour *A. tortilis* en réponse aux différentes dilutions de l'eau de mer.

Paramètres	Source de Variables	DDL	Somme des carrés	Moyennes des carrés	F de Fisher
FGP	TRT (% of seawater)	4	38446,0	9611,5	1011,74***
MDG	TRT (% of seawater)	4	170,8	42,7	1011,74***
SL	TRT (% of seawater)	4	850,0	212,5	580,01***

*, **, ***: significant at 5%, 1% et 0.1% level, respectively; et ns: not significant. DDL : degré de liberté.

Tableau 19. Coefficient de corrélation de Pearson entre le pourcentage final de germination (FGP), germination journalière moyenne (MDG) et la longueur des plantules (SL) pour les graines d'*Acacia tortilis* exposées à différentes concentrations d'eau de mer.

	FGP	MDG	SL
FGP	1,0000	1,0000	0,7977
<i>P</i>		< 0,0001	< 0,0001
MDG	1,0000	1,0000	0,7977
<i>P</i>	< 0,0001		< 0,0001
SL	0,7977	0,7977	1,0000
<i>P</i>	< 0,0001	< 0,0001	

Les résultats obtenus montrent également que le stress salin induit par les différentes concentrations d'eau de mer agit sur la croissance en longueur des plantules d'*A. tortilis*. De plus, il existe une différence très significative ($P < 0,0001$) entre les moyennes de la longueur totale des plantules (Tableau 17, Tableau 18). Les résultats montrent que l'augmentation de la salinité agit négativement sur la longueur des plantules. En effet, avec un traitement à l'eau distillée (0% de l'eau de mer), les plantules ont montré une longueur appréciable par rapport aux autres concentrations. La longueur des plantules à 50% d'eau de mer a été réduite de 60% par rapport au témoin (Tableau 17).

3.4 Discussion

La salinité a été reconnue comme un problème majeur depuis des milliers d'années, en particulier dans les régions arides et semi-arides où il n'y a pas assez de pluie pour lessiver les sels dans la rhizosphère (Kempton et Atkins, 2000 ; Yadav *et al.*, 2011 ; Ingram, 2016). Les mécanismes d'adaptation à la salinité des *Acacia* ont été largement étudiés, mais la plupart des études ne concernaient que quelques espèces. Jusqu'à présent, les études comparatives des différentes espèces d'*Acacia* sur ce stress abiotique sont rares (Niknam et McComb, 2000 ; Levinsh, 2006 ; Abbas *et al.*, 2016).

Le présent travail a pour objectif de comparer la réaction des graines *A. tortilis* var. *raddiana* en estimant leur cinétique de germination et en considérant l'émergence des plantules dans des conditions salines à degré croissant, en utilisant l'eau de mer comme facteur limitant menant au stress salin. Estrelles *et al.* (2015) déclarent que le stress salin est le facteur essentiel qui limite la germination dans les régions arides et semi-arides. De plus, d'énormes progrès sont réalisés pour estimer les potentialités et l'utilisation des eaux hautement salées comme l'eau de mer pour l'irrigation de diverses espèces végétales (He et Cramer, 1992 ; Hu et Schmidhalter, 2005 ; Flowers et Colmer, 2015).

Nos résultats indiquent que l'augmentation de la concentration de l'eau de mer affecte la germination des graines, en particulier à la concentration la plus élevée (100%) où aucune germination n'a été observée. L'effet de la salinité externe sur la germination des graines peut être partiellement osmotique ou toxique par les ions, ce qui peut altérer les processus physiologiques tels que l'activation enzymatique (Hsiao *et al.*, 1976 ; Hajer *et al.*, 2006 ; Nawaz *et al.*, 2013). Dans nos tests, toutes les graines d'Acacia ont mieux germé dans des conditions non salines (0% de l'eau de mer) et des conditions salines (10, 30 et 50% de l'eau de mer). En effet, le pouvoir germinatif a été conservé jusqu'à 50% d'eau de mer avec un FGP de 96%.

D'après nos résultats, les graines d'*A. tortilis* germent en l'absence et/ou en présence d'une faible salinité, elles sont tolérantes en présence de sels ; mais cette tolérance diffère d'une espèce à l'autre car le sel joue un rôle déterminant pour la germination des graines (Kheloufi *et al.*, 2016a). Les travaux de Khan et Ungar (1991) affirment que la germination des graines dans l'environnement salin est variable et spécifique à l'espèce. Nielsen *et al.* (2003) ont montré que le seuil de la salinité conduit à une réduction significative de la germination de diverses espèces d'halophytes. En effet, l'augmentation de la concentration de l'eau de mer a affecté négativement les taux de germination, surtout à un niveau plus élevé (Sousa *et al.*, 2007).

Les graines n'ont pas pu germer à 100% d'eau de mer même après une durée de 15 jours d'incubation, une incapacité due à l'effet osmotique ou toxique de l'action du sel qui fait partie de la composition chimique de l'eau de mer. Effectivement, le sel affecte le contenu endogène de la graine dont les hormones de croissance (kinétine et acide gibbérellique) impliquées dans le processus de germination (Khan et Rizvi, 1994). Pendant la germination, l'émergence de la racine serait contrôlée par l'osmolarité du milieu, tandis que la croissance ultérieure des plantules serait limitée par la mobilisation et le transport des réserves vers l'axe embryonnaire (Gomes et Sodek, 1988). Un résultat similaire a été obtenu par (Boyko et Boyko, 1964 ; Ahmad et Ismail, 1993 ; Ashraf *et al.*, 2008) en étudiant d'autres espèces d'Acacia. D'après notre test, la croissance optimale des plantules a été dans un niveau 30% d'eau de mer. Cette réponse de la croissance à la salinité modérée peut être en grande partie la conséquence d'une absorption

plus élevée des nutriments dissous qui sont essentiels pour augmenter l'expansion des cellules, afin de maintenir le potentiel hydrique dans les tissus végétaux (Munns, 2002). Cette variation est caractérisée par une forte capacité d'absorption et une accumulation préférentielle du chlore et du sodium dans les plantules (Wakeel, 2013).

D'autre part, les longueurs des plantules à la fin de l'expérience varient en fonction du niveau de stress salin. Selon Rejili *et al.* (2010), les effets osmotiques se traduisent par l'incapacité des graines à absorber des quantités suffisantes d'eau pour les ramener à leur seuil critique d'humidité, une condition nécessaire à la libération du processus de germination. Cependant, les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie de la germination des graines, empêchent la levée de la dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination.

La teneur en eau des plantules est un bon indicateur de l'état hydrique, elle diminue légèrement chez les plantes soumises à un stress de salinité (Verslues *et al.*, 2006). L'absorption de l'eau est maintenue à un niveau suffisant pour éviter la déshydratation des tissus et être ainsi capable de diluer les sels introduits dans les cellules (Boyer *et al.*, 2008). Ces observations sont confirmées par les travaux de Guja *et al.* (2010). En effet, le stress salin conduit à des changements au niveau de l'état hydrique de la plante (Hasegawa *et al.*, 2000), réduit le contenu de l'eau et diminue la transpiration (Jogaiah *et al.*, 2014) et l'absorption par les racines (Alharby *et al.*, 2014). L'analyse de la teneur relative en eau permet de décrire globalement le statut hydrique de la plante et d'estimer la capacité à réaliser la meilleure osmorégulation et à maintenir la turgescence cellulaire (Kholodova *et al.*, 2002). Chaves *et al.* (2009) ont conclu que le stress salin est le résultat d'un déficit hydrique dans la plante sous forme de sécheresse physiologique. Ce stress osmotique se traduit essentiellement par l'accumulation toxique des ions dans les cellules et/ou une disproportion nutritionnelle due à un excès de certains ions (Aloui *et al.*, 2014).

L'utilisation de l'eau de mer dans l'agroforesterie offre une alternative d'irrigation dans les zones souffrant d'une déficience de pluviométrie ou de pénurie d'eau d'irrigation en particulier que ces espèces sont projetées pour la revégétalisation du littoral, une zone très proche d'une vaste source hydrique qui est l'eau de mer. Dans ce contexte, nous avons montré que l'irrigation avec de l'eau salée n'affectait pas la germination jusqu'à une concentration d'eau de mer diluée de moitié. Cependant, d'autres expériences sont nécessaires pour évaluer l'effet de l'irrigation à l'eau de mer in situ avec une évaluation à long terme. Pour cette raison, il est recommandé d'utiliser cette légumineuse forestière pour des programmes de boisement-reboisement en utilisant de l'eau douce mélangée à de l'eau de mer méditerranéenne.

Chapitre V – Effet de la salinité sur les paramètres morpho-physiologiques, biochimiques et anatomiques chez les plantes d'*A. karroo* et *A. saligna*

1 Objectif de l'étude

En Algérie, il a été rapporté que les semences d'*A. karroo* pouvaient germer sous 400 mM de NaCl avec 66% de germination finale (Kheloufi *et al.*, 2017) mais *A. saligna* ne pouvaient germer qu'à 150 mM avec seulement 18% de germination finale (Kheloufi *et al.*, 2016a). En effet, dans le chapitre III, nous avons montré que *A. karroo* était l'espèce la plus tolérante au sel par rapport à *A. saligna* dont les semences se sont montrées sensibles au stade de germination. Le classement des espèces étudiées dans un ordre de tolérance décroissant, sur la base de leur capacité germinative, est alors le suivant : *A. karroo* > *A. tortilis* > *A. saligna*. *A. saligna* semble très sensible par rapport aux deux autres espèces mais elle arrive à avoir le statut d'une glycophyte tolérante au sel. Cependant, le statut de 'Sensible' n'est donné qu'à titre de comparaison entre *A. saligna* et *A. karroo*. Effectivement, *A. saligna* est bel et bien une glycophyte tolérante au sel et qui pourrait elle aussi contribuer à la revégétalisation des sols affectés par une salinité modérée (Mansouri, 2011 ; Sekkour, 2008, Boukhatem *et al.*, 2012). Ainsi, l'introduction d'*A. karroo* et/ou d'*A. saligna*, en tant qu'espèces tolérantes au sel, pourrait constituer une stratégie importante pour la conservation de l'écologie et de la production de bois dans les régions algériennes affectées par le sel. De plus, aucune étude n'a été entreprise au niveau la caractérisation de la tolérance au sel afin de comprendre les mécanismes associés à l'adaptation d'*A. karroo* et d'*A. saligna* sous stress salin. Par conséquent, dans la présente étude, nous avons cherché à examiner les effets de divers niveaux de salinité sur certains paramètres morpho-physiologiques, biochimiques et anatomiques chez les plantules d'*A. karroo* et d'*A. saligna*.

Il est à noter que *A. tortilis* a été exclu de cette étude à cause de sa croissance très lente, et donc de sa très faible masse végétative qui devaient être suffisante pour certains nombres d'analyses.

2 Matériel et Méthodes

2.1 Matériel végétal, conditions de croissance et traitement au sel

Les semences d'*A. karroo* Hayne ont été récoltées de la région de Aïn El Baïda (Oran, Algérie) (latitude : 35°39'34.96" N ; longitude : 0°40'4.68" O ; altitude : 136 m) et celles d'*A. saligna* de la région de Terga (Aïn Témouchent, Algérie) (latitude : 35°26'32.26"N ; longitude : 1°13'42.80"O ; altitude : 2 m). Les gousses ont été récoltées à partir de 10 arbres et les graines ont ensuite été mélangées afin d'obtenir un échantillon homogène. Les poids de 1000-graines d'*A. karroo* et d'*A. saligna* sont de 39 g et 15 g, respectivement. Le tamisage et

la flottaison ont été utilisés pour trier les graines. Les graines propres sont ensuite étalées sur du papier filtre pour sécher. Une fois séchées, les graines subissent un traitement chimique consistant en une immersion dans de l'acide sulfurique à 96% pendant 30 min pour les semences d'*A. karroo* et 90 min pour celles d'*A. saligna* suivie d'un rinçage à l'eau distillée (Kheloufi *et al.*, 2017b, Kheloufi, 2017). Les graines des acacias ont besoin de ce pré-traitement pour lever l'inhibition tégumentaire et induire un taux de germination élevé et homogène en une durée de temps réduite (Kheloufi, 2017).



Figure 26. Dispositif expérimental et différents stades de développement des plantules d'*A. karroo*



Figure 27. Dispositif expérimental et différents stades de développement des plantules d'*A. saligna*

Les graines sont mises à germer dans des pots en plastique (Diamètre supérieur : 10 cm, Diamètre inférieur : 7 cm, Hauteur: 14 cm) contenant 1 kg de substrat mélangé (deux volumes de sable mélangés avec un volume de compost) ($EC = 49 \text{ mS.m}^{-1}$; $pH = 6.2$; $N = 89 \text{ g.m}^{-3}$;

$P_2O_5 = 42 \text{ g.m}^{-3}$; $K_2O = 27 \text{ g.m}^{-3}$) et arrangés selon une randomisation complète avec quatre répétitions dans des conditions de serre (Température : $25^\circ\text{C} (\pm 2^\circ\text{C})$, Humidité : 30%) (Figure 26, Figure 27). Le sable a été tamisé à 2 mm pour éliminer les déchets et les cailloux, puis lavé à plusieurs reprises avec de l'esprit de sel, en passant à la fin par plusieurs lavages à l'eau courante afin d'éliminer tous les carbonates et les chlorures.

Tableau 20. Préparation de la solution saline et potentiel hydrique correspondant.

NaCl (mM)	NaCl (g/L)	Ψ_{os} Level (MPa) (Braccini <i>et al.</i> , 1996)
0	0	0
200	11,68	-0,83
400	23,37	-1,67
600	35,06	-2,50

Des plantes saines de trois mois (90 jours) de tailles uniformes ont été choisies comme matériel initial et ont été cultivées dans le milieu nutritif de KNOP. Les plantes ont été soumises à un traitement au sel en complétant le milieu nutritif avec du chlorure de sodium (NaCl) avec des concentrations variées (200, 400 and 600 mM) (Tableau 20). Les plantes témoins ont été cultivées dans le milieu nutritif dépourvu de NaCl. Les solutions nutritives ont été remplacées par des solutions fraîchement préparées tous les 7 jours.

Après 21 jours de traitement au sel, des échantillons de feuilles, de tiges et de racines ont été récoltés sur des plantes témoins et des plantes traitées au NaCl pour l'estimation de divers paramètres morpho-physiologiques, biochimiques et anatomiques. Des feuilles occupant la même position ont été échantillonnées à partir de plantes témoins et de plantes traitées au NaCl pour l'estimation des teneurs en pigments photosynthétiques.

Il faut préciser que pour chaque mesure ou dosage, un nombre de 4 répétitions a été utilisé. En outre, et afin d'assurer l'étude de l'effet de la salinité sur tous les paramètres avec les mêmes conditions de croissance et de développement, un nombre considérable de plantes a été utilisés (72 plantes \times 4 traitements \times 2 espèces).

2.2 Mesure des paramètres morphologiques

La longueur totale de la tige (LT), la longueur totale de la racine (LR), le nombre de feuilles par plante (NF) et le diamètre au collet (DC) de quatre plantes ($n=4$) de chaque traitement ont été estimés après 21 jours de traitement. Pour mesurer les poids frais et secs, les différents organes de la plante ont été séparés des plantes témoins et celles traitées au NaCl et le poids frais a été noté immédiatement. Plus tard, ils ont été enveloppés dans des feuilles d'aluminium et étuvés dans un incubateur à 80°C pendant 48 h avant que le poids sec ne soit enregistré. La surface totale de feuilles vertes par plante a été mesurée chez les plantes

témoins et les plantes traitées au NaCl, en utilisant le logiciel Image Analysis System Digimizer (version 4.6.1, MedCalc Software, Belgium).

2.3 Mesure des paramètres physiologiques

2.3.1 Indice de tolérance au sel (STI)

L'indice de tolérance au sel (STI) a été calculé en utilisant la formule suivante développée par Seydi (2003) :

$$STI = \frac{TDW \text{ à } Sx}{TDW \text{ à } SI} \times 100$$

TDW : Poids sec total de la plante (Etuve à 80 °C pendant 48h)

SI: Traitement témoin

Sx: Traitement à une concentration de sel 'x'

2.3.2 Surface de la masse foliaire

La surface de la masse foliaire (LMA) a été calculé en utilisant la formule de (Hernández et Kubota, 2016) :

$$LMA \text{ (mg/cm}^2\text{)} = \frac{LDW}{LA}$$

LDW: Poids sec de la feuille (mg) (Etuve à 80 °C pendant 48h)

LA: Surface de la feuille (cm²)

2.3.3 Teneur relative en eau des feuilles

Le poids frais de la feuille (LFW) a été immédiatement enregistré après l'échantillonnage puis la feuille a été immergé dans de l'eau distillée pendant 8 h à la température ambiante. Les feuilles issues de chaque traitement ont ensuite été séchées et le poids des feuilles (LTW) a été noté avant un étuvage à 80 °C pour une durée de 48 h. Après étuvage, le poids sec des feuilles (LDW) a également été enregistré.

Le RWC a été calculée en utilisant la formule suivante (Barrs et Weatherley, 1962) :

$$RWC \text{ (\%)} = \left[\frac{(LFW - LDW)}{(LTW - LDW)} \right] \times 100$$

2.3.4 Perte graduelle en eau

La perte graduelle en eau (RWL) a été calculé en utilisant la formule élaborée par Clarke *et al.* (1989) :

$$RWL \text{ (mg/cm}^2 \cdot \text{min)} = \frac{(FW - FW_{2h})/DW}{LA \times 120}$$

FW : Poids frais des feuilles déterminé immédiatement après la récolte des feuilles

FW_{2h} : Poids frais des feuilles mesuré après 120 min en condition de laboratoire (surface des limbes dégagée)

DW : Poids sec mesuré après séchage à l'étuve à 50 °C pendant 2 heures.

LA : Surface de la feuille (cm²).

2.4 Mesure des paramètres biochimiques

2.4.1 Les pigments photosynthétiques

Les Chlorophylles (Chl a, Chl b and Chl Total) et les caroténoïdes ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ LFW) ont été extraits à 100% d'acétone à partir d'échantillons de feuilles fraîches (LFW). Après centrifugation (10 000 rpm pour 5 min), les surnageants ont été utilisés pour l'analyse des pigments. Les absorbances ont été déterminées à 645, 652, 662 et 470 nm, respectivement, utilisant un spectromètre à UV/visible (4-16K, Sigma) et les équations suivantes ont été utilisées pour les différents calculs (Lichtenthaler et Wellburn, 1983):

$$\text{Chl Total} = \frac{A_{652} \times 27.8 \times 20}{\text{mg LFW}}$$

$$\text{Chl a} = \frac{[(11.75 \times A_{662}) - (2.35 \times A_{645})] \times 20}{\text{mg LFW}}$$

$$\text{Chl b} = \frac{[(18.61 \times A_{645}) - (3.96 \times A_{662})] \times 20}{\text{mg LFW}}$$

$$\text{Car} = \frac{[(1000 \times A_{470}) - (2.27 \times \text{Chl a}) - (81.4 \times \text{Chl b})]/227 \times 20}{\text{mg LFW}}$$

2.4.2 Teneur en ions

Vingt et un jours après le début des traitements au NaCl, quatre plantes ont été retirées de chaque traitement pour les mesures de ces paramètres. La biomasse sèche a été mesurée à 60 °C pendant 48 h. Cette biomasse finement broyée et étuvée (0.1 g) a été digérée pendant une nuit avec 25 mL de $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ HNO_3 à température ambiante (John *et al.*, 2003). La teneur en ions de l'extrait acide a été déterminée à l'aide d'un spectromètre à plasma à couplage inductif (ICP, OPTIMA 3,300DV, Perkin Elmer, Kleve, Germany).

2.4.3 Proline foliaire

L'échantillon de feuille (0.5 g) des plantes témoins et traitées avec du NaCl a été extrait dans de l'acide sulfosalicylique à 3% et la teneur en proline a été estimée selon la méthode de Ringel *et al.* (2003) utilisant un réactif acide-ninhydrine. Les échantillons de feuilles pré-pesés ont été homogénéisés dans 5 ml d'acide sulfosalicylique à 3% (p/v) fraîchement préparé, puis centrifugés à 15000 g pendant 10 min. Le surnageant (1 mL) a été recueilli dans un tube à essai et à cela ont été ajoutés 1 ml de réactif acide-ninhydrine et 1 ml d'acide acétique glacial. Pour initier la réaction, le mélange a été bouilli à 99 °C pendant 1 heure.

Au bout d'une heure, la réaction a été achevée en maintenant immédiatement les tubes à essai dans un bon bain. Après un moment, 2 mL de toluène y ont été ajoutés et soumis à un vortex pendant environ 10 à 20 s.

Le mélange ayant réagi a ensuite été laissé au repos jusqu'à ce qu'il apparaisse comme biphasique. Le chromophore contenant du toluène a été aspiré de la phase aqueuse dans un flacon. Des aliquotes d'extraits de toluène de 200 microlitres ont été transférées dans une microplaque à 96 puits et l'absorbance a été prélevée à 520 nm à l'aide d'un lecteur de microplaques. La teneur en proline a été calculée à partir d'une courbe standard préparée contre L-Proline (0-100 mg).

2.4.4 Extraction d'échantillons pour l'estimation de divers métabolites

Les tissus des feuilles des plantes témoins et traitées avec du NaCl ont été séchés dans une étuve à 80 °C pendant 72 h. Le tissu séché a été pesé et ensuite broyé en poudre dans un broyeur à boulets. La poudre a été dissoute dans 10 ml d'éthanol chauffé à 80% et soumise à un tourbillonnement.

Ces extraits éthanoliques ont ensuite été centrifugés à 10000 g pendant 10 min à température ambiante et le surnageant a été recueilli.

Le culot a été ré-extrait deux fois à nouveau avec de l'éthanol réchauffé à 80% et les surnageants ont été rassemblés. Environ 10 ml d'extrait éthanolique préparé ci-dessus ont été évaporés à sec et les résidus ont été dissous à nouveau dans 10 ml d'eau MilliQ et ensuite conservés sur un agitateur rotatif pendant 2h.

Les solutions ont ensuite été filtrées à l'aide d'un papier filtre Whatman N°1 et le filtrat a été utilisé pour l'estimation de différents métabolites.

2.4.4.1 Protéines solubles

Les feuilles sont broyées à 4 °C dans du Tris 0.5M (pH 6,8). Après centrifugation (10000 g pendant 15 min), les protéines sont précipitées en amenant le surnageant à 10 p. 100 d'acide trichloracétique et en le laissant dans un bain de glace pendant 15 min. Les protéines sont récupérées par une nouvelle centrifugation. Le NaOH 1M est utilisé pour faciliter la mise en solution des protéines car celles-ci forment un culot compact difficile à resolubiliser. La solution est ensuite neutralisée par addition de Tris 1M (pH 8) et d'HCl 12M et le contenu en protéines est déterminé suivant Bradford (1976).

2.4.4.2 Acides aminés libres totaux

Les acides aminés libres totaux ont été extraits et déterminés selon les méthodes décrites précédemment par Yemm *et al.* (1955).

Dix millilitres d'extrait éthanolique préparé précédemment ont été évaporés à sec et les résidus ont été dissous dans 10 ml de tampon au citrate de sodium 0,2 M (pH 5,0) et ensuite

maintenus sur un agitateur rotatif pendant 2 h. Les solutions ont ensuite été filtrées sur du papier filtre Whatman N°1 et le filtrat a été utilisé pour l'estimation de l'acide aminé total.

Un millilitre du filtrat ci-dessus, auquel est ajouté 1 ml d'agent ninhydrine à 4% préparé dans une solution de Méthyl Cellosolve (Ethylene Glycol Monomethyl Ether) et du tampon acétate de sodium 0,2 M dans un rapport de 1:1, puis agité au vortex.

Les échantillons ont été finalement bouillis pendant 20 min puis refroidis. Le volume a été complété à 10 ml avec de l'eau MilliQ.

L'absorbance a été enregistré à 570 nm et une courbe standard a été tracée avec de la glycine (0-100 mg) pour calculer les acides aminés libres totaux.

2.4.4.3 Amidon

La teneur en amidon a été extraite et estimée en suivant la méthode décrite par Hansen et Møller (1975). Les extraits d'acide perchlorique (PAE) préparés précédemment ont été dilués à 20 fois avec de l'eau MilliQ avant l'estimation de l'amidon. Cinq cent microlitres de PAE dilué ont été distribués dans des éprouvettes maintenues dans un bain de glace. On y a ajouté 2 ml de réactif anthrone-acide sulfurique pré-refroidi à 0,2% et on l'a agité au vortex. La réaction a été initiée en maintenant les échantillons au bain-marie bouillant pendant 10 min. Les échantillons bouillis ont ensuite été conservés dans un bain de glace pour terminer la réaction.

L'absorbance a été enregistrée à 630 nm en utilisant un lecteur de microplaques (Epoch™, BioTek, USA). Pour déterminer la concentration en amidon, une courbe standard a été tracée avec 0-100 mg de glucose et la valeur obtenue a été multipliée par 0,9 pour la conversion de la valeur du glucose en amidon.

2.4.4.4 Total des sucres réducteurs

La teneur en sucres réducteurs a été estimée par une méthode au cuivre alcalin en utilisant un réactif à l'arsenomolybdate décrit précédemment par Green *et al.* (1989). Le réactif de tartarate de cuivre alcalin (ACT) a été préparé en mélangeant un réactif de tartarate alcalin (2,5% de Na₂CO₃, 2% de NaHCO₃ et 2,5% de tartarate de sodium et de potassium) avec du réactif au cuivre (15% de CuSO₄ contenant une goutte de H₂SO₄) dans un rapport de 24:1.

Pour préparer le réactif arsenomolybdate, 2,5 g de molybdate d'ammonium ont été dissous dans 45 ml d'eau avec addition de 2,5 ml de H₂SO₄. Enfin, 0,3 g d'hydrogénarsénate disodique dissous dans 25 ml d'eau ont été ajoutés au mélange et conservés. Pendant ce temps, 10 ml d'extrait éthanolique préparé précédemment ont été évaporés à sec, puis refroidis à la température ambiante.

Les aliquotes (2 ml) d'extraits aqueux préparés ci-dessus ont été prélevés dans un tube à essai auquel 1 ml d'ACT a été ajouté et mélangé. Le mélange réactionnel a ensuite été bouilli pendant 10 min et refroidi. Enfin, 1 mL de réactif arsenomolybdate a été ajouté et soumis à un vortexage et l'absorbance a été enregistrée à 510 nm.

La teneur en sucres réducteurs a été déterminée à partir d'une courbe standard préparée contre du glucose pur (0-50 mg).

2.5 Mesure des paramètres anatomiques

Des ajustements atomiques induits par la salinité ont été déduits en sectionnant les tiges et les racines à l'aide d'une lame de rasoir (Gillette).

Les sections des plantes témoins et traitées avec du NaCl ont été observé immédiatement après leur sectionnement.

1.5 cm en dessous de la pointe racinaire et 1.5 cm de l'apex caulinaire.

Toutes les sections ont été observées sans coloration sous microscope optique à 40X de grossissement. Ce microscope possède une caméra intégré relié à un ordinateur. Les meilleures observations sont capturées sous forme d'images. Ces images ont fait l'objet de plusieurs analyses dimensionnels.

Pour les coupes transversales de la tige :

ST : Surface de la tige (mm²)

PT : Périmètre de la tige (mm)

ECT : Epaisseur du cortex de la tige (mm)

SST : Surface de la stèle de la tige (mm²)

PST : Périmètre de la stèle de la tige (mm)

SMT : Surface de la moelle (mm²)

Pour une observation de profil de la racine :

ER : Epaisseur de la racine (mm)

ECR : Epaisseur du cortex de la racine (mm)

ESR : Epaisseur de la stèle de la racine (mm)

Ont été réalisées avec le logiciel Motic Image Plus 2.0 (Motic Instruments Inc, Canada).

2.6 Analyses statistiques

Toutes les expériences ont été menées avec quatre répétitions (n = 4) et les résultats ont été exprimés en moyenne (\pm écart-type) (SD). Toutes les données ont été soumises à une analyse de variance à un seul facteur (Traitement) et à deux facteurs (Traitement et Espèce) (ANOVA) et au test à comparaison multiples de Duncan ($p < 0,05$) en utilisant le logiciel SAS Version 9.0 (Statistical Analysis System) (2002). Les graphiques ont été réalisés avec Excel 2016.

3 Résultats et discussion

3.1 Paramètres morphologiques

L'effet du chlorure de sodium a été très significatif sur la longueur des racines ($p = 0.0122$) et sur le nombre des feuilles par plante ($p = 0.0210$). Cependant, aucun effet n'a été exercé au niveau de la taille des tiges ($p = 0.1566$) et du diamètre au collet ($p = 0.5858$) (Tableau 21, Figure 28, Figure 29). D'après le même tableau, une différence significative existe également dans la réponse au stress salin entre les plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* et ceci pour tous les paramètres morphologiques étudiés. En effet, chez *A. karroo*, l'augmentation de la salinité a pu réduire la longueur des racines de 10 cm au niveau des concentrations moyennes et élevées de NaCl (Figure 30).



Figure 28. Plantes d'*Acacia karroo* âgées de 111 jours et cultivées sous différents niveaux de salinité (0, 200, 400 et 600 mM NaCl) durant 21 jours de traitement.



Figure 29. Plantes d'*Acacia saligna* âgées de 111 jours et cultivées sous différents niveaux de salinité (0, 200, 400 et 600 mM NaCl) durant 21 jours de traitement.

La réduction de la hauteur des plantes et d'autres paramètres de croissance sont les effets les plus distincts et les plus évidents du stress dû au sel, car l'inhibition de la croissance est probablement la réponse la plus générale des plantes au stress (Munns et Tester, 2008).

Cependant, la longueur des racines chez *A. saligna* a pu être maintenu plus au moins constante pour l'ensemble des traitements salins (Figure 30).

Globalement, les plantes d'*A. karroo* ont enregistrées les meilleurs chiffres que ce soit avec ou sans traitement au NaCl pour tous les paramètres morphologiques étudiés. Néanmoins, les plantes d'*A. saligna* ont conservé leur morphologie stable sous les différents degrés de sel par rapport au témoin (Figure 30).

Tableau 21. Analyse de la variance des effets de la salinité sur la longueur des tiges (LT), la longueur des racines (LR), le nombre de feuilles par plante (NFP), et le diamètre au collet (DC) chez deux espèces d'acacias (SP) soumises au traitement salin (TRT).

Paramètres	Sources de variables	Degré de Liberté	Somme des Carrées	Carré moyen	F de Fisher	P
LT	TRT	3	33,47	11,15	1,90	0,1566
	SP	1	124,74	124,74	21,24	0,0001
	TRT×SP	3	8,54	2,84	0,49	0,6958
LR	TRT	3	191,15	63,71	4,50	0,0122
	SP	1	1849,38	1849,38	130,55	< 0,0001
	TRT×SP	3	129,82	43,27	3,05	0,0478
NFP	TRT	3	30,75	10,25	3,90	0,0210
	SP	1	112,50	112,50	42,86	< 0,0001
	TRT×SP	3	7,75	2,58	0,98	0,4168
DC	TRT	3	0,001	0,0004	0,66	0,5858
	SP	1	0,005	0,0057	8,87	0,0065
	TRT×SP	3	0,006	0,0023	3,53	0,0299

Dans cette étude, tous les résultats ont indiqué que différentes contraintes de croissance ont été significativement affectées par le stress salin chez *A. karroo*, à l'exception de la longueur de la tige. La croissance ralentie due à une salinité élevée est attribuée à plusieurs facteurs tels que le stress osmotique, la toxicité spécifique des ions et le déséquilibre ionique, ainsi que les carences nutritionnelles induites (Giri *et al.*, 2003 ; Morant-Manceau *et al.*, 2004 ; Meloni *et al.*, 2008). La racine est le premier organe qui interagit avec le sel et il est presque inévitable que les cultures soient affectées par la concentration en sel. Par conséquent, les résultats obtenus dans la présente étude concordent avec des études antérieures sur des plantes d'*A. karroo* et d'autres espèces du même genre, signalant l'effet négatif de la salinité sur la taille de la plante : Kheloufi *et al.*, 2016a (*A. saligna* et *A. decurrens*) ; Kheloufi *et al.*, 2016b (*A. tortilis*, *A. ehrenbergiana* et *A. dealbata*), Kheloufi *et al.*, 2017 (*A. karroo*) ; Rahman *et al.*, 2017 (*A. auriculiformis*) et Theerawitaya *et al.*, 2015 (*A. ampliceps*). Le retard de la croissance des racines sous stress salin est dû à la réduction de la turgescence des cellules racinaires (Bradford, 1995 ; Saroj et Soumana, 2014). L'effet toxique du sel ainsi que l'inhibition de la cytokinèse et l'expansion des cellules sont les raisons pour lesquelles la longueur des racines et des pousses est affectée négativement (Kurum *et al.*, 2013).

L'augmentation de la pression osmotique autour des racines en raison de l'environnement salin peut également empêcher l'absorption de l'eau par les racines et avoir des conséquences sur la réduction de leur taille (Aroca *et al.*, 2011).

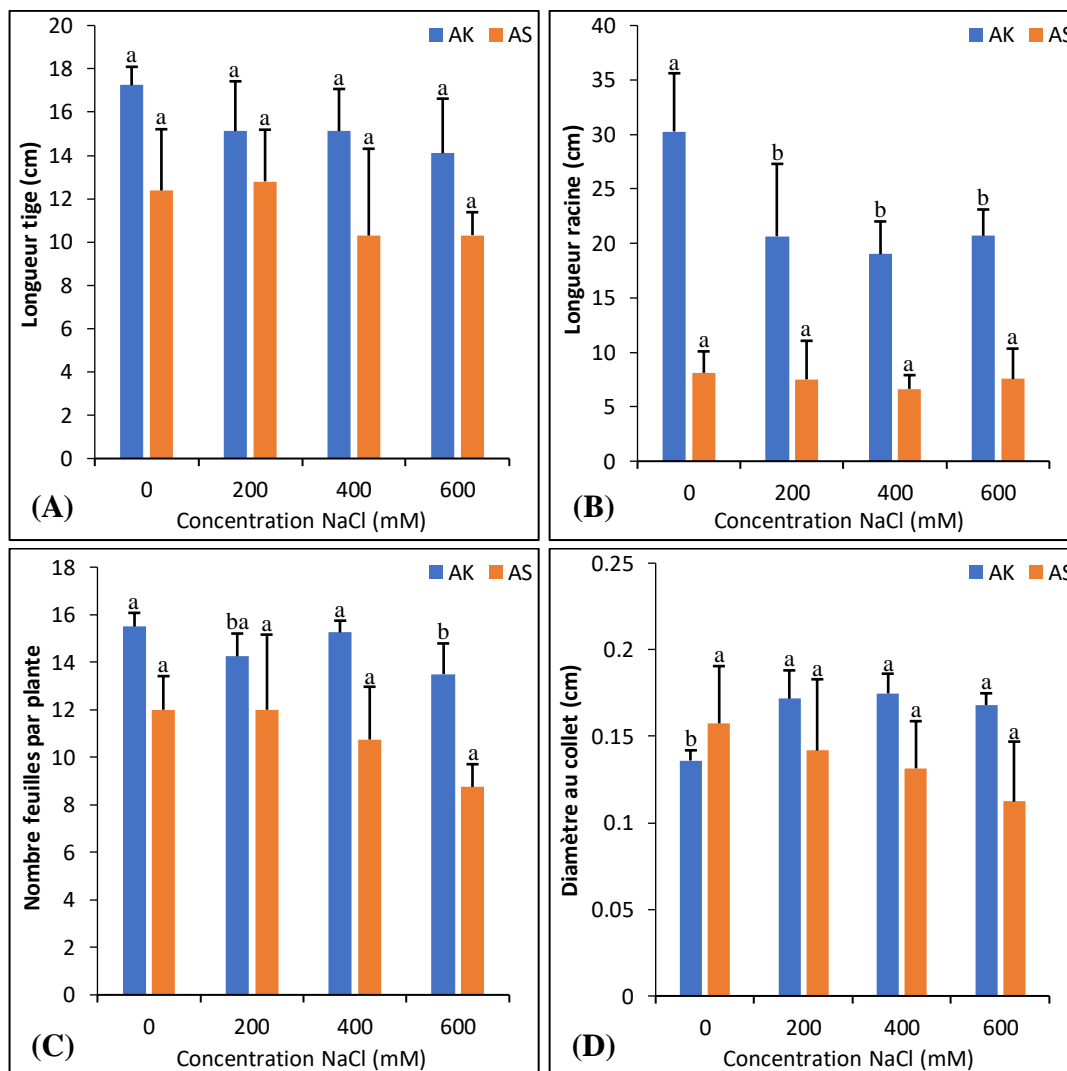


Figure 30. Effets du stress salin sur (A) la longueur des tiges, (B) la longueur des racines, (C) le nombre de feuilles par plante et (D) le diamètre au collet des plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* après 21 jours de traitement salin à différents niveaux. Pour chaque espèce, les moyennes avec des lettres similaires au niveau de chaque histogramme ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5% (Test de Duncan).

Chez les plantes d'*A. karroo*, le nombre de feuilles a été maintenu constant à 200 et 400 mM mais a été réduit de deux feuilles à 600 mM de traitement au NaCl. Chez la même espèce, le diamètre au collet est le paramètre le plus affecté et a montré une augmentation parallèle à l'augmentation de la concentration en sel (Figure 30). La salinité entraîne généralement un relâchement biochimique de la paroi cellulaire sous la pression de la turgescence, ce qui déclenche l'expansion cellulaire suivie d'une absorption de l'eau et du soluté, ainsi qu'une augmentation de la succulence (Chen *et al.*, 2015). Dans cette étude, une augmentation du diamètre au collet (30%) sous stress salin léger et élevé chez cette espèce tolérante au sel peut être vitale en cas de sécheresse physiologique pour un meilleur stockage

de l'eau, ce qui constitue une adaptation à la dilution ionique afin de minimiser l'effet du Na^+ et Cl^- dans les tissus végétaux (El-Lamey, 2015). La réduction de la taille des cellules a également été attribuée à la capacité de la plante à réduire sa taille afin de minimiser l'absorption du sel (Zapryanova et Atanassova, 2009). La réduction de la biomasse peut être accentuée avec l'augmentation de la salinité, ce qui est évident en raison de perturbations des activités physiologiques et biochimiques dans des conditions salines, comme le montrent Vinocur et Altman (2005) et cela peut être dû à la réduction de la surface foliaire et du nombre de feuilles.

3.2 Paramètres physiologiques

L'effet du NaCl, de l'espèce ainsi que de leur relation (TRT×SP) a été très hautement significatif sur la perte graduelle en eau ($p < 0.0001$) ainsi que sur le contenu relatif en eau ($p < 0.0001$) (Tableau 22).

Tableau 22. Analyse de la variance des effets de la salinité sur la surface massique foliaire (LMA), la perte graduelle en eau (RWL), le contenu relatif en eau (RWC) et l'indice de tolérance à la salinité (STI) chez deux espèces d'acacias (SP) soumises au traitement salin (TRT).

Paramètres	Sources de variables	Degré de Liberté	Somme des Carrées	Carré moyen	F de Fisher	P
LMA	TRT	3	180,96	60,32	10,24	0,0002
	SP	1	11,63	11,63	1,98	0,1726
	TRT×SP	3	31,28	10,42	1,77	0,1796
RWL	TRT	3	1818,30	606,10	12,48	< 0,0001
	SP	1	7550,02	7550,02	155,41	< 0,0001
	TRT×SP	3	956,84	318,94	6,57	0,0021
RWC	TRT	3	233,93	77,97	4008,99	< 0,0001
	SP	1	33,06	33,06	1699,73	< 0,0001
	TRT×SP	3	4,20	1,40	72,05	< 0,0001
STI	TRT	3	7804,64	2601,54	12,10	< 0,0001
	SP	1	10615,45	10615,45	49,38	< 0,0001
	TRT×SP	3	3909,26	1303,08	6,06	0,0032

Le STI, un critère fiable pour la détermination de la tolérance au sel (Ali *et al.*, 2013), n'a pas été affecté par le stress salin à des niveaux bas et élevés ($p < 0.0001$) sauf qu'il existe une différence très hautement significative entre les deux espèces étudiées ($p < 0.0001$) (Tableau 22). En effet, chez *A. karroo*, l'augmentation de la salinité n'a eu aucun effet sur la biomasse sèche totale (Figure 31). Chez les plantes d'*A. saligna*, le STI a connu une réduction de 50% à 200 et 400 mM de NaCl, et cette réduction a atteint les 70% à 600 mM de NaCl (Figure 31). Un STI très élevé et stable au stade de croissance des plantules fait intervenir des mécanismes clés de la tolérance au sel et ces mécanismes peuvent être associés à (i) accumulation de solutés compatibles

comme la proline, les sucres totaux, les sucres réducteurs et les acides aminés libres totaux ; (ii) augmenter la quantité du K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} dans les feuilles que les racines; (iii) augmenter la rétention de K^+ dans les tissus photosynthétiques en empêchant l'absorption de Na^+ ; (iv) ajustement anatomique en augmentant la taille du tissu parenchymateux et spongieux des feuilles, l'épaisseur endodermique des tiges et des racines et la moelle des racines; (v) une séquestration efficace du Na^+ dans les vacuoles qui serait facilitée par une diminution de la densité stomatique et (vi) l'exclusion renforcée du Na^+ (Rahman *et al.*, 2017).

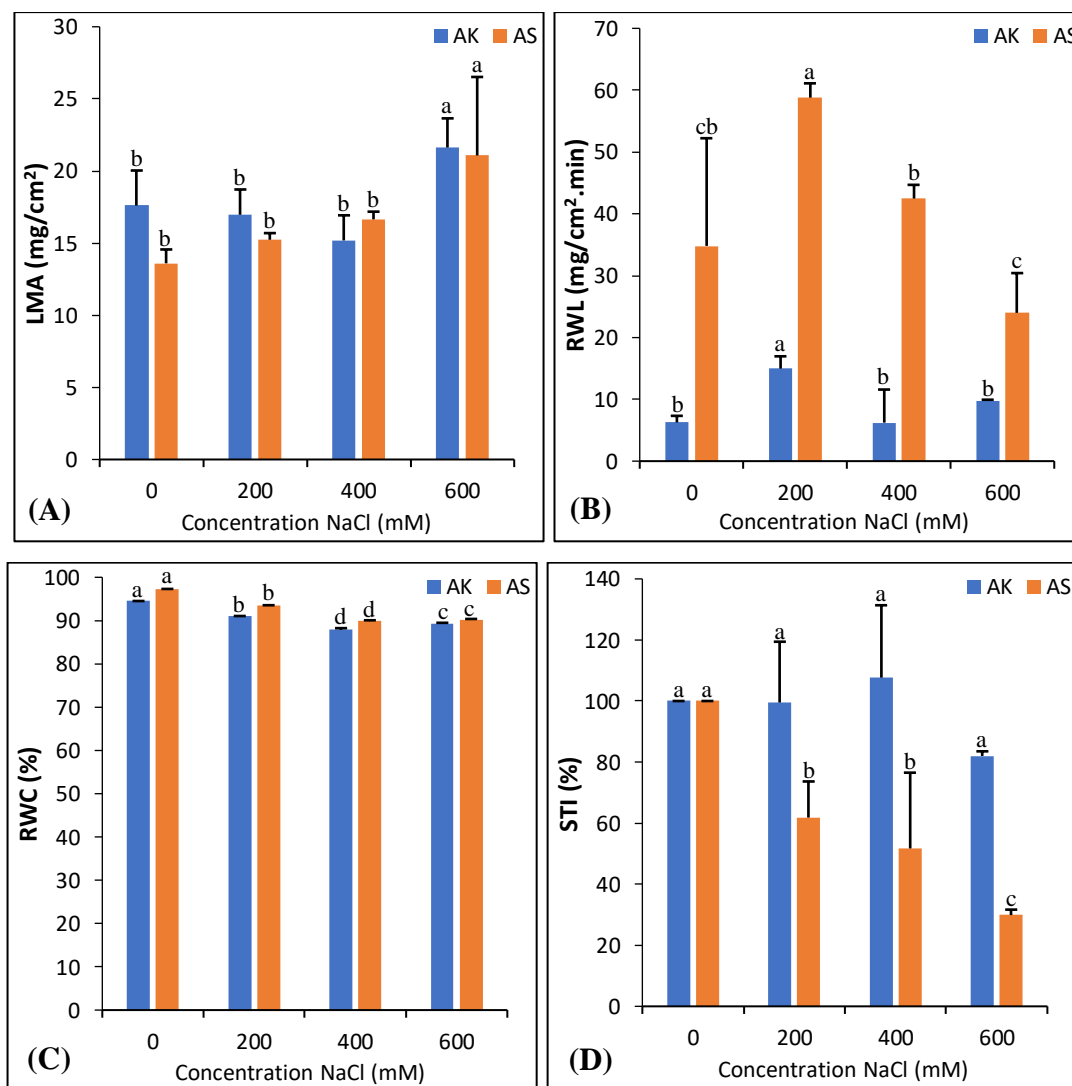


Figure 31. Effets du stress salin sur (A) la surface massique foliaire, (B) la perte graduelle en eau, (C) le contenu relatif en eau et (D) l'indice de tolérance à la salinité des plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* après 21 jours de traitement salin à différents niveaux. Pour chaque espèce, les moyennes avec des lettres similaires au niveau de chaque histogramme ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5% (Test de Duncan).

L'analyse de la figure 31 montre la surface massique foliaire des deux espèces d'acacias a été significativement affecté par la salinité (Table 2). Chez les deux espèces, le LMA n'a pas été affecté par la salinité à 200 et 400 mM par rapport au témoin mais a été

amélioré de 22% à 600 mM de NaCl chez *A. karroo* et de 55% chez *A. saligna*. Nos résultats sont incompatibles avec ceux de Munns et Termaat (1986) et ceux de Franco *et al.* (1997) qui ont rapporté que le NaCl cause une réduction de la surface massique foliaire. La masse foliaire par unité de surface est un paramètre structural très important. Il est non seulement étroitement lié à de nombreuses réactions physiologiques des plantes, mais peut aussi mesurer l'investissement en masse sèche par unité de surface foliaire qui intercepte la lumière (Poorter *et al.*, 2009). Il est considéré comme un indicateur important des stratégies d'adaptation écologiques des plantes et a été largement étudié en écophysiologie végétale, en agronomie et en foresterie (Liu et Liang, 2016).

Chez les deux espèces, le RWC diminue légèrement avec l'augmentation des niveaux de salinité (Figure 31). En effet, les traitements au NaCl n'ont pas provoqué de changement notable dans la teneur relative en eau des feuilles des plantes, ce qui indique une résistance relativement élevée à la déshydratation qui contribuera certainement à une certaine tolérance au sel. La tolérance au sel dépend également de la capacité de la plante à accumuler du Na⁺ et du Cl⁻ dans la vacuole afin d'éviter d'atteindre des concentrations toxiques dans le cytoplasme, un mécanisme particulièrement efficace chez certains dicotylédones halophytes (Haque *et al.*, 2016).

D'après la figure 31, la RWL chez les feuilles d'*A. saligna* indiquent des valeurs très élevées par rapport à celles d'*A. karroo*. Chez les feuilles d'*A. karroo*, la perte graduelle en eau à partir de feuilles isolées a significativement augmenté de 8 mg/cm².min à 200 mM de NaCl puis cette transpiration a commencé à diminuer et se stabiliser sous les autres concentrations de NaCl par rapport au témoin (Figure 31). Cette amélioration pourrait être due à la fermeture stomatique, elle induira généralement la limitation des échanges gazeux et modifiera le taux de photosynthèse et de métabolisme (Wang et Nii, 2000). La RWL a été suggéré comme une technique d'examen fondamental pour identifier les génotypes sous stress hydrique et salin (Gunes *et al.*, 2008). En effet, ce paramètre est une mesure directe du déficit en eau des plantes et un bon critère pour la sélection de plantes tolérantes à la sécheresse (Farshadfar *et al.*, 2001).

Chez les feuilles d'*A. saligna*, le même processus se déroule en tendant à diminuer la RWL qui avait doublé à 200 mM de NaCl en la réduisant même en dessous de la valeur enregistrée chez les feuilles témoins.

3.3 Paramètres biochimiques

3.3.1 Effet de la salinité sur les pigments photosynthétiques/assimilateurs

La chlorophylle 'a' est le pigment photosynthétique principal tandis que la chlorophylle 'b' est un pigment accessoire. Les résultats de l'ANOVA pour les effets majeurs de la salinité ont montré un effet très hautement significatif ($p < 0.0001$) concernant les facteurs 'TRT' et 'SP' ainsi que leur corrélation 'TRT \times SP'. En effet, d'après le tableau 23, le stress salin réduit significativement la teneur en pigments photosynthétiques chez les feuilles des deux espèces et ceci aux concentrations de 400 et 600 mM de NaCl.

Tableau 23. Analyse de la variance des effets de la salinité sur la chlorophylle totale (Chl_T), la chlorophylle a (Chl_a), la chlorophylle b (Chl_b), les caroténoïdes (Car) et le rapport Chlorophylle a/Chlorophylle b ($Chl_{a/b}$) chez les feuilles de deux espèces d'acacias (SP) soumises au traitement salin (TRT).

Paramètres	Sources de variables	Degré de Liberté	Somme des Carrées	Carré moyen	F de Fisher	P
Chl_T	TRT	3	2,47	0,82	28,07	< 0,0001
	SP	1	31,01	31,01	1055,05	< 0,0001
	TRT \times SP	3	1,53	0,51	17,46	< 0,0001
Chl_a	TRT	3	1,08	0,36	32,41	< 0,0001
	SP	1	20,92	20,92	1878,71	< 0,0001
	TRT \times SP	3	0,60	0,20	18,24	< 0,0001
Chl_b	TRT	3	0,13	0,04	20,22	< 0,0001
	SP	1	2,52	2,52	1132,67	< 0,0001
	TRT \times SP	3	0,11	0,03	16,71	< 0,0001
Car	TRT	3	0,15	0,05	24,38	< 0,0001
	SP	1	3,00	3,00	1411,21	< 0,0001
	TRT \times SP	3	0,09	0,03	15,53	< 0,0001
Rap Chl_{a/b}	TRT	3	0,10	0,03	0,97	< 0,0001
	SP	1	0,25	0,25	7,50	< 0,0001
	TRT \times SP	3	0,13	0,04	1,32	< 0,0001

Chez les feuilles d'*A. karroo*, les teneurs en Chl_a , Chl_b , Chl_T et Car ont été réduites de 20.5, 14.4, 17.7 and 18.2% par rapport aux témoins respectifs, et ceci sous les niveaux extrêmes de NaCl (400 et 600 mM NaCl). En revanche, à 200 mM de NaCl, une augmentation des teneurs en Chl_b , Chl_T et Car a été observée comparativement au témoin (Figure 32). Au même niveau, la Chl_a présente une teneur constante par rapport au témoin (Figure 32A).

Chez les feuilles d'*A. saligna*, les contenus en Chl_a , Chl_b et Car ont diminué de 22, 25 et de 25% par rapport à leurs témoins respectifs et sous le degré le plus élevé de salinité (600 mM de NaCl) (Figure 32). Cependant, la teneur en Chl_T a subi une augmentation par rapport au témoin sous l'effet des différentes concentrations testées surtout à 200 mM où ce contenu a connu une hausse de 37.6% (Figure 32A).

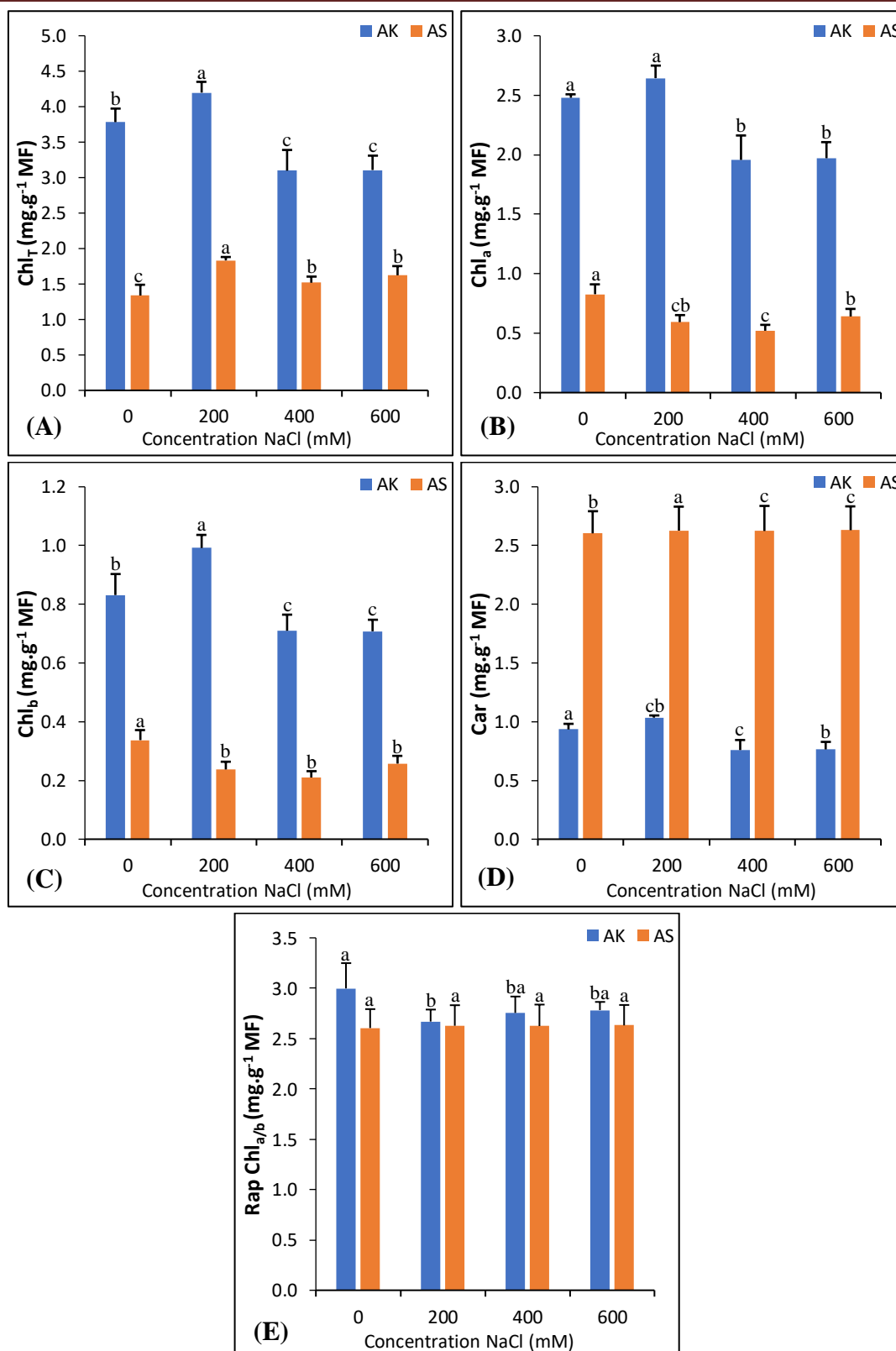


Figure 32. Effets du stress salin sur la teneur en (A) Chlorophylle totale, (B) Chlorophylle a, (C) Chlorophylle b, (D) Caroténoïdes et (E) sur le rapport Chl_{a/b} chez les feuilles des plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* après 21 jours de traitement salin à différents niveaux. Pour chaque espèce, les moyennes avec des lettres similaires au niveau de chaque histogramme ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5% (Test de Duncan).

D'après la figure 32E, le rapport $Chl_{a/b}$ demeure stable et très proche en termes de valeur chez les deux espèces étudiées et ceci sous les différentes concentrations de NaCl. Une autre remarque très flagrante est que les feuilles d'*A. saligna* sont très riches en caroténoïdes par rapport à celles d'*A. karroo* (Figure 32D). En revanche, les feuilles d'*A. karroo* sont les plus riches en chlorophylles.

L'efficacité de la photosynthèse détermine la performance globale des plantes, qui est reflétée par les paramètres de croissance et de biomasse. La réduction de la teneur en pigments photosynthétiques est probablement due à la dégradation de la chlorophylle induite par les niveaux toxiques de NaCl (Hassanein *et al.*, 2009). Ces résultats corroborent avec ceux rapportés par Theerawitaya *et al.* (2015), qui ont indiqué que la teneur en chlorophylles avait considérablement diminué dans les feuilles d'*A. ampliceps* avec l'augmentation de la concentration en NaCl. La réduction des niveaux de chlorophylle dans les plantes soumises au stress salin est due à l'inhibition de la synthèse de la chlorophylle, ainsi qu'à l'activation de sa dégradation par l'enzyme chlorophyllase. Pourtant, ce n'est pas la seule raison de l'inhibition de la photosynthèse en présence de sel, puisque le NaCl inhibe également les enzymes clés impliquées dans ce processus (Parihar *et al.*, 2015).

En cas de stress salin, la teneur en chlorophylles des feuilles pourrait être modifiée en raison d'une altération de la biosynthèse et de la dégradation accélérée des pigments (Mäkelä *et al.*, 2000). Par conséquent, les niveaux de pigments photosynthétiques, tels que Chl_a et Chl_b , sont essentiels pour la photosynthèse stable des plantes pendant le stress salin (Richardson *et al.*, 2002). Flowers et Colmer (2015) ont indiqué que la photosynthèse chez certains halophytes reste non affectée par la salinité et subisse même une augmentation lorsque la salinité est faible. En outre, l'augmentation de la teneur en chlorophylles et en caroténoïdes sous contraintes salines peut être liée à une diminution de la surface foliaire, mais peut également constituer une réponse défensive pour réduire les effets nocifs du stress dû à la sécheresse (Farooq *et al.*, 2009).

Selon d'autres études sur l'effet du sel sur la photosynthèse, nos résultats impliquent également que la Chl_a est plus sensible à la salinité que Chl_b (Lee *et al.*, 2013 ; Hu *et al.*, 2016). La Chl_a est la partie la plus abondante et la plus intégrale du complexe photosynthétique spécialisé dans la capture de l'énergie lumineuse, tandis que la Chl_b agit comme un pigment accessoire impliqué indirectement dans la photosynthèse en transmettant des photons à la Chl_a (Curutchet *et al.*, 2011 ; Mircovic *et al.*, 2016). Ainsi, un taux de Chl_a supérieur à celui de Chl_b à toutes les concentrations de chlorure de sodium aurait pu contribuer à l'amélioration du comportement des plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* en matière de la résistance à la perte de la capacité photosynthétique induite par le sel (Figure

32), comme il a été indiqué chez les plantes d'*Acacia auriculiformis* par Rahman *et al.* (2017).

3.3.2 Effets de la salinité sur l'homéostasie ionique

Dans la présente étude, les teneurs de divers ions minéraux ont été analysés afin de mieux comprendre les effets de la salinité sur l'absorption des ions minéraux et leur accumulation dans les feuilles. Nous avons utilisé juste les feuilles parce que le poids sec des racines était très faible pour de telles analyses minérales.

Tableau 24. Analyse de la variance des effets de la salinité sur la teneur en ions sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}) et le rapport Na^+/K^+ ($\text{Rap}_{\text{Na}/\text{K}}$) chez les feuilles de deux espèces d'acacias (SP) soumises au traitement salin (TRT).

Paramètres	Sources de variables	Degré de Liberté	Somme des Carrées	Carré moyen	F de Fisher	P
Na^+	TRT	3	3034,00	1011,56	679,03	< 0,0001
	SP	1	127,18	127,18	85,37	< 0,0001
	TRT×SP	3	141,56	47,18	31,74	< 0,0001
K^+	TRT	3	417,90	139,30	1403,03	< 0,0001
	SP	1	8,23	8,23	82,91	< 0,0001
	TRT×SP	3	7,69	2,56	25,84	< 0,0001
Ca^{2+}	TRT	3	724,56	241,52	1535,10	< 0,0001
	SP	1	53,45	53,45	339,77	< 0,0001
	TRT×SP	3	629,50	209,83	1333,70	< 0,0001
$\text{Rap}_{\text{Na}/\text{K}}$	TRT	3	1107,59	369,19	83,66	< 0,0001
	SP	1	155,03	155,03	35,13	< 0,0001
	TRT×SP	3	281,11	93,70	21,23	< 0,0001

Chez les feuilles des deux espèces d'acacias, la teneur en Na^+ et en Ca^{2+} a augmenté progressivement avec l'augmentation de la concentration en sel à l'exception de la concentration de 600 mM où la teneur en Ca^{2+} chez les feuilles d'*A. saligna* a chuté de 60% par rapport à la concentration de 400 mM NaCl (Figure 33A et 33C).

Globalement, les teneurs en Na^+ and Ca^{2+} dans les tissus de feuilles chez les plantes d'acacias stressées au chlorure de sodium sont en croissance continue, alors que la teneur en K^+ a diminué de manière très significative en fonction de la concentration de NaCl dans la solution d'arrosage (Figure 33B).

Chez les deux espèces étudiées et pour l'ensemble des traitements de sel employé, la courbe du $\text{Rap}_{\text{Na}/\text{K}}$ dans les feuilles a été similaire à celle de l'augmentation des ions Na (Figure 33D et 8A).

Sous le niveau de stress extrême (600 mM NaCl), la teneur du $\text{Rap}_{\text{Na}/\text{K}}$ dans les tissus foliaires d'*A. saligna* a atteint un maximum de 22.4 mg.g⁻¹ MS, Cette augmentation est trois fois plus élevée par rapport à celle enregistrée enregistré chez les feuilles d'*A. karroo* (Figure 33D).

Le maintien de la pression osmotique et de la turgescence chez les tissus des feuilles sous des conditions salines est principalement réalisé chez les halophytes en utilisant des ions inorganiques (Na^+ , Cl^- et K^+) afin de maintenir la pression osmotique et la turgescence des feuilles dans des conditions salines (Flowers et Colmer, 2008 ; Shabala et Munns, 2017). Ces trois principaux ions, représentent 80 à 95% de la pression osmotique des cellules (Moir-Barneston *et al.*, 2016). En revanche, les glycophytes le font principalement en augmentant la synthèse de nouveaux solutés compatibles (Shabala et Munns, 2017).

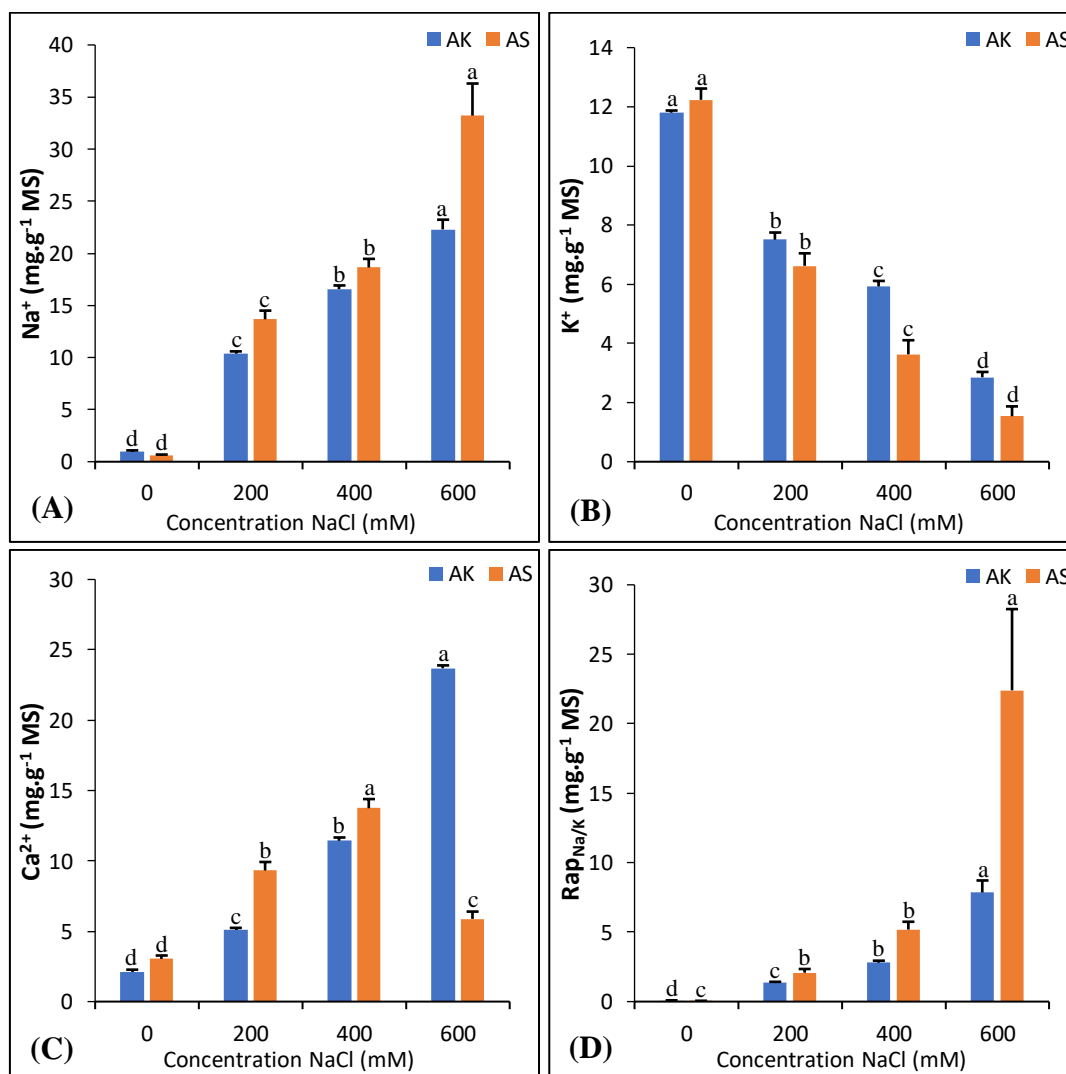


Figure 33. Effets du stress salin sur la teneur en (A) ions sodium (Na^+), (B) potassium (K^+), (C) calcium (Ca^{2+}) et (D) le rapport Na^+/K^+ ($\text{Rap}_{\text{Na/K}}$) chez les feuilles des plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* après 21 jours de traitement salin à différents niveaux. Pour chaque espèce, les moyennes avec des lettres similaires au niveau de chaque histogramme ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5% (Test de Duncan).

D'après plusieurs résultats de recherche, la tolérance au sel chez les plantes peut être associée à trois comportements, à savoir (i) l'exclusion de Na^+ , (ii) l'inclusion de Na^+ et (iii) la séquestration de Na^+ dans les vacuoles. De plus, l'impact du stress salin sur l'absorption et le transport d'autres minéraux est également considéré comme un facteur déterminant du

mécanisme de tolérance au sel chez les plantes (Hauser et Horie, 2010 ; Farooq *et al.*, 2015). Dans notre étude, la teneur du Na^+ et du Ca^{2+} dans les feuilles d'*A. karroo* ont augmenté en permanence en fonction de la concentration en sel, tandis que la teneur en K^+ a subi une réduction continue entraînant une augmentation du rapport Na^+/K^+ (Figure 33). Chez les espèces halophytes, les ions Na^+ augmentent dans la vacuole, réalisant une relation avec les activités de la localisation des antiports Na^+/H^+ (NHX) et H^+ -ATPase (VH^+ -ATPase) vacuolaires sur la membrane vacuolaire (Cuin *et al.*, 2011 ; Zhang *et al.*, 2012).

Cette régulation de l'homéostasie de Na^+ et de K^+ implique également la capacité des plantes d'*A. karroo* de maintenir une absorption suffisante de K^+ afin de maintenir un rapport Na^+/K^+ cytosolique réduit (Figure 33D, Figure 34A), qui est l'un des critères déterminants de la tolérance au sel (Flowers *et al.*, 2010 ; Deinlein *et al.*, 2014). Ceci corrobore avec les conclusions de travaux antérieurs de Nemati *et al.* (2011) et Bader *et al.* (2015) qui ont signalé une augmentation du rapport Na^+/K^+ ou une réduction du rapport K^+/Na^+ , respectivement. Une observation similaire (accumulation de Na^+ et réduction de K^+) a été indiquée chez d'autres espèces d'acacia (*A. longifolia*, *A. ampliceps* et *A. auriculiformis*) cultivé sous conditions salines (Morais *et al.*, 2012 ; Theerawitaya *et al.*, 2015 ; Rahman *et al.*, 2017). Chen et Polle (2010) ont aussi confirmé que des concentrations élevées en sel induisaient l'absorption et le transport du Na^+ et réduisaient la teneur en K^+ au niveau des tissus foliaires.

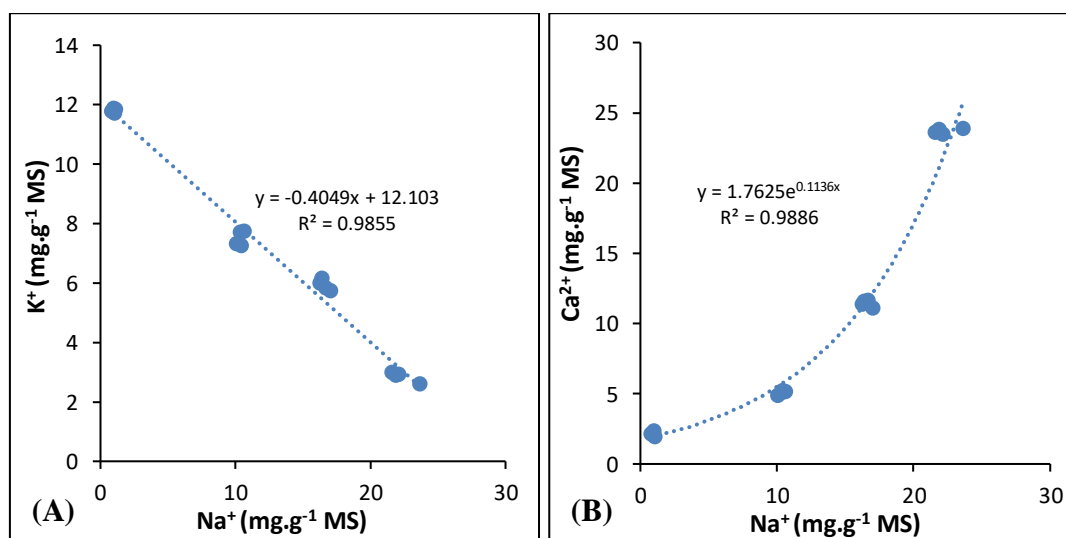


Figure 34. Exemple de corrélation chez *A. karroo* : (A) Teneur en ions sodium et potassium et (B) Teneur en sodium et calcium.

Dans les vacuoles, les ions K^+ jouent un rôle essentiel dans la turgescence. Cependant, sous stress salin, il se produit un efflux de K^+ et un afflux de Na^+ (Dreyer et Uozumi, 2011 ; Bose *et al.*, 2014). En étudiant ces mouvements ioniques, les ions Na^+ jouaient un rôle dans la conservation de la turgescence des cellules soumises au stress salin (Hasewaga, 2013). Ces

données indiquent que l'inhibition compétitive entre l'absorption du Na^+ et du K^+ entraîne une modification du rapport Na^+/K^+ intracellulaire chez les plantes d'acacia étudiées.

L'augmentation significative des teneurs en Ca^{2+} dans les feuilles des deux espèces d'acacia soumises au stress salin (Figures 8C, Figure 34B) indique également que les mécanismes d'exclusion ionique réduisent les effets antagonistes du Na^+ , accélérant ainsi l'absorption d'autres nutriments bénéfiques comme le potassium qui participe activement à l'activation des enzymes, à la stabilisation de la synthèse des protéines, au maintien du potentiel membranaire et du pH cytosolique, alors que le calcium joue un rôle essentiel dans la sélectivité K^+/Na^+ et la transduction du signal face à un stress salin (Ellouzi *et al.*, 2011; Shabala *et al.*, 2015; Chakraborty *et al.*, 2018).

Des études antérieures ont démontré que les halophytes ne constituaient pas d'antiports de type plaste qui facilitaient l'accumulation de Na^+ dans la vacuole via le système de régulation SOS (Manishankar *et al.*, 2018). Chez *A. karroo* et *A. saligna*, nous avons constaté une augmentation du Ca^{2+} au niveau des feuilles sous conditions de stress salin, ce qui contrastait fortement avec la réduction de Ca^{2+} chez d'autres essences végétales lorsque les plantes étaient soumises au même type de stress (Prasath et Gomathinayagam, 2016 ; Negrão *et al.*, 2017 ; Diouf *et al.*, 2018). Nedjimi (2017) a rapporté que le Ca^{2+} réduit la salinité, protège les plantes et confère une tolérance à la salinité chez les glycophytes. On a aussi signalé que le Ca^{2+} exogène atténue la salinité chez les halophytes (Tahjib-Ul-Arif *et al.*, 2018). Effectivement, le Ca^{2+} joue un rôle clé dans la stabilisation de la structure de la paroi cellulaire, le maintien de l'intégrité structurelle et fonctionnelle de la membrane cellulaire, la régulation du transport et des échanges ioniques, en plus d'agir comme messenger dans la signalisation de la contrainte saline (Choi *et al.*, 2017).

L'augmentation de l'accumulation de Ca^{2+} malgré l'augmentation en Na^+ s'interprète par le fait que le Na^+ interfère avec l'absorption du Ca^{2+} en présence de sel (Nedjimi, 2017). L'accumulation de Ca^{2+} dans des conditions extrêmes de salinité (600 mM NaCl) pourrait contribuer à protéger nos deux espèces d'acacia des effets toxiques du Na^+ en activant les voies SOS, qui protègent contre les lésions des membranes cellulaires induites par la salinité (Manishankar *et al.*, 2018). Mais son action n'a pas été encore étudié chez ces deux espèces.

Nos résultats suggèrent donc que les niveaux les plus élevés de K^+ et du Ca^{2+} dans les feuilles soutiennent le fonctionnement optimal des processus métaboliques et la tolérance au sel chez *A. karroo* et *A. saligna* sous stress salin. En outre, l'homéostasie intracellulaire du K^+ est une condition préalable au fonctionnement optimal du mécanisme métabolique de la plante et à ses performances globales (Amtmann *et al.*, 2018). Ce résultat peut indiquer le rôle important que jouent les cations divalents comme le Ca^{2+} en tant que bloqueurs des canaux

d'efflux de potassium, permettant une rétention efficace de ce dernier dans les tissus des feuilles photosynthétiquement actives (Almeida *et al.*, 2017).

3.3.3 Effets de la salinité sur la teneur en proline, protéines solubles, acides aminés libres totaux, amidon et en sucres réducteurs

Afin de mieux comprendre les mécanismes associés à l'ajustement osmotique sous stress salin, nous avons déterminé les niveaux de proline, protéines solubles, acides aminés libres totaux, amidon et en sucres réducteurs chez les plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* dans des conditions normales et de stress salin.

D'après la figure 35A, la teneur en proline foliaire chez les plantes d'*A. karroo* a augmenté de façon très remarquable de 320, 645 et 1454% après exposition à 200, 400 et 600 mM de NaCl, respectivement, par rapport au témoin. La même augmentation a été observée chez les plantes d'*A. saligna* sauf que les chiffres sont plus bas car la teneur en proline a été basse dès le départ (témoin) (Figure 35A).

Tableau 25. Analyse de la variance des effets de la salinité sur la teneur en proline (Pr), protéines solubles (PS), acides aminés libres totaux (AALT), amidon (Am) et en sucres réducteurs (SR) chez les feuilles de deux espèces d'acacias (SP) soumises au traitement salin (TRT).

Paramètres	Sources de variables	Degré de Liberté	Somme des Carrées	Carré moyen	F de Fisher	P
Pr	TRT	3	4390,94	1463,64	25042,9	< 0,0001
	SP	1	494,32	494,32	8457,79	< 0,0001
	TRT×SP	3	258,05	86,01	1471,76	< 0,0001
PS	TRT	3	40,23	13,41	124,27	< 0,0001
	SP	1	169,23	169,23	1568,16	< 0,0001
	TRT×SP	3	2,36	0,78	7,30	< 0,0001
AALT	TRT	3	939,63	313,21	1277,00	< 0,0001
	SP	1	860,71	860,71	3509,24	< 0,0001
	TRT×SP	3	55,22	18,40	75,05	< 0,0001
Am	TRT	3	11975,83	3991,94	1758,21	< 0,0001
	SP	1	14209,92	14209,92	6258,59	< 0,0001
	TRT×SP	3	703,81	234,60	103,33	< 0,0001
SR	TRT	3	1621,32	540,44	1039,46	< 0,0001
	SP	1	466,84	466,84	897,90	< 0,0001
	TRT×SP	3	95,28	31,76	61,09	< 0,0001

Une augmentation progressive de la teneur en acides aminés libres totaux a été observée lorsque les degrés de l'exposition à la salinité augmentaient et ceci chez les deux espèces étudiées (Figure 35C). Cette augmentation est beaucoup plus exprimée sous 600 mM de NaCl. En effet, chez les feuilles des deux espèces étudiées, la teneur des acides aminés libres dépasse de 85% le témoin (Figure 35C).

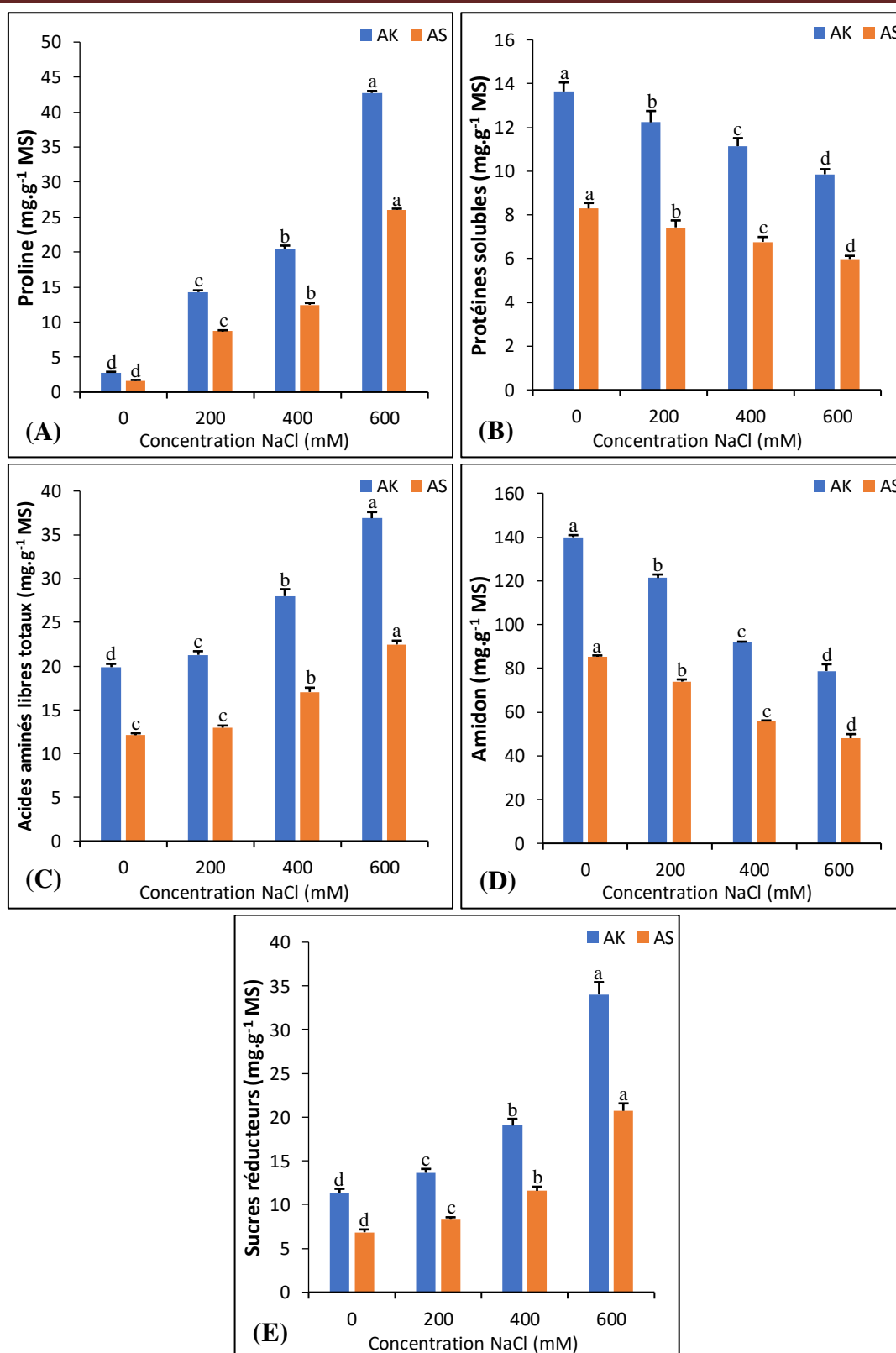


Figure 35. Effets du stress salin sur la teneur en (A) proline, (B) protéines solubles, (C) acides aminés libres totaux, (D) amidon et en (E) sucres réducteurs chez les feuilles des plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* après 21 jours de traitement salin à différents niveaux. Pour chaque espèce, les moyennes avec des lettres similaires au niveau de chaque histogramme ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5% (Test de Duncan).

Parallèlement et selon la même nature de biomolécules, le taux des protéines totales dans les feuilles a subi une évolution régressive chez les deux espèces suivant l'accroissement de la concentration en NaCl mais avec des taux beaucoup plus prononcés chez *A. karroo* (Figure 34B). En effet, la teneur de protéines totales baisse d'à peu près 30% à 600mM de NaCl chez les feuilles des deux espèces (Figure 35B).

Également à la tendance des teneurs en acides aminés libres totaux, il existe une relation positive entre les concentrations du NaCl et les contenus en sucres réducteurs, et les teneurs maximales sont observées au degré de salinité le plus élevé (600 mM) chez les feuilles des deux espèces après 21 jours d'exposition au stress salin. Effectivement, sous cette concentration, la teneur en sucres réducteurs dépasse les plants témoins de 300% et de 200% respectivement chez *A. karroo* et *A. saligna* (Figure 35E). En revanche, et toujours selon la même nature de biomolécules, l'évolution de la teneur de l'amidon est inversement proportionnelle à l'accroissement des niveaux de salinité. Effectivement, la figure 35D montre clairement que la teneur en amidon baisse de moitié chez les deux espèces sous la dose de 600 mM de NaCl. Il est à noter que les valeurs enregistrées en ces biomolécules sont élevées chez les feuilles d'*A. karroo* et ceci chez les plantes stressés ou non stressés au sel (Figure 35).

Dans un environnement fortement salin, la principale réponse physiologique des plantes consiste à effectuer un ajustement osmotique au moyen de deux processus : l'accumulation d'ions dans la vacuole et la synthèse de solutés compatibles dans le cytosol (Hajiboland *et al.*, 2014 ; Razzaghi *et al.*, 2015). Par conséquent, les changements induits par la salinité dans les niveaux de divers métabolites organiques tels que les sucres réducteurs, l'amidon, les protéines totales, les acides aminés libres totaux et la proline ont été analysés pour découvrir le rôle de ces métabolites organiques dans l'ajustement osmotique et la tolérance au sel chez *A. karroo* et *A. saligna*. Nous avons observé une augmentation significative de la teneur en sucres réducteurs sous un niveau extrême de sel et une diminution progressive de la teneur en amidon avec un accroissement de la salinité (Figure 36). La diminution de la teneur en amidon et l'augmentation de la teneur en sucre réducteur dans des conditions de salinité supérieure pourraient être dues à la conversion d'amidon en sucre afin de fournir plus de sucre pour la protection osmotique sous une salinité accrue (Thalman et Santelia, 2017). Les sucres jouent un rôle clé dans les processus adaptatifs liés à la tolérance au NaCl via des mécanismes interdépendants de croissance et d'osmorégulation (Sharif et Khan, 2016). L'accumulation de sucres semble être commune à certaines plantes quand elles poussent sous un stress osmotique. Par exemple, Chaum *et al.*, (2009) ont trouvé que le niveau du sucre total soluble d'une variété de riz résistante au sel est supérieur à celui de la

variété sensible au sel, et que les sucres améliorent la résistance au stress osmotique induit par le sel chez les plantes de riz.

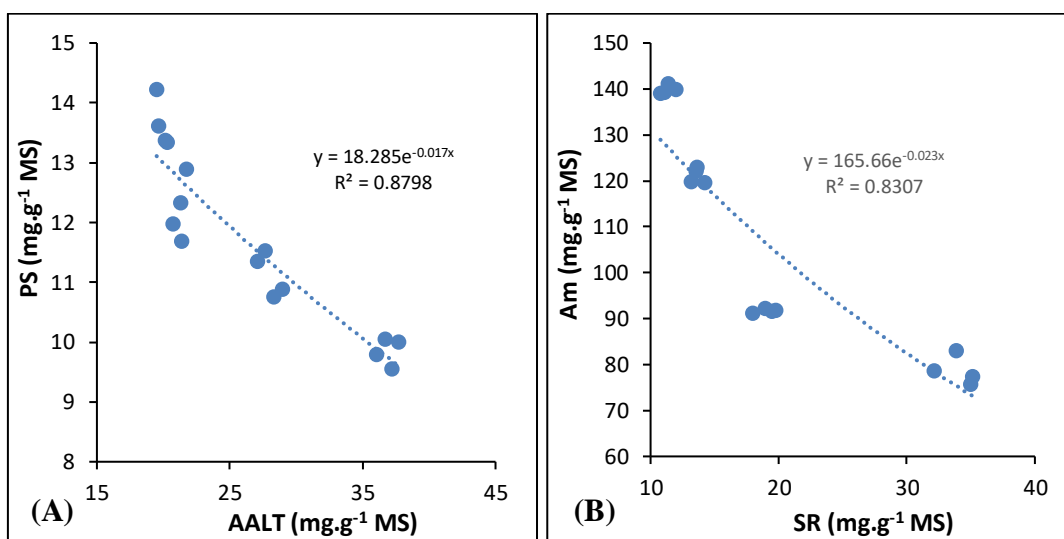


Figure 36. Exemple de corrélation chez *A. karroo* : (A) Protéines solubles et acides aminés libres totaux et (B) Amidon et sucres réducteurs.

Chez les feuilles des deux espèces d'acacia étudiées dans ce travail, la teneur totale en acides aminés libres et en proline a augmenté sous les trois concentrations en NaCl par rapport au témoin surtout sous le traitement 600 mM. L'accumulation élevée d'acides aminés libres pourrait être due à la biosynthèse élevée des acides aminés ou à l'activité progressive de la protéase pour l'ajustement osmotique (Parida et Das, 2005).

La proline est connue pour fournir une protection améliorée contre la salinité en éliminant les radicaux libres, en stabilisant les membranes, les protéines et les enzymes, et en maintenant l'homéostasie ionique (Dagar et Minhas, 2016 ; Ajmi *et al.*, 2018). La présente étude a montré une augmentation de la teneur en proline à toutes les concentrations en sel. L'augmentation de la proline foliaire induite par la salinité chez ces deux espèces d'acacia pourrait être due à l'amélioration de la biosynthèse de la proline et/ou peut être due à l'inhibition du catabolisme de la proline (Wei *et al.*, 2016). L'augmentation de la teneur en proline foliaire en réponse au stress salin a été rapportée dans de nombreuses arbres forestiers ou fruitiers : L'Olivier (Ahmed *et al.*, 2012), le Palmier dattier (Yaish, 2015), le Citronnier (Balal *et al.*, 2011), l'Eucalyptus (Chaum *et al.*, 2013), *Acacia auriculiformis* (Patel *et al.*, 2010), *Acacia saligna* (Soliman *et al.*, 2012), *Acacia arabica* (Lassouane *et al.*, 2013), *Acacia longifolia* (Morais *et al.*, 2012) et *Acacia senegal* (Patel *et al.*, 2011).

La production de la proline induite par le stress salin a été démontrée chez les espèces halophytes et glycophytes ; sauf que les halophytes semble accumuler plus de proline foliaire sous conditions normales et stressées (Himabindu *et al.*, 2016). Il s'est avéré que la proline a également une fonction osmorégulatrice s'interprétant par une protection de la membrane et la

stabilisation des enzymes (Reddy *et al.*, 2015 ; Zouari *et al.*, 2016). Par conséquent, la fonction osmorégulatrice de la proline chez *A. karroo* et *A. saligna* se montre clairement à travers l'augmentation de sa teneur rejoignant une augmentation de la teneur des acides aminés totaux en jouant un rôle dans le maintien de l'équilibre osmotique de la cellule dans des conditions de salinité élevée.

En effet, en maintenant des niveaux élevés d'acides aminés libres, les halophytes sont capables de satisfaire la demande croissante d'acides aminés au cours du métabolisme des protéines en présence de stress salin (Suprasanna *et al.*, 2016). De plus, les niveaux élevés de sucre dans les feuilles indiquent que les deux espèces ont réagi positivement pour atténuer la réduction de la RWC résultant de l'augmentation de la toxicité du sel (Figure 31C). Fait intéressant, les diminutions observées de l'amidon et en protéines ont corroboré l'augmentation des niveaux de sucres et d'acides aminés (Figure 35).

3.4 Effet de la salinité sur paramètres anatomiques des tiges et des racines

3.4.1 Effet de la salinité sur l'anatomie des tiges

Afin d'évaluer l'adaptation anatomique des plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* sous conditions salines, nous avons analysé les sections transversales tiges et longitudinales (vue de profil), et ceci à une distance de 1.5 cm de l'apex caulinaire et racinaire. Cette étude anatomique a été réalisée au 21^{ème} jour de l'application du stress salin opéré par le chlorure de sodium (Figure 31, Figure 38). Nos observations laissent à supposer que les caractéristiques anatomiques des tiges et des racines sont altérées de manière significative lorsque les plantes sont exposées à la salinisation du milieu. En effet, le stress dû au sel a également exercé un effet très significatif sur la morphologie cellulaire interne, et les plantes soumises à la contrainte saline ont manifesté un ajustement des caractéristiques anatomiques afin de minimiser les dommages causés par la présence d'une quantité excessive de NaCl.

Lorsque la concentration du sel augmente, une diminution ou une augmentation de la surface des sections transversales tiges a été observée dans les populations d'*A. auriculiformis* (Rahman *et al.*, 2017) et d'*A. ampliceps* (Theerawitaya *et al.*, 2015). Akcin *et al.* (2017) ont associé la succulence de la tige aux mécanismes d'adaptation aux conditions salines chez une espèce halophyte *Salicornia freitagii*. D'après la figure 38 et le tableau 26, l'anatomie des tiges a été modifiée lors de l'application de diverses doses d'eau salée. Chez *A. karroo*, la surface de la tige a subi une réduction graduelle par rapport à l'augmentation de la concentration en sel jusqu'à 400 mM NaCl puis cette surface tente à reprendre son allure initiale à 600 mM NaCl. Pour *A. saligna*, la surface de la tige a subi à son tour une réduction mais qui s'arrête à 200 mM. En effet, sous 400 et 600 mM NaCl, la ST a atteint son maximum avec une augmentation de 70% par rapport au témoin (Figure 38A). Le périmètre de la tige

des plantes d'*A. karroo* a enduré une réduction de 35% à partir des concentrations extrêmes de NaCl (400 et 600 mM) par rapport au témoin et à 200 mM NaCl. En revanche, le PT des plantes d'*A. saligna* a subi une augmentation progressive qui se stabilise à 400 et 600 mM NaCl avec un accroissement de 35% par rapport au témoin (Figure 38B).

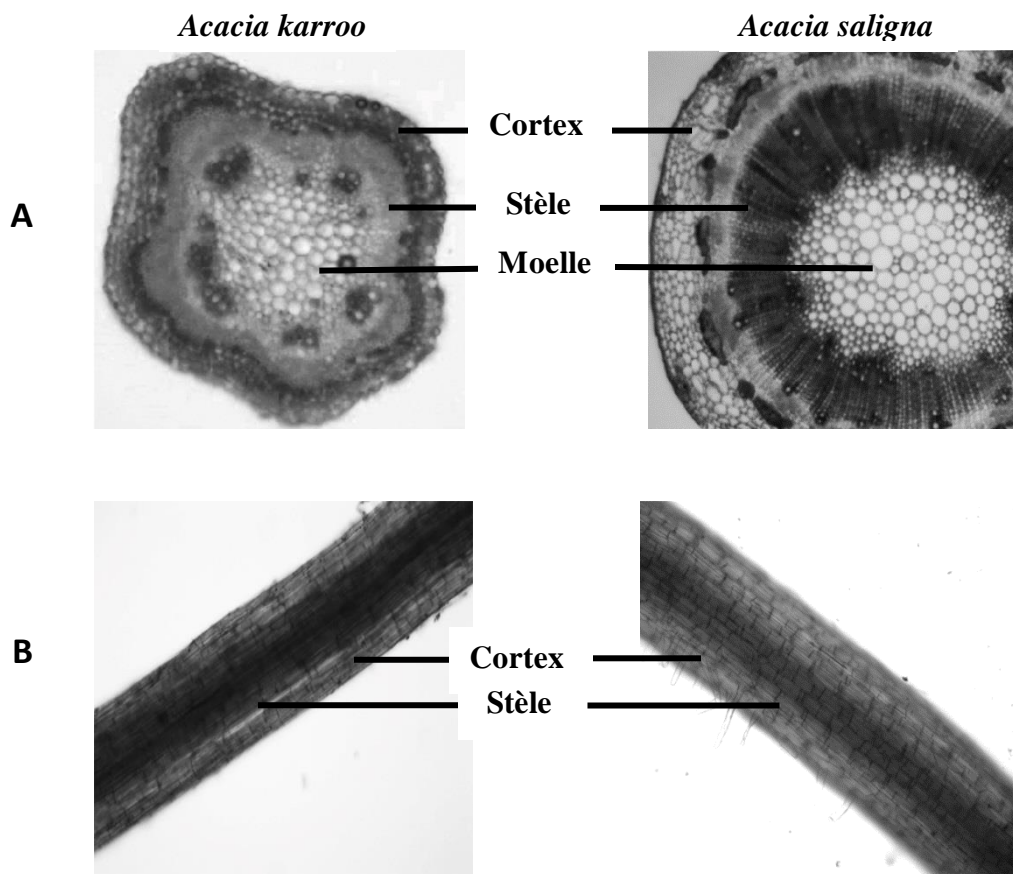


Figure 37. Paramètres anatomiques étudiés de (A) la tige (coupe transversale) et (B) la racine (Vue de profil) à 1,5 cm de l'apex caulinaire et racinaire au 21^{ème} jour d'exposition des plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* soumises à différents niveaux de salinité (0, 200, 400 et 600 mM NaCl).

De plus, il a été constaté que l'augmentation de l'épaisseur des tiges pourrait augmenter la capacité de stockage afin de préserver d'avantage d'eau et de surmonter les conditions défavorables d'humidité sous l'effet du sel (Rodriguez *et al.*, 2012). Une augmentation de l'épaisseur des cellules de la tige dans des conditions salines a également été rapportée chez le Citrus (Rewald *et al.*, 2012) et le Tamarix (Zhang *et al.*, 2016). En général, la salinité peut causer une réduction de la surface de la tige des plantes (Bader *et al.*, 2015). Cependant, dans la population d'*A. saligna*, la surface de la tige a manifesté une augmentation considérable sous régime salin. Cette caractéristique dans les dimensions de la tige peut aider à stocker de l'eau supplémentaire et peut contribuer à une certaine résistance à la perte d'eau par les cellules de la tige afin d'assurer la survie des plantes dans un environnement défavorable (Feikema *et al.*, 2010).

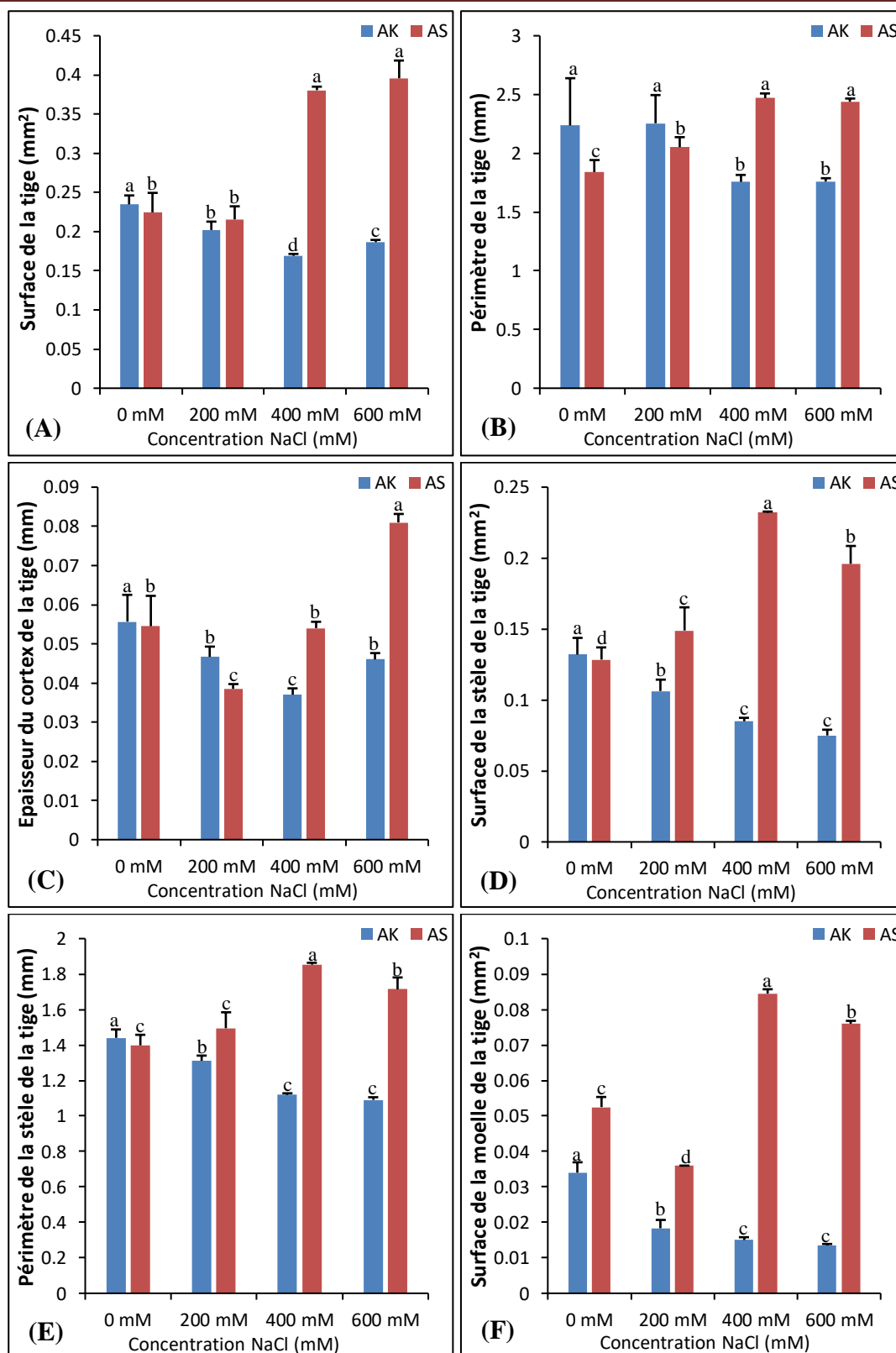


Figure 38. Effets du stress salin sur les paramètres anatomiques de la tige (coupe transversale, 1.5 cm de l'apex caulinaire) : (A) Surface de la tige, (B) Périmètre de la tige, (C) Epaisseur du cortex, (D) Surface de la stèle, (E) Périmètre de la stèle et (F) Surface de la moelle chez les plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* après 21 jours de traitement salin à différents niveaux. Pour chaque espèce, les moyennes avec des lettres similaires au niveau de chaque histogramme ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5% (Test de Duncan).

La diminution de l'épaisseur du cortex de la tige est principalement due à l'effondrement des cellules corticales en réponse à un certain degré de salinité (Al-Tardeh et Iraki, 2013). Cela peut être bénéfique pour limiter la croissance dans des conditions de salinité en conservant l'énergie essentielle à la survie (Naz *et al.*, 2013 ; Quartararo, 2018). D'après la figure 38C, l'ECT des plantes d'*A. karroo* a été réduit graduellement par rapport à l'augmentation de la concentration en sel jusqu'à 400 mM où cette épaisseur a été réduite de 35%. A 600 mM NaCl, le cortex de la tige reprend une épaisseur équivalente à celle enregistrée chez les plantes soumises à 200 mM NaCl où la différence par rapport au témoin est juste de 20%. L'ECT des plantes témoin d'*A. saligna* a été réduit de 30% sous 200 mM NaCl. Cependant, à 400 mM NaCl, le cortex reprend une épaisseur équivalente à celle du témoin et atteint son maximum à 600 mM avec une valeur qui dépasse la tige témoin de 50% (Figure 38C). La diminution de la surface corticale des tiges pourrait constituer une stratégie défensive pour les plantes dans le but de limiter la croissance sous régime salin en conservant l'énergie essentielle à la survie des plantes dans un environnement difficile (Chen et Polle, 2010 ; Li *et al.*, 2018). En revanche, l'augmentation de l'épaisseur du cortex de la tige en présence de salinité élevée peut être considérée comme une stratégie défensive visant à réduire la toxicité du Na⁺ (Mudgal *et al.*, 2010).

Chez *A. karroo*, la SST diminue avec l'augmentation du degré de stress appliqué et se stabilise à partir de 400 mM avec une perte de 45% de sa taille par rapport au témoin. Cependant, la SST des plantes d'*A. saligna* augmente progressivement avec l'accroissement des niveaux de sel en atteignant une valeur considérable par rapport au témoin d'une différence de 80% à 400 mM NaCl et de 50% à 600 mM NaCl (Figure 38D). D'après la figure 38E, le PST des plantes d'*A. karroo* décroît avec l'accroissement de la concentration de sel appliquée en stabilisant à partir de 400 mM NaCl avec une perte légère de 23% par rapport au témoin. En revanche, le PST d'*A. saligna* augmente progressivement avec l'augmentation du niveau de stress en atteignant un gain de 32% à 400 mM NaCl et de 22% sous la concentration extrême de 600 mM NaCl (Figure 38E). La diminution de la surface des tissus de la stèle sous salinité excessive a été considéré comme une stratégie d'adaptation pour réduire la perte d'eau chez plusieurs espèces forestières dans les zones arides (Rewald *et al.*, 2011a). La réduction de la taille de la stèle peut également interpréter une réduction de l'absorption d'eau salée par le xylème et une réduction de la perte d'eau par la transpiration (Rewald *et al.*, 2011b) et c'est le cas des plantes d'*A. karroo* dans notre étude. D'autre part, l'augmentation de l'épaisseur de la stèle des plantes d'*A. saligna* avec l'augmentation du niveau de salinité peut à son tour constituer à son tour une caractéristique défensif dans des conditions salines comme il a été déjà rapporté par (Srikanth *et al.*, 2016).

Tableau 26. Analyse de la variance des effets de la salinité sur les paramètres anatomiques de la tige (ST : Surface de la tige, PT : Périmètre de la tige, ECT : Epaisseur du cortex de la tige, SST : Surface de la stèle de la tige, PST : Périmètre de la stèle de la tige et SMT : Surface de la moelle) et de la racine (ER : Epaisseur de la racine, ECR : Epaisseur du cortex de la racine et ESR : Epaisseur de la stèle de la racine) de deux espèces d'acacias (*A. karroo* et *A. saligna*) (SP) soumises au traitement salin (TRT).

Organes	Paramètres	Sources de variables	Degré de Liberté	Somme des Carrées	Carré moyen	F de Fisher	P
Tige	ST	TRT	3	0,0353	0,1177	55,54	<0,0001
		SP	1	0,0898	0,0898	424,06	<0,0001
		TRT×SP	3	0,0876	0,0292	137,83	<0,0001
	PT	TRT	3	0,0550	0,0183	0,60	0,6202
		SP	1	0,3140	0,3140	10,29	0,0038
		TRT×SP	3	2,0245	0,6748	22,12	<0,0001
	ECT	TRT	3	0,0021	0,0007	45,33	<0,0001
		SP	1	0,0009	0,0009	56,84	<0,0001
		TRT×SP	3	0,0022	0,0007	46,92	<0,0001
	SST	TRT	3	0,0047	0,0015	17,47	<0,0001
		SP	1	0,0471	0,0471	521,00	<0,0001
		TRT×SP	3	0,0289	0,0096	106,72	<0,0001
	PST	TRT	3	0,0377	0,0156	5,09	0,0072
		SP	1	1,1237	1,1237	455,54	<0,0001
		TRT×SP	3	0,8036	0,2678	108,60	<0,0001
	SMT	TRT	3	0,0022	0,0007	241,02	<0,0001
		SP	1	0,0141	0,0141	4455,50	<0,0001
		TRT×SP	3	0,0046	0,0015	487,53	<0,0001
Racine	ER	TRT	3	0,0429	0,0143	17,91	<0,0001
		SP	1	0,0009	0,0009	1,25	0,2752
		TRT×SP	3	0,0037	0,0012	1,58	0,2204
	ECR	TRT	3	0,0050	0,0016	21,99	<0,0001
		SP	1	0,0000	0,0000	0,00	0,9471
		TRT×SP	3	0,0026	0,0008	11,48	<0,0001
	ESR	TRT	3	0,0063	0,0021	4,77	0,0095
		SP	1	0,0065	0,0065	14,89	0,0008
		TRT×SP	3	0,0289	0,0096	21,85	<0,0001

D'après la figure 38F, la SMT des plantes d'*A. karroo* diminue avec l'augmentation du degré de stress appliqué et se stabilise à partir de 400 mM avec une perte de 55% par rapport au témoin. Cependant, la SST des plantes d'*A. saligna* augmente progressivement avec la progression des niveaux de sel en atteignant une valeur considérable par rapport au témoin d'une différence de 61% à 400 mM NaCl et de 46% à 600 mM NaCl (Figure 38D). Il est à noter que chez cette espèce, le SMT a subi une perte de 30% à la concentration de 200 mM NaCl. Ces changements dans les dimensions anatomiques peuvent être considéré comme un mécanisme adaptatif des plantes d'*A. saligna* afin de maintenir un flux d'eau régulier dans la partie caulinare, surtout dans des conditions de salinité accrue (Polle et Chen, 2015). Contrairement à *A. saligna*, les plantes d'*A. karroo* de notre étude et le cas de nombreuses plantes ont subi une réduction au niveau de la moelle de la tige sous régime salin : *Leptochloa*

fusca (Ola *et al.*, 2012) ; *Leucaena leucocephala* (El-Lamey, 2015) ; *Phaseolus vulgaris* (Bargaz *et al.*, 2016) ; *Salicornia freitagii* (Akcin *et al.*, 2017). Ces mêmes auteurs ont signalé que cette réduction due à la salinité est bel et bien une autre stratégie de tolérance au stress salin et hydrique.

3.4.2 Effet de la salinité sur l'anatomie des racines

La racine est le principal organe affecté par la salinité et il est connue pour réaménager ses caractéristiques anatomiques afin de conférer à l'espèce une adaptation sous des changements environnementales défavorables induits par la salinité (Aroca *et al.*, 2011 ; Patakas, 2012). D'après la figure 39A, l'épaisseur de la racine est stable sous 200 et 400 mM NaCl et s'accroît avec la progression de l'ampleur du stress salin et ceci chez les deux espèces d'acacia. En effet, l'ER enregistre les valeurs les plus élevées sous 600 mM NaCl avec un gain de 41% chez *A. karroo* et 37% chez *A. saligna*. Cette augmentation de l'épaisseur de la racine sous stress salin pourrait être une adaptation de ces deux espèces pour réduire le taux de transpiration et donc de maintenir la teneur en eau dans les tissus internes de la racine.

L'augmentation de l'épaisseur de la racine et de la tige améliore non seulement l'efficacité d'utilisation de l'eau par la plante, mais fournit également un espace supplémentaire pour une séquestration efficace du Na⁺ dans cellules (Parida et Jha, 2010). Contrairement à notre étude, l'épaisseur de la racine a été réduite chez le Soja avec différents niveaux de salinité (Dolatabadian *et al.*, 2011), ce qui suggère qu'il existe une adaptation anatomique différentielle entre halophyte et glycophyte en réponse à la salinité. D'après nos résultats, la principale augmentation de l'épaisseur de racine s'est produite afin de prévenir l'influx de Na⁺.

La même observation est indiquée pour l'épaisseur du cortex de la racine où ce dernier préserve sa taille par rapport au témoin à 200 et 400 mM NaCl chez les plantes d'*A. saligna* en enregistrant un accroissement de 55% par rapport au témoin sous 600 mM NaCl. Chez les plantes d'*A. karroo*, l'ECR augmente à 200 et à 600 mM NaCl enregistrant un gain de 49% et 33%, respectivement (Figure 39B). La salinité est connue pour stimuler la subérisation et l'augmentation de l'épaisseur des cellules corticales racinaires (Franco *et al.*, 2011 ; Byrt *et al.*, 2018). Ces résultats sont en accord avec ceux de la présente étude où le cortex racinaire a subi une augmentation proportionnelle au degré de sel et ceci pour les deux populations d'acacia, une caractéristique propre aux espèces tolérantes au sel ce qui permettra certainement d'éviter la perte d'eau par les racines (Rewald *et al.*, 2013 ; Muchate *et al.*, 2016). En effet, les espèces halophytes ou tolérantes au sel possèdent généralement un cortex racinaire épais, ce qui constitue un mécanisme efficace contre la perte d'eau en cas de stress combiné entre salinité et déficit hydrique (Rewald *et al.*, 2013).

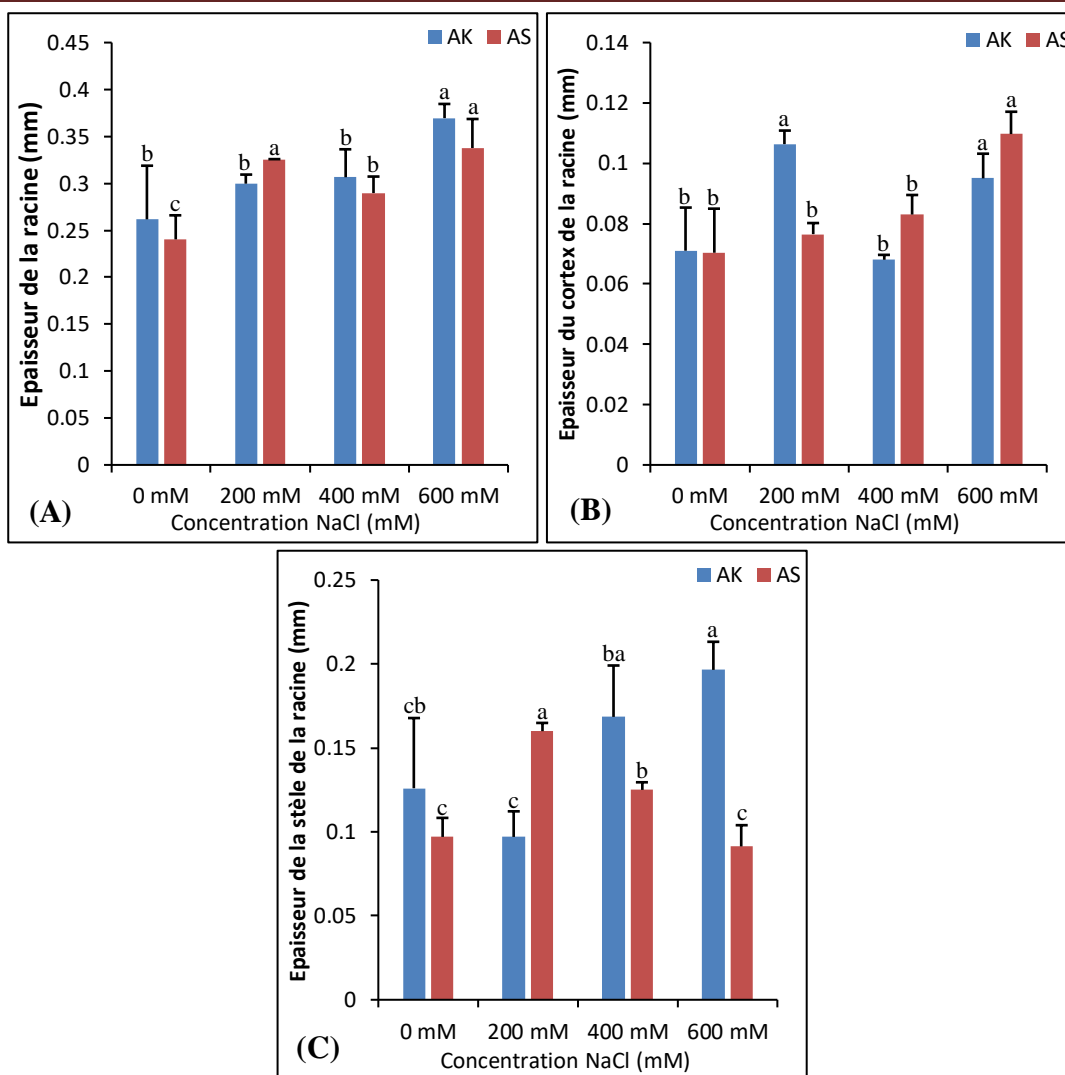


Figure 39. Effets du stress salin sur les paramètres anatomiques de la racine (Observation de profil, 1.5 cm de l'apex racinaire) : (A) Epaisseur, (B) Epaisseur du cortex et (C) Epaisseur de la stèle chez les plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* après 21 jours de traitement salin à différents niveaux. Pour chaque espèce, les moyennes avec des lettres similaires au niveau de chaque histogramme ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5% (Test de Duncan).

La figure 39C montre à son tour que l'augmentation du degré de stress salin a un effet sur l'épaisseur de la stèle de la racine en faisant accroître son épaisseur chez *A. karroo* en atteignant son maximum sous 600 mM NaCl avec 55% de plus par rapport au témoin. L'ESR d'*A. saligna* se comporte différemment où elle atteint son maximum juste à 200 mM NaCl avec une augmentation de 64% par rapport au témoin. Cependant, l'ESR tend à diminuer après cette concentration et se stabilise sous 600 mM enregistrant la même valeur que celle du témoin (Figure 39C). Il a été constaté que quand la taille des racines et l'épaisseur de la stèle des racines augmentait, la capacité de stockage de l'eau augmentait afin de surmonter les conditions du déficit hydrique conditionné par le stress salin (Karimi *et al.*, 2012). Il a également été signalé que le potentiel hydrique dans les racines dépend beaucoup plus de la grosseur de la structure interne tel que la stèle et les vaisseaux (Munns et Gilliam, 2015). La

structure et la surface de la stèle est un mécanisme adaptatif permettant de stocker ou de transmettre de l'eau sous régime salin (Deinlein *et al.*, 2014). Dans des études antérieures, il a été indiqué que l'expansion de la stèle joue un rôle important dans l'adaptation des plantes en milieu salin (Abbas *et al.*, 2013). Lors du transport de l'eau et des éléments minéraux tel que les ions Na du rhizoderme à la stèle, la lignification des parois cellulaires de l'exoderme, de l'endoderme, du métaxylème et du protoxylème empêche les mouvements excessifs des ions (Han *et al.*, 2015). En effet, la couche d'endoderme est considérée comme la barrière la plus importante contre le flux passif d'ions dans les tissus racinaires (Singh et Stasolla, 2016).

4 Discussion Générale

Les réponses des plantes à la salinité et à la sécheresse sont souvent similaires (Passioura, 1986 ; Pitman et Läuchli, 2002 ; Hu et Schmidhalter, 2005 ; Trabelsi *et al.*, 2019). Par exemple, la première phase du stress salin est l'effet osmotique qui est assez similaire à celle du stress hydrique (Singh *et al.*, 2015). Les racines des plantes ont des mécanismes efficaces pour détecter le faible potentiel hydrique résultant soit d'un manque d'eau dans l'environnement, dû à de faibles précipitations, soit à la présence d'ions de sel en excès dans l'eau d'irrigation ou dans la rhizosphère (Rogers et Benfey, 2015). Dans les deux cas, les plantes ne peuvent absorber suffisamment d'eau pour une croissance et un développement normal (Pandey *et al.*, 2017). En outre, la sécheresse et la salinité agissent simultanément dans la tolérance et l'acclimatations sous condition saline. Par conséquent, les plantes soumises à ces types de stress devraient avoir développé des adaptations structurelles spécifiques de la tige et des racines contre une salinité élevée (Nahar *et al.*, 2016).

La figure 40 résume les mécanismes potentiels de la tolérance au sel d'*A. karroo* et *A. saligna*. Nos résultats indiquent que l'exposition des plantes à la salinité induite par le chlorure de sodium avec les différentes concentrations a eu des effets retardant sur les performances de la plante entière, notamment en inhibant la croissance et le développement. Nos conclusions rejoignent celles de Rahman *et al.* (2017) qui ont travaillé sur *Acacia auriculiformis* en concluant que l'indice de tolérance au sel (STI) le plus élevé au stade de plantule indique que les mécanismes clés de la tolérance au sel chez les plantes peuvent être associés à (1) l'accumulation de solutés compatibles tels que Pro, les sucres totaux, les sucres réducteurs et les acides aminés libres totaux; (2) augmenter la quantité des ions K^+ et Ca^{+2} dans les feuilles; (3) augmenter la rétention des ions K^+ dans les tissus photosynthétiques en empêchant l'absorption de Na^+ ; (4) ajustement anatomique en augmentant l'épaisseur endodermique des tiges et des racines et la moelle ; (5) la compartimentation efficace du Na^+ dans les vacuoles et (6) l'exclusion accrue du Na^+ .

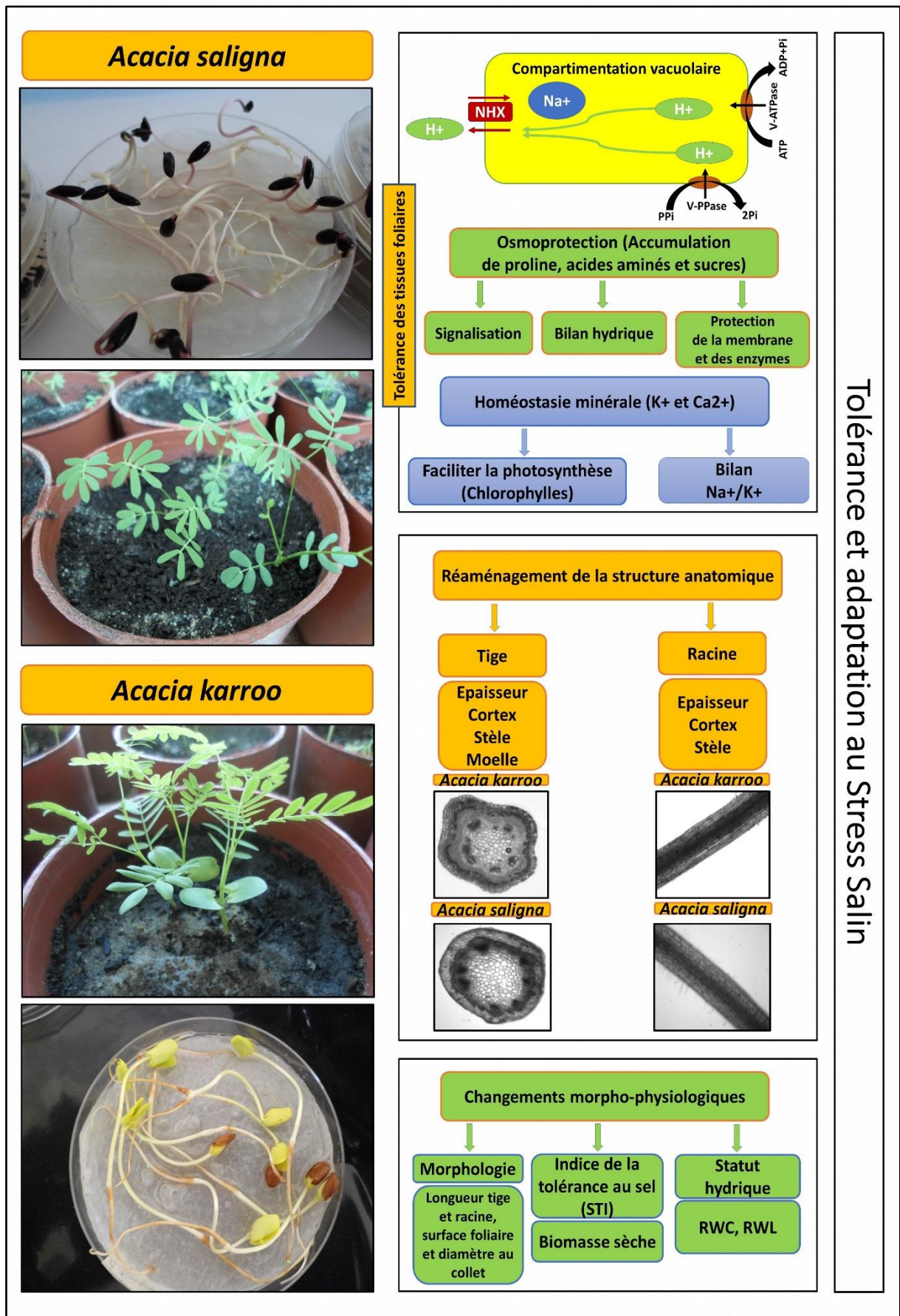


Figure 40. Diagramme schématique représentant le mécanisme de tolérance à la salinité de deux espèces du genre *Acacia* (*A. karroo* et *A. saligna*).

D'après la figure 40, les deux espèces d'acacia (*A. karroo* et *A. saligna*) qui ont fait l'objet de l'étude de l'effet de la salinité sur les paramètres morpho-physiologiques, biochimiques et anatomiques, ont montré une adaptation à la salinité en utilisant divers mécanismes, notamment l'exclusion des ions Na^+ et la tolérance tissulaire foliaire. Une fois que le Na^+ est accumulé dans les feuilles, les plantes améliorent leur tolérance tissulaire en emprisonnant les ions sodium dans les vacuoles, un processus impliquant des transporteurs d'ions et des pompes à protons (Sun *et al.*, 2017). La tolérance tissulaire est également liée à l'accumulation de composés osmoprotecteurs, tels que la proline, les acides aminés et les sucres, qui interviennent dans la signalisation du stress, l'équilibre hydrique et la protection des membranes et des enzymes (Rahman *et al.*, 2017). Les tissus affectés par le sel maintiennent également l'homéostasie minérale, ce qui contribue au bon déroulement de la photosynthèse, à l'inhibition des canaux cationiques non sélectifs et à l'augmentation du taux d'ions K^+ (Nie *et al.*, 2018). Chez les espèces halophytes, les ions Na^+ augmentent dans la vacuole, réalisant une relation avec les activités de la localisation des antiports Na^+/H^+ (NHX) et H^+ -ATPase (VH^+ -ATPase) vacuolaires sur la membrane vacuolaire (Cuin *et al.*, 2011 ; Zhang *et al.*, 2012).

Globalement, l'exclusion de Na^+ , la tolérance tissulaire, l'osmoprotection et l'homéostasie minérale jouent un rôle essentiel dans l'acclimatation au sel et la tolérance chez ces deux espèces d'acacia. Ce mécanisme de tolérance à la salinité s'est reflété sur la morphologie et le statut hydrique ainsi que sur la structure interne des tiges et des racines. En outre, *A. karroo* est considérée comme tolérante également sur la base de la biomasse sèche totale des plantes stressées. La biomasse sèche est utilisée pour estimer l'indice de tolérance à la salinité STI comme il a été suggéré par beaucoup d'auteurs (Li *et al.*, 2016 ; Ekbic *et al.*, 2017 ; Feng *et al.*, 2018) afin d'évaluer le seuil de tolérance à la salinité sur une durée déterminée.

Face à un stress salin: la synthèse des résultats de plusieurs auteurs tel que (Läuchli et Epstein, 1990 ; Gorham, 1995 ; Blumwald, 2000 ; Yamaguchi et Blumwald, 2005 ; Munns et Tester, 2008 ; Hauser et Horie, 2010 ; Wu *et al.*, 2015 ; Hamed *et al.*, 2018 ; Onodera *et al.*, 2019) résumant l'acclimatation des plantes dans un environnement salin par trois mécanismes principaux: l'exclusion des ions - L'exclusion nette des ions toxiques des feuilles et tolérance tissulaire foliaire – La compartimentation des ions toxiques dans des tissus, des cellules et des organites subcellulaires spécifiques – Le maintien de la croissance et de l'absorption d'eau. En conclusion, face au stress salin, les deux espèces ont adapté des caractéristiques d'adaptation des racines, des tiges et des feuilles. Cette adaptation s'est avérée très spécifique à chaque espèce pour une meilleure survie dans des milieux salins.

Conclusion générale et perspectives

Bien que les plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* aient montré certains changements sous contrainte saline sévère, elles ont poursuivi leur croissance végétative et maintenu leur potentiel hydrique interne ainsi qu'une biomasse sèche considérable et assez stable a été observé que chez *A. karroo* dans les conditions de salinité. En revanche, au stade germination, les semences d'*A. saligna* ont montré une sensibilité très distinguée face au stress salin. En effet, les résultats de l'effet du stress salin sur la germination des semences d'*A. saligna* que la salinité affectait sérieusement la cinétique et le temps moyen de germination. Ainsi, afin d'étudier la tolérance à la salinité d'une espèce, il faudra explorer d'autres stades de développement tels que la floraison et la fructification en réponse à des conditions salines in situ et se focaliser plutôt sur les caractères qui contribuent à la tolérance à la salinité (tels que la teneur en Na⁺ des feuilles ou la vigueur de la plante).

Les effets du stress de salinité sur les plantes sont complexes et les résultats peuvent être difficiles à interpréter si les expériences ne sont pas conçues avec soin et si les mesures appropriées ne sont pas effectuées. Pour faciliter l'interprétation des résultats des tests portant sur les effets de la salinité sur les plantes, nous proposons des analyses des réponses de la salinité non pas au niveau de la plante entière (par exemple, simplement la biomasse totale des plantes), mais plutôt au niveau des composants (ou traits) hypothétiques susceptible de contribuer à la tolérance à la salinité. À l'avenir, la pertinence de ces caractéristiques pour le maintien du rendement (et de la qualité) dans des conditions salines peut être testée sur le terrain. L'évaluation de la survie des plantules ou de la teneur en Na⁺ des feuilles peut ne pas être significative en tant que facteur prédictif de la tolérance à la salinité sans autres informations, telles que l'effet de la salinité sur divers paramètres de croissance au niveau d'autres organes comme les tiges et les racines. Dans ce travail, nous avons cherché à décrire les mécanismes utilisés pour mesurer certains des processus pouvant contribuer à la tolérance à la salinité. Afin de permettre d'effectuer des mesures utiles, nous recommandons des systèmes et des échelles de temps appropriés pour traiter des questions biologiques particulières.

Les paramètres estimés pendant cette étude ne sont valides que pour le cas des jeunes plants en pots et dans ces conditions bien définies. Il serait nécessaire de valider nos résultats par une étude sur le terrain. En revanche, cette étude n'exclue pas que ces acacias sont considérés comme espèces halophytiques potentielles à cultiver dans les terres salines en les rendant donc favorables aux pratiques agroforestières surtout que ces légumineuses forestières ont la capacité de revégétaliser des terrains pauvres en nutriment.

En plus des stress abiotiques (sécheresse et salinité), s'engager dans un programme de boisement ou de reboisement en plantant ces espèces nous engage à étudier l'effet d'autres facteurs associés beaucoup plus aux monocultures est qu'un seul ravageur ou une seule maladie peut anéantir la plantation entière, puisque chaque plante individuelle offre le même degré de résistance (ou le même niveau de sensibilité) aux parasites, agents pathogènes ou consommateurs (par exemple, les brouteurs). En plantant plusieurs espèces, avec des cycles de vie et des propriétés tout à fait différents, ou simplement en protégeant l'environnement pour permettre aux espèces indigènes de récupérer la zone, nous pourrions aisément à reconstruire un écosystème plus riche, plus complexe et finalement plus stable qui serait plus résistant au phénomène de la sécheresse et à la remontée des sels. La solution réellement mise en œuvre dépendra en fin de compte de l'utilisation prévue du terrain (Degré de salinité) ou de sa productivité attendue.

En fin, notre étude concentrée dans les premiers chapitres sur l'effet de la salinité a pour but de voir à quel point on pourrait assister à des régénérations naturelles après les plantations des bons semenciers dans un sol touché par la salinité. Dans le choix des espèces végétales à utiliser pour cet effet, il faut tenir compte des critères suivants : la vitesse de croissance, la capacité de la rhizogenèse dans le sol, la capacité à contribuer à la maintenance et/ou la restauration de l'équilibre écologique et la capacité à servir de nombreuses utilisations à fort potentiel économique. Ainsi, les légumineuses arborescentes sujettes à sélection (origines, espèces) sont étudiées pour l'adaptabilité écologique, la croissance et la production de bois et de fourrages. Dans le nord algérien, *A. saligna* a déjà porté ses fruits avec succès dans beaucoup de programmes de reboisement. *A. karroo* pourrait aussi intégrer ces programmes en offrant des propriétés aussi bénéfiques en préservant la biodiversité dans les régions où le couvert végétal a assisté un grand recul.

Tableau 1. Effets du stress salin sur (A) la longueur des tiges, (B) la longueur des racines, (C) le nombre de feuilles par plante et (D) le diamètre au collet des plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* après 21 jours de traitement salin à différents niveaux.

Espèces	TRT [NaCl]	LT (cm)	LR (cm)	NFP	DC (cm)
<i>A. karroo</i>	0 mM	17,2 ± 0,85 ^a	30,3 ± 5,35 ^a	15,5 ± 0,58 ^a	0,13 ± 0,01 ^b
	200 mM	15,1 ± 2,30 ^a	20,6 ± 6,64 ^b	14,2 ± 0,96 ^{ba}	0,17 ± 0,02 ^a
	400 mM	15,1 ± 1,94 ^a	19,0 ± 3,00 ^b	15,2 ± 0,50 ^a	0,17 ± 0,01 ^a
	600 mM	14,1 ± 2,52 ^a	20,7 ± 2,42 ^b	13,5 ± 1,29 ^b	0,16 ± 0,01 ^a
<i>A. saligna</i>	0 mM	12,4 ± 2,83 ^a	8,11 ± 1,97 ^a	12,0 ± 1,41 ^a	0,15 ± 0,03 ^a
	200 mM	12,8 ± 2,39 ^a	7,51 ± 3,54 ^a	12,0 ± 3,16 ^a	0,14 ± 0,04 ^a
	400 mM	10,3 ± 4,01 ^a	6,64 ± 1,26 ^a	10,7 ± 2,22 ^a	0,13 ± 0,03 ^a
	600 mM	10,3 ± 1,06 ^a	7,54 ± 2,79 ^a	8,75 ± 0,96 ^a	0,11 ± 0,03 ^a

Tableau 2. Effets du stress salin sur (A) la surface massique foliaire, (B) la perte graduelle en eau, (C) le contenu relatif en eau et (D) l'indice de tolérance à la salinité des plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* après 21 jours de traitement salin à différents niveaux.

Espèces	TRT [NaCl]	LMA (mg/cm ²)	RWL (mg/cm ² .min)	RWC (%)	STI (%)
<i>A. karroo</i>	0 mM	17,6 ± 2,43 ^b	6,25 ± 1,06 ^b	94,5 ± 0,02 ^a	100 ± 0,00 ^a
	200 mM	16,9 ± 1,75 ^b	14,9 ± 2,00 ^a	91,0 ± 0,04 ^b	99,5 ± 19,9 ^a
	400 mM	15,2 ± 1,74 ^b	6,22 ± 5,35 ^b	87,9 ± 0,11 ^d	108 ± 23,7 ^a
	600 mM	21,6 ± 2,02 ^a	9,72 ± 0,20 ^b	89,4 ± 0,31 ^c	82,0 ± 1,53 ^a
<i>A. saligna</i>	0 mM	13,6 ± 0,96 ^b	34,8 ± 17,4 ^{cb}	97,3 ± 0,02 ^a	100 ± 0,00 ^a
	200 mM	15,2 ± 0,46 ^b	58,8 ± 2,31 ^a	93,5 ± 0,03 ^b	61,8 ± 11,8 ^b
	400 mM	16,6 ± 0,53 ^b	42,5 ± 2,21 ^b	89,9 ± 0,18 ^d	51,7 ± 24,8 ^b
	600 mM	21,1 ± 5,44 ^a	23,9 ± 6,43 ^c	90,7 ± 0,11 ^c	29,9 ± 1,78 ^c

Tableau 3. Effets du stress salin sur la teneur en (A) Chlorophylle totale, (B) Chlorophylle a, (C) Chlorophylle b, (D) Caroténoïdes et (E) sur le rapport Chl a/b chez les feuilles des plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* après 21 jours de traitement salin à différents niveaux.

Espèces	TRT [NaCl]	Chl _T	Chl _a	Chl _b	Car	Rap _{a/b}
<i>A. karroo</i>	0 mM	3,78 ± 0,15 ^b	2,47 ± 0,03 ^a	0,83 ± 0,07 ^b	0,93 ± 0,05 ^b	2,99 ± 0,25 ^a
	200 mM	4,20 ± 0,19 ^a	2,64 ± 0,11 ^a	0,99 ± 0,04 ^a	1,03 ± 0,02 ^a	2,66 ± 0,12 ^b
	400 mM	3,09 ± 0,29 ^c	1,95 ± 0,21 ^b	0,70 ± 0,05 ^c	0,75 ± 0,09 ^c	2,75 ± 0,16 ^{ba}
	600 mM	3,10 ± 0,20 ^c	1,97 ± 0,14 ^b	0,70 ± 0,04 ^c	0,76 ± 0,06 ^c	2,78 ± 0,08 ^{ba}
<i>A. saligna</i>	0 mM	1,33 ± 0,15 ^c	0,82 ± 0,08 ^a	0,32 ± 0,03 ^a	0,33 ± 0,19 ^a	2,60 ± 0,19 ^a
	200 mM	1,83 ± 0,05 ^a	0,59 ± 0,06 ^{cb}	0,22 ± 0,03 ^b	0,23 ± 0,20 ^{cb}	2,62 ± 0,20 ^a
	400 mM	1,51 ± 0,09 ^b	0,52 ± 0,05 ^c	0,20 ± 0,02 ^b	0,21 ± 0,21 ^c	2,62 ± 0,21 ^a
	600 mM	1,62 ± 0,13 ^b	0,64 ± 0,06 ^b	0,24 ± 0,03 ^b	0,25 ± 0,20 ^b	2,60 ± 0,20 ^a

Tableau 4. Effets du stress salin sur la teneur en (A) ions sodium (Na⁺), (B) potassium (K⁺), (C) calcium (Ca²⁺) et (D) le rapport Na⁺/K⁺ (RapNa/K) chez les feuilles des plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* après 21 jours de traitement salin à différents niveaux. (E) Corrélation entre les ions sodium et les ions potassium et (F) corrélation entre les ions sodium et calcium.

Espèces	TRT [NaCl]	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Rap _{Na/K}
<i>A. karroo</i>	0 mM	0,96 ± 0,12 ^d	11,8 ± 0,07 ^a	2,10 ± 0,16 ^d	0,08 ± 0,01 ^d
	200 mM	10,4 ± 0,22 ^c	7,50 ± 0,24 ^b	5,09 ± 0,15 ^c	1,38 ± 0,04 ^c
	400 mM	16,6 ± 0,35 ^b	5,92 ± 0,19 ^c	11,4 ± 0,24 ^b	2,79 ± 0,14 ^b
	600 mM	22,3 ± 0,93 ^a	2,85 ± 0,18 ^d	23,7 ± 0,20 ^a	7,85 ± 0,87 ^a
<i>A. saligna</i>	0 mM	0,62 ± 0,06 ^d	12,2 ± 0,38 ^a	3,03 ± 0,24 ^d	0,05 ± 0,01 ^c
	200 mM	13,7 ± 0,83 ^c	6,62 ± 0,42 ^b	9,31 ± 0,60 ^b	2,07 ± 0,27 ^b
	400 mM	18,6 ± 0,83 ^b	6,63 ± 0,48 ^c	13,7 ± 0,65 ^a	5,18 ± 0,56 ^b
	600 mM	33,2 ± 3,08 ^a	1,54 ± 0,33 ^d	5,87 ± 0,52 ^c	22,4 ± 5,84 ^a

Tableau 5. Effets du stress salin sur la teneur en (A) proline, (B) protéines solubles, (C) acides aminés libres totaux, (D) amidon et en (E) sucres réducteurs chez les feuilles des plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* après 21 jours de traitement salin à différents niveaux.

Espèces	TRT [NaCl]	Pr	Ps	AALT	A m	RS
<i>A. karroo</i>	0 mM	2,75 ± 0,15 ^d	13,6 ± 0,41 ^a	19,9 ± 0,37 ^d	139 ± 0,97 ^a	11,3 ± 0,52 ^d
	200 mM	14,3 ± 0,25 ^c	12,2 ± 0,52 ^b	21,9 ± 0,41 ^c	121 ± 1,62 ^b	13,6 ± 0,44 ^c
	400 mM	20,5 ± 0,42 ^b	11,1 ± 0,37 ^c	27,9 ± 0,80 ^b	91,7 ± 0,41 ^c	19,0 ± 0,77 ^b
	600 mM	42,7 ± 0,28 ^a	9,85 ± 0,23 ^d	36,9 ± 0,70 ^a	78,8 ± 3,08 ^d	34,0 ± 1,41 ^a
<i>A. saligna</i>	0 mM	1,65 ± 0,09 ^d	8,29 ± 0,25 ^a	12,1 ± 0,23 ^c	85,3 ± 0,59 ^a	6,86 ± 0,31 ^d
	200 mM	8,69 ± 0,15 ^c	7,43 ± 0,32 ^b	12,1 ± 0,25 ^c	73,9 ± 0,99 ^b	8,29 ± 0,27 ^c
	400 mM	12,5 ± 0,26 ^b	6,76 ± 0,22 ^c	17,0 ± 0,49 ^b	55,9 ± 0,25 ^c	11,6 ± 0,47 ^b
	600 mM	26,0 ± 0,17 ^a	5,98 ± 0,14 ^d	22,5 ± 0,43 ^a	48,0 ± 1,88 ^d	20,7 ± 0,86 ^a

Tableau 6. Effets du stress salin sur les paramètres anatomiques de la tige (coupe transversale, 1.5 cm de l'apex caulinaire) : (A) Surface de la tige, (B) Périmètre de la tige, (C) Epaisseur du cortex, (D) Surface de la stèle, (E) Périmètre de la stèle et (F) Surface de la moelle chez les plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* après 21 jours de traitement salin à différents niveaux.

Espèces	TRT [NaCl]	Tige					
		SA	SP	SCT	SSA	SSP	SPA
<i>A. karroo</i>	0 mM	0,23±0,01 ^a	2,23±0,40 ^a	0,05±0,00 ^a	0,13±0,01 ^a	1,44±0,04 ^a	0,03±0,00 ^a
	200 mM	0,20±0,01 ^b	2,25±0,23 ^a	0,04±0,00 ^b	0,10±0,00 ^b	1,31±0,02 ^b	0,01±0,00 ^b
	400 mM	0,16±0,00 ^d	1,75±0,05 ^b	0,03±0,00 ^c	0,08±0,00 ^c	1,11±0,00 ^c	0,01±0,00 ^c
	600 mM	0,18±0,00 ^c	1,75±0,02 ^b	0,04±0,00 ^b	0,07±0,00 ^c	1,09±0,01 ^c	0,01±0,00 ^c
<i>A. saligna</i>	0 mM	0,22±0,02 ^b	1,83±0,10 ^c	0,05±0,00 ^b	0,12±0,00 ^d	1,39±0,05 ^c	0,05±0,00 ^d
	200 mM	0,21±0,01 ^b	2,05±0,08 ^b	0,03±0,00 ^c	0,14±0,01 ^c	1,49±0,09 ^c	0,03±0,00 ^d
	400 mM	0,38±0,00 ^a	2,46±0,04 ^a	0,05±0,00 ^b	0,23±0,00 ^a	1,85±0,01 ^a	0,08±0,00 ^a
	600 mM	0,39±0,02 ^a	2,43±0,02 ^a	0,08±0,00 ^a	0,19±0,01 ^b	1,71±0,06 ^b	0,07±0,00 ^b

Tableau 7. Effets du stress salin sur les paramètres anatomiques de la racine (Observation de profil, 1.5 cm de l'apex racinaire) : (A) Epaisseur, (B) Epaisseur du cortex et (C) Epaisseur de la stèle chez les plantes d'*A. karroo* et d'*A. saligna* après 21 jours de traitement salin à différents niveaux.

Espèces	TRT [NaCl]	Racine		
		RT	RCT	RST
<i>A. karroo</i>	0 mM	0,26±0,05 ^b	0,07±0,01 ^b	0,12±0,04 ^{cb}
	200 mM	0,29±0,00 ^b	0,10±0,00 ^a	0,09±0,01 ^c
	400 mM	0,30±0,02 ^b	0,06±0,00 ^b	0,16±0,03 ^{ba}
	600 mM	0,36±0,01 ^a	0,09±0,00 ^a	0,19±0,01 ^a
<i>A. saligna</i>	0 mM	0,24±0,02 ^c	0,07±0,01 ^b	0,09±0,01 ^c
	200 mM	0,32±0,00 ^a	0,07±0,00 ^b	0,16±0,00 ^a
	400 mM	0,28±0,01 ^b	0,08±0,00 ^b	0,12±0,00 ^b
	600 mM	0,33±0,03 ^a	0,10±0,00 ^a	0,09±0,01 ^c

Références bibliographiques

- Abbas, G., Saqib, M. & Akhtar, J. (2016).** Differential response of two acacia species to salinity & water stress. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 53(1):51-57.
- Abbas, G., Saqib, M., Akhtar, J. & Basra, S.M.A. (2013).** Salinity tolerance potential of two acacia species at early seedling stage. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 50(4).
- Abdulrazak, S.A., Fujihara, T., Ondiek, J.K. & Ørskov E.R. (2000).** Nutritive evaluation of some *Acacia* tree leaves from Kenya. *Animal Feed Science & Technology*, 85:89-98.
- Aguiar, M.R. & Sala, O.E. (1999).** Patch structure, dynamics & implications for the functioning of arid ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, 14(7):273-277.
- Ahmad, R. & Ismail, S. (1993).** Studies on selection of salt-tolerant plants for food, fodder & fuel from world flora. In *Towards the rational use of high salinity tolerant plants*, 295-304.
- Ahmed, C.B., Magdich, S., Rouina, B.B., Boukhris, M. & Abdullah, F.B. (2012).** Saline water irrigation effects on soil salinity distribution & some physiological responses of field grown Chemlali olive. *Journal of environmental management*, 113:538-544.
- Ajmi, A., Vázquez, S., Morales, F., Chaari, A., El-Jendoubi, H., Abadía, A., & Larbi, A. (2018).** Prolonged artificial shade affects morphological, anatomical, biochemical & ecophysiological behavior of young olive trees (cv. Arbosana). *Scientia Horticulturae*, 241:275-284.
- Akbarimoghaddam, H., Galavi, M., Ghanbari, A. & Panjehkeh, N. (2011).** Salinity Effects on Seed Germination & seedling Growth of Bread Wheat Cultivars. *Trakia Journal of Sciences*, 9:43-50.
- Akcın, T.A., Akcın, A. & Yalcın, E. (2017).** Anatomical changes induced by salinity stress in *Salicornia freitagii* (Amaranthaceae). *Brazilian Journal of Botany*, 40(4):1013-1018.
- Albacete, A. A., Martínez-Andújar, C. & Pérez-Alfocea, F. (2014).** Hormonal and metabolic regulation of source–sink relations under salinity and drought: From plant survival to crop yield stability. *Biotechnology Advances*, 32(1):12-30.
- Alencar, N.L., Gadelha, C.G., Gallão M.I., Dolder, M.A., Prisco, J.T. & Gomes-Filho, E. (2015).** Ultrastructural & Biochemical Changes Induced by Salt Stress in *Jatropha curcas* Seeds during Germination & Seedling Development. *Functional Plant Biology*, 42:865-874.
- Al-Fatimi, M., Wurster, M., Schröder G. & Lindequist, U. (2007).** Antioxidant, antimicrobial & cytotoxic activities of selected medicinal plants from Yemen. *Journal of Ethnopharmacology*, 111:657-666.
- Alharby, H.F., Colmer, T.D. & Barrett-Lennard, E.G. (2014).** Salt accumulation & depletion in the root-zone of the halophyte *Atriplex nummularia* Lindl.: influence of salinity, leaf area & plant water use. *Plant & Soil*, 382(1-2):31-41.
- Ali, S., Gautam, R.K., Mahajan, R., Krishnamurthy, S.L., Sharma, S.K., Singh, R.K. & Ismail, A.M. (2013).** Stress indices & selectable traits in SALTOL QTL introgressed rice genotypes for reproductive stage tolerance to sodicity & salinity stresses. *Field Crops Research*, 154:65-73.
- Allen, C. D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M. & Gonzalez, P. (2010).** A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest ecology and management*, 259(4):660-684.
- Allen, P.S., Bence-Arnold, R.L., Batlla, D. & Bradford, K.J. (2007).** Modeling of seed dormancy. In: Bradford K.J. & Nonogaki H. (eds) *Seed Development, Dormancy & Germination*. *Annual Plant Reviews*, 27:72-112.
- Almeida, D.M., Oliveira, M.M., & Saibo, N.J. (2017).** Regulation of Na⁺ & K⁺ homeostasis in plants: towards improved salt stress tolerance in crop plants. *Genetics & Molecular Biology*, 40(1):326-345.
- Al-Mudaris, M.A., Omari, M.A. & Hattar, B.I. (1999).** Enhancing Germination of four Australian Acacia Species through Seed Treatments Overcoming Coat-Imposed Dormancy. *Der Tropenlandwirt- Journal of Agriculture in the Tropics & Subtropics*, 100(2):147-156.
- Aloui, H., Souguir, M. & Hannachi C. (2014).** Effect of salt stress (NaCl) on germination & early seedling parameters of three pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Stress Physiology Biochemistry*, 10(1).

- Al-Tardeh, S. & Iraki, N. (2013).** Morphological & anatomical responses of two Palestinian tomato (*Solanum lycopersicon* L.) cultivars to salinity during seed germination & early growth stages. *African journal of Biotechnology*, 12(30):4788-4797.
- Amtmann, A., Armengaud, P. & Volkov, V. (2018).** Potassium nutrition & salt stress. *Annual Plant Reviews*, 328-379.
- Amusa, T.O. (2011).** Effects of three pre-treatment techniques on dormancy & germination of seeds of *Azizelia africana* (Sm. Ex pers). *Journal of Horticulture & forestry*, 3(4):96-103.
- Anderson, D.M.W. & Pinto, G. (1980).** Variations in the composition & properties of the gum exuded by *Acacia karroo* Hayne in different African locations. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 80:85-89.
- Anderson, D.M.W., Dea, I.C.M. & Smith, R.N. (1968).** Studies on uronic acid materials: PART XXIX. Some structural features of *Acacia laeta* gum. *Carbohydrate Research*, 7:320-333.
- Arbonnier, M. (2009).** Arbres, Arbustes et Lianes des Zones Sèches d'Afrique de l'Ouest. Versailles, Ed. Quae, MNHN, 574 pp.
- Archibald, S. & Bond, W.J. (2003).** Growing tall vs growing wide: tree architecture & allometry of *Acacia karroo* in forest, savanna, & arid environments. *Oikos*, 102(1):3-14.
- Aroca, R., Porcel, R. & Ruiz-Lozano, J.M. (2011).** Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. *Journal of Experimental Botany*, 63(1):43-57.
- Ashraf, M. & Orooj, A. (2006).** Salt Stress Effects on Growth, Ion Accumulation & Seed Oil Concentration in an Arid Zone Traditional Medicinal Plant Ajwain (*Trachyspermum ammi* (L.) Sprague). *Journal of Arid Environments*, 64:209-220.
- Ashraf, M., Öztürk, M.A. & Athar, H.R. (2008).** Salinity & water stress: improving crop efficiency (Eds.) Springer Science Business Media, 44p.
- Ashraf, M.P.J.C. & Harris, P.J.C. 2004.** Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166(1):3-16.
- Askri, H., Rejeb, S., Jebari, H., Nahdi, H. & Rejeb, M.N. (2007).** Effet du chlorure de sodium sur la germination des graines de trois variétés de pastèque (*Citrullus lanatus* L.). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 18(1):51-55.
- Aswathappa, N., Marcar, N.E. & Thomson, L.A.J. (1987).** Salt tolerance of Australian tropical & subtropical acacias. *Australian Acacias in Developing Countries. ACIAR Proceedings*, 16:70-73.
- Atkinson, N.J. & Urwin, P.E. (2012).** The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of experimental botany*, 63(10):3523-3543.
- Aubert, Y., Vile, D., Pervent, M., Aldon, D., Ranty, B., Simonneau, T. & Galaud, J.P. (2010).** RD20, a stress-inducible caleosin, participates in stomatal control, transpiration and drought tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Plant and Cell Physiology*, 51(12):1975-1987.
- Augé, R.M. (2001).** Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11(1), 3-42.
- Auld, T.D. (1983).** Seed predation in native legumes of south-eastern Australia. *Austral Ecology*, 8:367-376.
- Ayers, A.D. (1952).** Seed Germination as Affected by Soil Moisture & Salinity. *Agronomy Journal*, 44:82-84.
- Azad, M.S., Manik, M.R., Hasan, M.S. & Matin, M.A. (2011).** Effect of different pre-sowing treatments on seed germination percentage & growth performance of *Acacia auriculiformis*. *Journal of Forestry Research*, 22(2):183-188.
- Azad, M.S., Zedan-Al-Musa, M. & Matin, M.A. (2010).** Effects of pre-sowing treatments on seed germination of *Melia azedarach*. *Journal of Forestry Research*, 21(2):193-196.
- Bâ, A.M., Diédhiou, A.G., Prin, Y., Galiana, A. & Duponnois, R. (2010).** Management of ectomycorrhizal symbionts associated to useful exotic tree species to improve reforestation performances in tropical Africa. *Annals of Forest Science*, 67(3):301.
- Bader, B., Aissaoui, F., Kmicha, I., Salem, A. B., Chehab, H., Gargouri, K., ... & Chaieb, M. (2015).** Effects of salinity stress on water desalination, olive tree (*Olea europaea* L. cvs 'Picholine', 'Meski' and 'Ascolana') growth & ion accumulation. *Desalination*, 364:46-52.
- Bajji, M., Kinet, J.M. & Lutts, S. (2002).** Osmotic & ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, & ion content of *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae). *Canadian Journal of Botany* 80(3), 297-304.

- Balakhnina, T., Bulak, P., Nosalewicz, M., Pietruszewski, S. & Włodarczyk, T. (2015).** The Influence of Wheat *Triticum aestivum* L. Seed Pre-Sowing Treatment with Magnetic Fields on Germination, Seedling Growth, & Antioxidant Potential under Optimal Soil Watering & Flooding. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37:59.
- Balal, R.M., Ashraf, M.Y., Khan, M.M., Jaskani, M.J. & Ashfaq, M. (2011).** Influence of salt stress on growth & biochemical parameters of citrus rootstocks. *Pak. J. Bot.*, 43(4):2135-2141.
- Balestri, E. & Cinelli, F. (2004).** Germination & early-seedling establishment capacity of *Pancratium maritimum* L. (Amaryllidaceae) on coastal dunes in the north-western Mediterranean. *Journal of Coastal Research*, 761-770.
- Bani-Aameur, F. & Sipple-Michmerhuizen, J. (2001).** Germination & seedling survival of Argan (*Argania spinosa*) under experimental saline conditions. *Journal of arid environments*, 49(3):533-540.
- Bargaz, A., Nassar, R.M.A., Rady, M.M., Gaballah, M.S., Thompson, S.M., Brestic, M., ... & Abdelhamid, M.T. (2016).** Improved salinity tolerance by phosphorus fertilizer in two *Phaseolus vulgaris* recombinant inbred lines contrasting in their P-efficiency. *Journal of agronomy & crop science*, 202(6):497-507.
- Barrs, H.D. & Weatherley, P.E. (1962).** A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 24:519-570.
- Bashan, Y., Salazar, B.G., Moreno, M., Lopez, B.R. & Linderman, R.G. (2012).** Restoration of eroded soil in the Sonoran Desert with native leguminous trees using plant growth-promoting microorganisms & limited amounts of compost & water. *Journal of Environmental Management*, 102:26-36.
- Bayuelo-Jimenez, J.S., Craig, R. & Lynch, J.P. (2002).** Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination & early seedling growth. *Crop Science*, 42(5):1584-1594.
- Bekhrad, H., Mahdavi, B. & Rahimi, A. (2016).** Effect of Seed Priming on Growth & Some Physiological Characteristics of Sesame (*Sesamum indicum* L.) under salinity Stress Condition caused by Alkali Salts. *Pizhūhishhā-yi zirāī-i Īrān*, 13(4) :810-822.
- Belay, Z., Vestberg, M. & Assefa, F. (2013).** Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi associated with acacia trees from different land use systems in Ethiopia. *African Journal of Microbiology Research*, 7(48):5503-5515.
- Belkhodja, M. & Bidai, Y. (2004).** La réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 15(4):331-335.
- Belkhodja, M. (1996a).** Action de la salinité sur le comportement physiologique, métabolique, minérale et recherche de marqueurs moléculaires chez la fève (*Vicia faba* L.). Thèse de Doctorat en Es-science naturelle, 255p.
- Belkhodja, M. (1996b).** Action de la salinité sur les teneurs en proline des organes adultes de trois lignées de fève (*Vicia faba* L.) au cours de leur développement. *Acta Botanica Gallica*, 143(1):21-28.
- Bencherif, K., Boutekrabet, A., Fontaine, J., Laruelle, F., Dalpè, Y. & Anissa, L.H.S. (2015).** Impact of Soil Salinity on Arbuscular mycorrhizal Fungi Biodiversity & Microflora Biomass Associated with *Tamarix articulate* Vahl Rhizosphere in Arid & Semi-Arid Algerian Areas. *Science of the Total Environment*, 533:488-494.
- Berhaut, J. (1975).** Fore illustrée du Sénégal, IV. Mimosées. Ministère du développement rural, Sénégal, 439-591.
- Bernstein, L. & Hayward, H.E. (1958).** Physiology of salt tolerance. *Annual Review of Plant Physiology* 9(1):25-46.
- Bernstein, L. (1975).** Effects of salinity & sodicity on plant growth. *Annual review of phytopathology* 13(1):295-312.
- Bewley, J.D. & Black, M. (2012).** Physiology & Biochemistry of Seeds in Relation to Germination: Viability, Dormancy, & Environmental Control 2. Springer Science Business Media.
- Bewley, J.D. (1997).** Seed germination & dormancy. *The Plant Cell*, 9(7):1055-1066.
- Blakesley, D., Elliott, S., Kuarak, C., Navakitbumrung, P., Zangkum, S. & Anusarnsunthorn, V. (2002).** Propagating framework tree species to restore seasonally dry tropical forest: implications of seasonal seed dispersal & dormancy. *Forest Ecology & Management* 164(1):31-38.

- Blumwald, E. (2000).** Sodium transport and salt tolerance in plants. *Current opinion in cell biology*, 12(4):431-434.
- Bose, J., Rodrigo-Moreno, A. & Shabala, S. (2014).** ROS homeostasis in halophytes in the context of salinity stress tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 65(5):1241-1257.
- Boucheneb, N. & Benhouhou, S.S. (2012).** Plant communities in the Tamanrasset region, Ahaggar, Algeria. *Ecologia mediterranea: Revue internationale d'écologie méditerranéenne = International Journal of Mediterranean Ecology*, 38(2):67-80.
- Bouillet, J.P., Laclau, J.P., de Moraes Gonçalves, J.L., Voigtlaenderb, M., Gavad, J.L., Leitee F.P., Hakamadaf, R., Mareschala, L., Mabialag, A., Tardyh, F., Levillaing, J., Deleportea, P., Eprona, D. & Nouvellona, Y. (2013).** Eucalyptus & Acacia Tree Growth over Entire Rotation in Single- & Mixed-Species Plantations across Five Sites in Brazil & Congo. *Forest Ecology & Management*, 301:89-101.
- Boukhatem, Z.F., Domergue, O., Bekki, A., Merabet, C., Sekkour, S., Bouazza, F. & Galiana, A. (2012).** Symbiotic characterization and diversity of rhizobia associated with native and introduced acacias in arid and semi-arid regions in Algeria. *FEMS microbiology ecology*, 80(3):534-547.
- Boukhatem, Z.F., Merabet C., Bekki A., Sekkour S., Domergue O., Dupponois R. & Antoine G. (2016).** Nodular bacterial endophyte diversity associated with native *Acacia spp.* in desert region of Algeria. *African Journal of Microbiology Research*, 10:634-645.
- Boyer, J.S., James, R.A., Munns, R., Condon, T.A. & Passioura, J.B. (2008).** Osmotic adjustment leads to anomalously low estimates of relative water content in wheat & barley. *Functional Plant Biology*, 35(11):1172-1182.
- Boyko, H. & Boyko, E. (1964).** Principles & experiments regarding direct irrigation with highly saline & seawater without desalination. *Transactions of the New York Academy of Sciences* 26(S8 Series II):1087-1102.
- Braccini, A.D.L., Ruiz, H.A., Braccini, M.D.C. & Reis, M.S. (1996).** Germinação e vigor de sementes de soja sob estresse hídrico induzido por soluções de cloreto de sódio, manitol e polietileno glicol. *Revista Brasileira de Sementes*, 18(1):10-16.
- Bradford, K.J. (1995).** Water relations in seed germination. *Seed development & germination*, 1(13):351-396.
- Bradford, M.M. (1976).** A rapid sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilising the principle of protein-Dye Binding. *Anal Biochem*, 72:248-254.
- Brown, J., Enright, N.J. & Miller, B.P. (2003).** Seed production and germination in two rare and three common co-occurring *Acacia* species from south-east Australia. *Austral Ecology*, 28(3):271-280.
- Burrows, G.E., Virgona, J.M. & Heady, R.D. (2009).** Effect of boiling water, seed coat structure & provenance on the germination of *Acacia melanoxylon* seeds. *Australian Journal of Botany*, 57(2):139-147.
- Bushman, B.S., Johnson, D.A., Connors, K.J. & Jones, T.A. (2015).** Germination & Seedling Emergence of Three Semiarid Western North American Legumes. *Rangeland Ecology Management*, 68(6):501-506.
- Byrt, C.S., Munns, R., Burton, R.A., Gilliham, M. & Wege, S. (2018).** Root cell wall solutions for crop plants in saline soils. *Plant science*, 269:47-55.
- Cao, S., Chen, L., Shankman, D., Wang, C., Wang, X. & Zhang, H. (2011).** Excessive reliance on afforestation in China's arid & semi-arid regions: Lessons in ecological restoration. *Earth-Science Reviews*, 104, 240–245.
- Chakraborty, K., Basak, N., Bhaduri, D., Ray, S., Vijayan, J., Chattopadhyay, K. & Sarkar, R. K. (2018).** Ionic Basis of Salt Tolerance in Plants: Nutrient Homeostasis & Oxidative Stress Tolerance. In *Plant Nutrients & Abiotic Stress Tolerance* (pp. 325-362). Springer, Singapore.
- Chaum, S., Somsueb, S., Samphumphuang, T. & Kirdmanee, C. (2013).** Salt tolerant screening in eucalypt genotypes (*Eucalyptus spp.*) using photosynthetic abilities, proline accumulation, & growth characteristics as effective indices. In *Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 49(5):611-619.
- Chaum, S., Supaibulwattana, K. & Kirdmanee, C. (2009).** Comparative effects of salt stress & extreme pH stress combined on glycinebetaine accumulation, photosynthetic abilities & growth characters of two rice genotypes. *Rice Science*, 16(4):274-282.

- Chaves, M.M., Flexas, J. & Pinheiro, C. (2009).** Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of botany*, 103(4):551-560.
- Chazdon, R.L. (2008).** Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *science*, 320(5882):1458-1460.
- Cheeseman, J. M. (2015).** The evolution of halophytes, glycophytes and crops, and its implications for food security under saline conditions. *New Phytologist*, 206(2):557-570.
- Chen, M., Zhao, Y., Zhuo, C., Lu, S. & Guo, Z. (2015).** Overexpression of a NF-YC transcription factor from bermudagrass confers tolerance to drought & salinity in transgenic rice. *Plant Biotechnology Journal*, 13(4):482-491.
- Chen, S., & Polle, A. (2010).** Salinity tolerance of *Populus*. *Plant biology*, 12(2):317-333.
- Chen, S.Y., Chien, C.T., Chung, J D., Yang Y.S. & Kuo, S.R. (2007).** Dormancy-break & germination in seeds of *Prunus campanulata* (Rosaceae): role of covering layers & changes in concentration of abscisic acid & gibberellins. *Seed Science Research*, 17(1):21-32.
- Cheung, K.C., Wong, J.P.K., Zhang, ZQ., Wong, J.W.C. & Wong, M. H. (2000).** Revegetation of lagoon ash using the legume species *Acacia auriculiformis* and *Leucaena leucocephala*. *Environmental Pollution*, 109(1):75-82.
- Chiapusio, G., Sanchez, A.M., Reigosa, M.J., Gonzalez L. & Pellissier F. (1997).** Do germination indices adequately reflect allelochemical effects on the germination process? *Journal of Chemical Ecology*, 23(11):2445-2453.
- Chmielarz, P. (2009).** Cryopreservation of dormant orthodox seeds of forest trees: Mazzard cherry (*Prunus avium* L.). *Annals of forest science*, 66(4):1-9.
- Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T.J., Cochard, H., Delzon, S., Bhaskar, R. & Jacobsen, A.L. (2012).** Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*, 491(7426):752.
- Choi, W. G., Miller, G., Wallace, I., Harper, J., Mittler, R. & Gilroy, S. (2017).** Orchestrating rapid long-distance signaling in plants with Ca²⁺, ROS & electrical signals. *The Plant Journal*, 90(4):698-707.
- Clarke J.M., Romagosa I., Jana S., Srivastava J.P. & McCaig T.N. (1989a).** Relationship of excised-leaf water loss rate & yield of durum wheat in diverse environments. *Canadian Journal of Plant Science*, 69:1075-1081.
- Clarke, H.D., Seigler, D.S. & Ebinger, J.E. (1989b).** *Acacia farnesiana* (Fabaceae: Mimosoideae) & related species from Mexico, the southwestern US, & the Caribbean. *Systematic Botany*, 14:549-564.
- Collins, N.C., Tardieu, F. & Tuberosa, R. (2008).** Quantitative trait loci & crop performance under abiotic stress: where do we stand?. *Plant physiology*, 147(2):469-486.
- Côme, D. (1970).** Obstacles to germination. Masson Eds, Paris, 162p.
- Connor, J.D., Schwabe, K., King, D. & Knapp, K. (2012).** Irrigated agriculture & climate change: the influence of water supply variability & salinity on adaptation. *Ecological Economics*, 77:149-157.
- Coughenour, M.B. & Detling, J.K. (1986).** *Acacia tortilis* seed germination responses to water potential & nutrients. *African Journal of Ecology*, 24:203-205.
- Cramer, G.R. & Quarrie, S.A. (2002).** Abscisic acid is correlated with the leaf growth inhibition of four genotypes of maize differing in their response to salinity. *Functional Plant Biology* 29(1):111-115.
- Cuin, T.A., Bose, J., Stefano, G., Jha, D., Tester, M., Mancuso, S. & Shabala, S. (2011).** Assessing the role of root plasma membrane & tonoplast Na⁺/H⁺ exchangers in salinity tolerance in wheat: in planta quantification methods. *Plant, Cell & Environment*, 34(6):947-961.
- Curutchet, C., Kongsted, J., Muñoz-Losa, A., Hossein-Nejad, H., Scholes, G.D. & Mennucci, B. (2011).** Photosynthetic light-harvesting is tuned by the heterogeneous polarizable environment of the protein. *Journal of the American Chemical Society*, 133(9):3078-3084.
- D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K.F., Ravi, S. & Runyan, C.W. (2013).** Global desertification: drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources*, 51:326-344.
- Dagar, J.C. & Minhas, P.S. (2016).** Saline irrigation for productive agroforestry systems. In *Agroforestry for the Management of Waterlogged Saline Soils & Poor-Quality Waters* (pp. 145-161). Springer, New Delhi.
- Dai, Z.Y. & Li, Y.P. (2013).** A multistage irrigation water allocation model for agricultural land-use planning under uncertainty. *Agricultural water management*, 129:69-79.

- de Azevedo Neto, A.D., Prisco J.T., Enéas-Filho, J., de Abreu, C.E.B. & Gomes-Filho, E. (2006).** Effect of salt stress on antioxidative enzymes & lipid peroxidation in leaves & roots of salt-tolerant & salt-sensitive maize genotypes. *Environmental & Experimental Botany* 56(1):87-94.
- De Martonne, E. (1926).** Une nouvelle fonction climatologique : l'indice d'aridité. *La Météorologie*, 2:449-458
- de Souza Moreira, F.M., de Carvalho, T.S. & Siqueira, J.O. (2010).** Effect of fertilizers, lime, and inoculation with rhizobia and mycorrhizal fungi on the growth of four leguminous tree species in a low-fertility soil. *Biology and fertility of soils*, 46(8):771-779.
- De Steven, D. (1991).** Experiments on mechanisms of tree establishment in old-field succession: seedling emergence. *Ecology*, 72(3):1066-1075.
- Deinlein, U., Stephan, A. B., Horie, T., Luo, W., Xu, G. & Schroeder, J. I. (2014).** Plant salt-tolerance mechanisms. *Trends in plant science*, 19(6), 371-379.
- Dhileepan, K., Senaratne, K.A.D. & Raghun, S. (2006).** A systematic approach to biological control agent exploration & prioritisation for prickly acacia (*Acacia nilotica* ssp. *indica*). *Austral Entomology*, 45:303-307.
- Diatta, S., Salifou, I., Sy, M.O., Kaboré-Zoungrana, C.Y., Banoin, M. & Akpo, L.E. (2008).** Évaluation des potentialités germinatives d'un ligneux fourrager sahélien : *Maerua crassifolia* Forssk., Capparaceae. *Livestock Research for Rural Development*, 20(6).
- Dickhoefer, U., Buerkert, A., Brinkmann, K. & Schlecht, E. (2010).** The role of pasture management for sustainable livestock production in semi-arid subtropical mountain regions. *Journal of Arid Environments*, 74(8):962-972.
- Dierick, D. & Hölscher, D. (2009).** Species-specific tree water use characteristics in reforestation stands in the Philippines. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(8):1317-1326.
- Diouf, D., Samba-Mbaye, R., Lesueur, D., Ba, A.T., Dreyfus, B., De Lajudie, P. & Neyra, M. (2007).** Genetic Diversity of *Acacia seyal* Del. Rhizobial Populations Indigenous to Senegalese Soils in Relation to Salinity & pH of the Sampling sites. *Microbial Ecology*, 54, 553-566.
- Diouf, I.A., Derivot, L., Bitton, F., Pascual, L. & Causse, M. (2018).** Water Deficit & Salinity Stress Reveal Many Specific QTL for Plant Growth & Fruit Quality Traits in Tomato. *Frontiers in plant science*, 9:279.
- Dkhil, B.B. & Denden, M. (2010).** Salt Stress Induced Changes in Germination, Sugars, Starch & Enzyme of Carbohydrate Metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench Seeds. *African Journal of Agricultural Research*, 5:1412-1418.
- Dolatabadian, A., Sanavy, S.A.M.M. & Ghanati, F. (2011).** Effect of salinity on growth, xylem structure & anatomical characteristics of soybean. *Notulae Scientia Biologicae*, 3(1):41-45.
- Dreyer, I. & Uozumi, N. (2011).** Potassium channels in plant cells. *The FEBS Journal*, 278(22):4293-4303.
- Duponnois, R., Planchette, C., Prin, Y., Ducouso, M., Kisa, M., Bâ, A.M. & Galiana, A. (2007).** Use of mycorrhizal inoculation to improve reforestation process with Australian Acacia in Sahelian ecozones. *Ecological engineering*, 29(1):105-112.
- Egley, G.H. (1978).** Germination & Viability of Weed Seeds after 2.5 Years in a 50-Year Buried Seed Study. *Weed Science*, 26, 230-239.
- Ekbic, E., Cagiran, C., Korkmaz, K., Kose, M.A. & Aras, V. (2017).** Assessment of watermelon accessions for salt tolerance using stress tolerance indices. *Ciência e Agrotecnologia*, 41(6): 616-625.
- El-Lamey, T.M. (2015).** Morphological & Anatomical Responses of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. & *Prosopis chilensis* (Molina) Stuntz to RasSudr Conditions. *Journal of Applied Environmental & Biological Sciences*, 5(7):43-51.
- Ellouzi, H., Hamed, K.B., Cela, J., Munné-Bosch, S. & Abdelly, C. (2011).** Early effects of salt stress on the physiological & oxidative status of *Cakile maritima* (halophyte) & *Arabidopsis thaliana* (glycophyte). *Physiologia Plantarum*, 142(2):128-143.
- Erickson, T.E., Merritt, D.J. & Turner, S.R. (2016).** Overcoming physical seed dormancy in priority native species for use in arid-zone restoration programs. *Australian Journal of Botany*, 64(5):401-416.

- Esashi, Y., Wakabayashi, S., Tsukada, Y. & Satoh, S. (1979).** Possible involvement of the alternative respiration system in the ethylene-stimulated germination of cocklebur seeds. *Plant physiology*, 63(6):1039-1043.
- Estrelles, E., Biondi, E., Galiè, M., Mainardi, F., Hurtado, A. & Soriano, P. (2015).** Aridity level, rainfall pattern & soil features as key factors in germination strategies in salt-affected plant communities. *Journal of Arid Environments*, 117, 1-9.
- Everitt, J.H. (1983).** Seed Germination Characteristics of Two Woody Legumes (Retama & Twisted acacia) from South Texas. *Journal of Range Management*, 36:411-414.
- Farooq, M., Hussain, M., Wakeel, A. & Siddique, K.H. (2015).** Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, & management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2):461-481.
- Farshadfar, E., Farshadfar, M. & Sutka, J. (2001).** Combining ability analysis of drought tolerance in wheat over different water regimes. *Acta Agronomica Hungarica*, 48(4):353-361.
- Feikema, P.M., Morris, J.D. & Connell, L.D. (2010).** The water balance & water sources of a Eucalyptus plantation over shallow saline groundwater. *Plant & soil*, 332(1-2):429-449.
- Feng, K., Cui, L., Lv, S., Bian, J., Wang, M., Song, W. & Nie, X. (2018).** Comprehensive evaluating of wild and cultivated emmer wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes response to salt stress. *Plant growth regulation*, 84(2):261-273.
- Fernando, V.D., Al Khateeb, W., Belmonte, M.F. & Schroeder, D.F. (2018).** Role of Arabidopsis ABF1/3/4 during det1 germination in salt & osmotic stress conditions. *Plant molecular biology*, 97(1-2):149-163.
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G. & Sharkey, T.D. (2004).** Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant biology*, 6(3):269-279.
- Flowers T.J. & Colmer T.D. (2015).** Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. *Annals of Botany*, 115(3):327-331.
- Flowers, T.J. & Colmer, T.D. (2008).** Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*, 179(4):945-963.
- Flowers, T.J. (2004).** Improving Crop Salt Tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 55, 307-319.
- Flowers, T.J., Galal, H.K. & Bromham, L. (2010).** Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology*, 37(7):604-612.
- Foroughbakhch, F., Hauad, L.A., Cespedes, A.E., Ponce, E.E. & Gonzalez, N. (2001).** Evaluation of 15 indigenous & introduced species for reforestation & agroforestry in northeastern Mexico. *Agroforestry Systems*, 51:213-221.
- Founoune, H. (2001).** La symbiose ectomycorhizienne des acacias australiens en Afrique de l'Ouest : impact sur le développement de la plante hôte et sur le biofonctionnement du sol. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences, Meknès, Maroc.
- Founoune, H., Duponnois, R. & Bâ, A.M. (2002).** Ectomycorrhization of *Acacia mangium* Willd. & *Acacia holosericea*, a. Cunn. Ex G. Don in Senegal. Impact on Plant Growth, Populations of Indigenous Symbiotic Microorganisms & Plant Parasitic Nematodes. *Journal of Arid Environment*, 50:325-332.
- Franco, J.A., Bañón, S., Vicente, M.J., Miralles, J. & Martínez-Sánchez, J.J. (2011).** Root development in horticultural plants grown under abiotic stress conditions—a review. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 86(6):543-556.
- Franco, J.A., Fernández, J.A., Bañón, S. & González, A. (1997).** Relationship between the effects of salinity on seedling leaf area & fruit yield of six muskmelon cultivars. *HortScience*, 32(4):642-644.
- Franklin, J.F. & Johnson, K.N. (2012).** A restoration framework for federal forests in the Pacific Northwest. *Journal of Forestry*, 110(8):429-439.
- Fuentes-Ramírez, A., Pauchard, A., Cavieres, L.A. & García, R.A. (2011).** Survival and growth of *Acacia dealbata* vs. native trees across an invasion front in south-central Chile. *Forest Ecology and Management*, 261(6):1003-1009.
- Gaaloul, N. (2011).** Water resources & management in Tunisia. *International Journal of Water* 6(1-2):92-116.
- Galford, G.L., Melillo, J.M., Kicklighter, D.W., Cronin, T.W., Cerri, C. E., Mustard, J.F. & Cerri, C.C. (2010).** Greenhouse gas emissions from alternative futures of deforestation and

- agricultural management in the southern Amazon. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(46):19649-19654.
- Gautier, D., Garcia, C., Negi, S. & Wardell, D.A. (2015).** The Limits and Failures of Existing Forest Governance Standards in Semi—Arid Contexts. *International Forestry Review*, 17(S2):114-126.
- Gei, M.G. & Powers, J.S. (2013).** Do legumes & non-legumes tree species affect soil properties in unmanaged forests & plantations in Costa Rican dry forests? *Soil Biology & Biochemistry*, 57:264-272.
- Germanà, M.A., Chiancone, B., Hammami, S.B. & Rapoport, H.F. (2014).** Olive embryo in vitro germination potential: role of explant configuration & embryo structure among cultivars. *Plant Cell, Tissue & Organ Culture*, 118(3):409-417.
- Ghanem, M.E., van Elteren, J., Albacete, A., Quinet, M., Martínez-Andújar, C., Kinet, J.M. & Lutts, S. (2009).** Impact of salinity on early reproductive physiology of tomato (*Solanum lycopersicum*) in relation to a heterogeneous distribution of toxic ions in flower organs. *Functional Plant Biology*, 36(2):125-136.
- Ghars, M.A., Parre, E., Debez, A., Bordenave, M., Richard, L., Leport, L., Bouchereau, A., Savouré, A. & Abdelly, C. (2008).** Comparative Salt Tolerance Analysis between *Arabidopsis thaliana* & *Thellungiella halophila*, with Special Emphasis on K⁺/Na⁺ Selectivity & Proline Accumulation. *Journal of Plant Physiology*, 165:588-599.
- Ghassali, F., Salkini, A.K., Petersen, S.L., Niane, A.A. & Louhaichi, M. (2012).** Germination dynamics of *Acacia* species under different seed treatments. *Range Management & Agroforestry*, 33(1):37-42.
- Gibbs, H.K. & Salmon, J.M. (2015).** Mapping the world's degraded lands. *Applied geography*, 57, 12-21.
- Gill, R.M.A. & Beardall, V. (2001).** The impact of deer on woodlands: the effects of browsing & seed dispersal on vegetation structure & composition. *Forestry*, 74(3):209-218.
- Gill, S.S. & Tuteja, N. (2010).** Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant physiology and biochemistry*, 48(12):909-930.
- Gimeno, T.E., Sommerville, K.E., Valladares, F. & Atkin, O.K. (2010).** Homeostasis of respiration under drought & its important consequences for foliar carbon balance in a drier climate: insights from two contrasting *Acacia* species. *Functional Plant Biology*, 37:323-333.
- Giri, B., Kapoor, R. & Mukerji, K.G. (2003).** Influence of arbuscular mycorrhizal fungi & salinity on growth, biomass, & mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. *Biology & Fertility of Soils*, 38(3):170-175.
- Giri, B., Kapoor, R. & Mukerji, K.G. (2007).** Improved tolerance of *Acacia nilotica* to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* may be partly related to elevated K/Na ratios in root & shoot tissues. *Microbial ecology*, 54:753-760.
- Girija, C., Smith, B.N. & Swamy, P.M. (2002).** Interactive effects of sodium chloride & calcium chloride on the accumulation of proline & glycine betaine in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Environmental & Experimental Botany*, 47(1)-1-10.
- Glenn, E.P., Anday, T., Chaturvedi, R., Martínez-García, R., Pearlstein, S., Soliz, D., Nelson, S.G. & Felger, R.S. (2013).** Three halophytes for saline-water agriculture: An oilseed, a forage & a grain crop. *Environmental & Experimental Botany*, 92:110-121.
- Gokturk, A., Olmez, Z., Karasah, B. & Surat, H. (2012).** Effects of cold stratification & sulphuric acid pre-treatments on germination of pomegranate (*Punica granatum* L.) seeds in greenhouse & laboratory conditions. *Scientific Research & Essays*, 7(25):2225-2229.
- Gomes Filho, E. & Sodek, L. (1988).** Effect of salinity on ribonuclease activity of *Vigna unguiculata* cotyledons during germination. *Journal of plant physiology*, 132(3):307-311.
- Gorham, J. (1995).** Mechanism of salt tolerance of halophytes. *Halophytes and Biosaline Agriculture*, 31.
- Gouaidia, L., Guefaifia, O., Boudoukha, A., Hemila, L.M. & Martin, C. (2012).** Évaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : exemple de la plaine de Meskiana (Nord-Est Algérien). *Physio-Géo. Géographie, Physique, et Environnement*, 6:141-160.
- Grace, J., Berninger, F. & Nagy, L. (2002).** Impacts of Climate Change on the Tree Line. *Annals of Botany -London*, 90:537-544.

- Green M.B. & Schwarz J.H. (1989).** Anomaly cancellations in supersymmetric D=10 gauge theory & superstring theory. In *Supergravities in Diverse Dimensions: Commentary & Reprints (In 2 Volumes)* (pp. 1146-1151).
- Guan, B., Zhou, D., Zhang, H., Tian, Y., Japhet, W. & Wang, P. (2009).** Germination responses of *Medicago ruthenica* seeds to salinity, alkalinity, & temperature. *Journal of Arid Environments*, 73(1):135-138.
- Guerrier, G. (1984).** Relations entre la tolérance ou la sensibilité à la salinité lors de la germination des semences et les composantes de la nutrition en sodium. *Biologia plantarum*, 26(1), 22-28.
- Guisan, A. & Thuiller, W. (2005).** Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters*, 8:993-1009.
- Guja, L.K., Merritt, D.J. & Dixon, K.W. (2010).** Buoyancy, salt tolerance & germination of coastal seeds: implications for oceanic hydrochorous dispersal. *Functional Plant Biology* 37(12):1175-1186.
- Gul, B. & Khan, M.A. (2006).** Role of calcium in alleviating salinity effects in coastal halophytes. Springer Netherlands. *Ecophysiology of high salinity tolerant plants*, 107-114.
- Gunes, A., Inal, A., Adak, M.S., Bagci, E.G., Cicek, N. & Eraslan, F. (2008).** Effect of drought stress implemented at pre-or post-anthesis stage on some physiological parameters as screening criteria in chickpea cultivars. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55(1):59-67.
- Hajer, A.S., Malibari, A.A., Al-Zahrani, H.S. & Almaghrabi, O.A. (2006).** Responses of three tomato cultivars to sea water salinity 1. Effect of salinity on the seedling growth. *African Journal of Biotechnology*, 5(10).
- Hajiboland, R., Norouzi, F. & Poschenrieder, C. (2014).** Growth, physiological, biochemical & ionic responses of pistachio seedlings to mild & high salinity. *Trees*, 28(4):1065-1078.
- Hamed, K. B., Dabbous, A., El Shaer, H., & Abdely, C. (2018).** Salinity responses and adaptive mechanisms in halophytes and their exploitation for producing salinity tolerant crops. In *Salinity Responses and Tolerance in Plants, Volume 2* (pp. 1-19). Springer, Cham.
- Han, Y., Yin, S. & Huang, L. (2015).** Towards plant salinity tolerance-implications from ion transporters & biochemical regulation. *Plant growth regulation*, 76(1):13-23.
- Hanjra, M.A. & Qureshi, M.E. (2010).** Global water crisis & future food security in an era of climate change. *Food Policy*, 35(5):365-377.
- Hansen, J. & Møller, I.B. (1975).** Percolation of starch & soluble carbohydrates from plant tissue for quantitative determination with anthrone. *Anal. Biochem.*, 68:87-94.
- Haque, M.A., Rahman, M.M., Nihad, S.A.I., Howlader, M.R.A. & Akand, M.M.H. (2016).** Morpho-physiological response of *Acacia auriculiformis* as influenced by seawater induced salinity stress. *Forest Systems*, 25(3):e071.
- Hasegawa, P.M. (2013).** Sodium (Na⁺) homeostasis & salt tolerance of plants. *Environmental & Experimental Botany*, 92:19-31.
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K. & Bohnert, H.J. (2000).** Plant cellular & molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Biology*, 51(1):463-499.
- Hassanein R.A., Bassuony F.M., Baraka D.M. & Khalil R.R. (2009).** Physiological effects of nicotinamide & ascorbic acid on *Zea mays* plant grown under salinity stress. 1-Changes in growth, some relevant metabolic activities & oxidative defense systems. *Research journal of agriculture & biological sciences*, 5(1):72-81.
- Hauser, F. & Horie, T. (2010).** A conserved primary salt tolerance mechanism mediated by HKT transporters: a mechanism for sodium exclusion & maintenance of high K⁺/Na⁺ ratio in leaves during salinity stress. *Plant, cell & environment*, 33(4):552-565.
- He, T. & Cramer, G.R. (1992).** Growth & mineral nutrition of six rapid-cycling *Brassica* species in response to seawater salinity. *Plant & Soil*, 139(2):285-294.
- Hecht, S.B. (2012).** From eco-catastrophe to zero deforestation? Interdisciplinarity, politics, environmentalisms and reduced clearing in Amazonia. *Environmental conservation*, 39(1):4-19.
- Hernández, R. & Kubota, C. (2016).** Physiological responses of cucumber seedlings under different blue & red photon flux ratios using LEDs. *Environmental & Experimental Botany*, 121:66-74.
- Herrera, J. & Garcia, D. (2010).** Effects of forest fragmentation on seed dispersal & seedling establishment in ornithochorous trees. *Conservation Biology*, 24(4):1089-1098.

- Hilhorst, H. & Karssen, C. (2000).** Effect of chemical environment on seed germination. *Seeds. The ecology of regeneration in plants communities.* Cab International, Oxon, UK, 293-309.
- Himabindu, Y., Chakradhar, T., Reddy, M.C., Kanygin, A., Redding, K.E. & Chandrasekhar, T. (2016).** Salt-tolerant genes from halophytes are potential key players of salt tolerance in glycophytes. *Environmental & Experimental Botany*, 124:39-63.
- Howe, H.F. & Smallwood, J. (1982).** Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 13(1):201-228.
- Hsiao, T.C., Acevedo, E., Fereres, E. & Henderson, D.W. (1976).** Water stress, growth, & osmotic adjustment. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 273(927):479-500.
- Hu, L., Xiang, L., Li, S., Zou, Z. & Hu, X.H. (2016).** Beneficial role of spermidine in chlorophyll metabolism & D1 protein content in tomato seedlings under salinity-alkalinity stress. *Physiologia plantarum*, 156(4):468-477.
- Hu, Y. & Schmidhalter, U. (2005).** Drought & salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition & Soil Science*, 168(4), 541-549.
- Illoul, H., Hernández, F.R., Vila, M., Adjas, N., Younes, A.A., Bournissa, M. & Ameer, F.L.K. (2012).** The genus *Ostreopsis* along the Algerian coastal waters (SW Mediterranean Sea) associated with a human respiratory intoxication episode. *Cryptogamie, Algologie* 33(2):209-216.
- Ingram, D.S., Vince-Prue, D. & Gregory, P.J. (2016).** *Science & the garden: the scientific basis of horticultural practice* (Eds.). John Wiley Sons.
- Jaleel, C.A., Gopi, R., Muthiah, G. & Panneerselvam, R. (2008a).** Effects of calcium chloride on metabolism of salt-stressed *Dioscorea rotundata*. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 50:63-67.
- Jaleel, C.A., Sankar, B., Sridharan, R. & Panneerselvam, R. (2008b).** Soil salinity alters growth, chlorophyll content, & secondary metabolite accumulation in *Catharanthus roseus*. *Turkish Journal of Biology*, 32:79-83.
- Jami, F., Slippers, B., Wingfield, M.J. & Gryzenhout, M. (2012).** Five new species of the Botryosphaeriaceae from *Acacia karroo* in South Africa. *Cryptogamie, Mycologie*, 33:245-266.
- Jaouadi, W., Hamrouni, L., Souayah, N. & Khouja, M.L. (2010).** Etude de la germination des graines d'*Acacia tortilis* sous différentes contraintes abiotiques. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 14(4):643-652.
- Ji, H., Pardo, J.M., Batelli, G., Van Oosten, M.J., Bressan, R.A. & Li, X. (2013).** The Salt Overly Sensitive (SOS) pathway: established & emerging roles. *Molecular plant*, 6(2):275-286.
- Jiang, Y., MacDonald, S.E. & Zwiazek, J.J. (1995).** Effects of cold storage & water stress on water relations & gas exchange of white spruce (*Picea glauca*) seedlings. *Tree physiology*, 15(4):267-273.
- Jiang, Y.M., Chen, C.R., Liu, Y.Q. & Xu, Z.H. (2010).** Soil soluble organic carbon and nitrogen pools under mono-and mixed species forest ecosystems in subtropical China. *Journal of Soils and Sediments*, 10(6):1071-1081.
- Jogaiah, S., Ramteke, S.D., Sharma, J. & Upadhyay, A.K. (2014).** Moisture & salinity stress induced changes in biochemical constituents & water relations of different grape rootstock cultivars. *International Journal of Agronomy*, 2:1-8.
- John, V.S., Catalina, C., Charlotte P. & Juan B. (2003).** Efficient leaf ion partitioning, an overriding condition for abscisic acid-controlled stomatal and leaf growth responses to NaCl salinization in two legumes. *J. Exp. Bot.*, 54:2111-2119.
- Jordán, M.M., Navarro-Pedreno, J., García-Sánchez, E., Mateu, J. & Juan, P. (2004).** Spatial dynamics of soil salinity under arid & semi-arid conditions: geological & environmental implications. *Environmental Geology*, 45(4):448-456.
- Jurado, E. & Flores, J. (2005).** Is seed dormancy under environmental control or bound to plant traits?. *Journal of Vegetation Science*, 16(5):559-564.
- Karimi, E., Abdolzadeh, A. & Sadeghipour, H.R. (2012).** Increasing salt tolerance in Olive, *Olea europaea* L. plants by supplemental potassium nutrition involves changes in ion accumulation & anatomical attributes. *International Journal of plant production*, 3(4):49-60.

- Katerji, N., Van Hoorn, J.W., Hamdy, A. & Mastrorilli, M. (2003).** Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agricultural water management*, 62(1):37-66.
- Keiffer, C.H. & Ungar, I.A. (1997).** The effect of extended exposure to hypersaline conditions on the germination of five inland halophyte species. *American Journal of Botany*, 84(1):104-111.
- Kempton, H. & Atkins, D. (2000).** Delayed environmental impacts from mining in semi-arid climates. In *Proceedings from the Fifth International Conference on Acid Rock Drainage, ICARD 1*, 21-24.
- Khan, A.A. (1971).** Cytokinins: permissive role in seed germination. *Science*, 171(3974):853-859.
- Khan, M.A. & Duke N.C. (2001).** Halophytes—A resource for the future. *Wetlands Ecology & Management*, 9(6):455-456.
- Khan, M.A. & Rizvi, Y. (1994).** Effect of salinity, temperature, & growth regulators on the germination & early seedling growth of *Atriplex griffithii* var. *stocksii*. *Canadian Journal of Botany*, 72(4):475-479.
- Khan, M.A. & Ungar, I.A. (1984).** The effect of salinity & temperature on the germination of polymorphic seeds & growth of *Atriplex triangularis* Willd. *American Journal of Botany*, 481-489.
- Khan, M.A., Ungar I.A. & Showalter A.M. (2000).** Effects of salinity on growth, water relations & ion accumulation of the subtropical perennial halophyte, *Atriplex griffithii* var. *stocksii*. *Annals of Botany*, 85(2), 225-232.
- Kheloufi, A. & Mansouri, L.M. (2017).** Effect of sulphuric acid on the germination of a forage tree *Acacia nilotica* (L.) subsp. *tomentosa*. *Livestock Research for Rural Development*, 29:1-11.
- Kheloufi, A. (2017).** Germination of seeds from two leguminous trees (*Acacia karroo* & *Gleditsia triacanthos*) following different pre-treatments. *Seed Science & Technology*, 45:1-4.
- Kheloufi, A., Chorfi, A. & Mansouri, L.M. (2016a).** Comparative effect of NaCl & CaCl₂ on seed germination of *Acacia saligna* L. & *Acacia decurrens* Willd. *International Journal of Biosciences*, 8(6):1-13.
- Kheloufi, A., Chorfi, A. & Mansouri, L.M. (2016b).** The Mediterranean seawater: the impact on the germination & the seedlings emergence in three *Acacia* species. *Journal of Biodiversity & Environmental Sciences*, 8(6):238-249.
- Kheloufi, A., Chorfi, A. & Mansouri, L.M. (2017a).** Germination kinetics in two *Acacia karroo* Hayne ecotypes under salinity conditions. *Open Access Library Journal*, 4:1-11.
- Kheloufi, A., Mansouri, L.M. & Boukhatem, Z.F. (2017b).** Application & use of sulfuric acid to improve seed germination of three acacia species. *Reforesta*, 3:1-10.
- Kholodova, V.P., Neto, D.S., Meshcheryakov, A.B., Borisova, N.N., Aleksandrova, S.N. & Kuznetsov, V.V. (2002).** Can stress-induced CAM provide for performing the developmental program in *Mesembryanthemum crystallinum* plants under long-term salinity? *Russian journal of plant physiology*, 49(3):336-343.
- Khurana, E.K.T.A. & Singh, J.S. (2001).** Ecology of seed & seedling growth for conservation & restoration of tropical dry forest: a review. *Environmental conservation*, 28(1):39-52.
- Koorneef, M., Bentsink, L. & Hilhorst, H. (2002).** Seed dormancy & germination. *Current Opinion in Plant Biology*, 5(1):33-36.
- Koyro, H.W. (2006).** Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations & solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environmental & Experimental Botany*, 56(2):136-146.
- Kucera, B., Cohn M.A. & Leubner-Metzger G. (2005).** Plant hormone interactions during seed dormancy release & germination. *Seed Science Research*, 15(4):281-307.
- Küchler, A.W. & Zonneveld, I.S. (1988).** Floristic analysis of vegetation. In: Küchler A.W. et Zonneveld I.S. (Eds.), *Vegetation mapping. Handbook of vegetation science*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 10:51-66.
- Kull, C.A., Shackleton, C.M., Cunningham, P.J., Ducatillon, C., Dufour-Dror, J.M., Esler, K.J., Friday, J.B., Gouvela, A.C., Griffin, A.R., Marchante, E., Midgley, S.J., Pauchard, A., Rangan, H., Richardson, D.M., Rinaudo, T., Tassin, J., Urgenson, L.S., von Maltitz, G.P., Zenni, R.D. & Midgley, S.J. (2011).** Adoption use & perception of Australian acacias around the world. *Diversity & Distributions*, 17(5):822-836.
- Kumar, P.R. (2013).** Seed Enhancement Technologies for Assured Plant Stand Establishment. *Modern Technologies for Sustainable Agriculture*, 77.

- Kunert, N., Schwendenmann, L., and Hölscher, D. (2010).** Seasonal dynamics of tree sap flux and water use in nine species in Panamanian forest plantations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(3):411-419.
- Kurum, R., Ulukapi, K., Aydinsakir, K. & Onus, A.N. (2013).** The influence of salinity on seedling growth of some pumpkin varieties used as rootstock. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 41(1):219-225.
- Lahdachi, F.Z., Nassiri, L., Ibjibijen, J. & Mokhtari, F. (2015).** Aperçu sur les acacias spontanés et introduits au Maroc. *European Scientific Journal*, 11, 88-102.
- Lal, B. & Khanna, S. (1994).** Selection of salt-tolerant *Rhizobium* isolates of *Acacia nilotica*. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 10:637-639.
- Lal, R. (2009).** Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Security*, 1(1):45-57.
- Lassouane, N., Aid, F. & Lutts, S. (2013).** Water stress impact on young seedling growth of *Acacia arabica*. *Acta physiologiae plantarum*, 35(7):2157-2169.
- Läuchli, A. & Epstein, E. (1990).** Plant responses to saline and sodic conditions. *Agricultural salinity assessment and management*, 71:113-137.
- Lavini, A., Pulvento, C., d'Andria, R., Riccardi, M. & Jacobsen, S.E. (2016).** Effects of saline irrigation on yield & qualitative characterization of seed of an amaranth accession grown under Mediterranean conditions. *The Journal of Agricultural Science*, 154(5):858-869.
- Le Houérou, H.N. (1992).** The role of saltbushes (*Atriplex spp.*) in arid land rehabilitation in the Mediterranean Basin: a review. *Agroforestry systems*, 18(2):107-148.
- Le Houérou, H.N. (2000).** Restoration & rehabilitation of arid & semiarid Mediterranean ecosystems in North Africa & West Asia: a review. *Arid Soil Research & Rehabilitation*, 14(1):3-14.
- Le, H.D., Smith, C., Herbohn, J. & Harrison, S. (2012).** More than just trees: assessing reforestation success in tropical developing countries. *Journal of Rural Studies*, 28(1):5-19.
- Lee, M.H., Cho, E.J., Wi, S.G., Bae, H., Kim, J.E., Cho, J.Y., ... & Chung, B.Y. (2013).** Divergences in morphological changes & antioxidant responses in salt-tolerant & salt-sensitive rice seedlings after salt stress. *Plant physiology & biochemistry*, 70:325-335.
- Lessani, H. & Marschner, H. (1978).** Relation between Salt Tolerance & Long-Distance Transport of Sodium & Chloride in Various Crop Species. *Functional Plant Biology*, 5:27-37.
- Levinsh, G. (2006).** Biological basis of biological diversity: physiological adaptations of plants to heterogeneous habitats along a sea coast. *Acta Univ. Latv.* 710:53-79.
- Li, N., Zhou, X., Wang, R., Li, J., Lu, C. & Chen, S. (2018).** Salt Compartmentation & Antioxidant Defense in Roots & Leaves of Two Non-Salt Secretor Mangroves under Salt Stress. In *Mangrove Ecosystem Ecology & Function*. IntechOpen.
- Li, X., Kang, Y., Wan, S., Chen, X. & Shiping, L. (2016).** A vegetation reconstruction method to plant *Sedum spectabile* Boreau using drip-irrigation with saline water on a coastal saline soil in region around Bohai Gulf. *Paddy and water environment*, 14(4):491-498.
- Lichtenthaler, H. & Wellburn, A. (1983).** Determination of total carotenoids & chlorophyll a & b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11:591-603.
- Liu, H.L., Shi, X., Wang, J.C., Yin, L.K., Huang, Z.Y. & Zhang, D.Y. (2011a).** Effects of sand burial, soil water content & distribution pattern of seeds in sand on seed germination & seedling survival of *Eremosparton songoricum* (Fabaceae), a rare species inhabiting the moving sand dunes of the Gurbantunggut Desert of China. *Plant & Soil*, 345(1-2):69-87.
- Liu, K., Baskin, J.M., Baskin, C.C., Bu, H., Liu, M., Liu, W. & Du, G. (2011b).** Effect of storage conditions on germination of seeds of 489 species from high elevation grasslands of the eastern Tibet Plateau & some implications for climate change. *American Journal of Botany*, 98(1):12-19.
- Liu, M.X. & Liang, G.L. (2016).** Research progress on leaf mass per area. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 40(8):847-860.
- Liu, Y., Stanturf, J. & Goodrick, S. (2010).** Trends in Global Wildfire Potential in a Changing Climate. *Forest Ecology & Management*, 259:685-697.
- Liu, Y., Yu, L., Qu, Y., Chen, J., Liu, X., Hong, H. & Guan, R. (2016).** GmSALT3, which confers improved soybean salt tolerance in the field, increases leaf Cl-exclusion prior to Na⁺ exclusion but does not improve early vigor under salinity. *Frontiers in plant science*, 7:1485.

- Long, R.L., Gorecki, M.J., Renton, M., Scott, J.K., Colville, L., Goggin, D.E. & Finch-Savage, W.E. (2015).** The ecophysiology of seed persistence: a mechanistic view of the journey to germination or demise. *Biological Reviews*, 90(1):31-59.
- Loreau, M. & Mazancourt, C. (2013).** Biodiversity and ecosystem stability: a synthesis of underlying mechanisms. *Ecology letters*, 16(s1):106-115.
- Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S. & De Poorter, M. (2000).** 100 of the world's worst invasive alien species: a selection from the global invasive species database. Auckland, New Zealand: Invasive Species Specialist Group, p. 12.
- Luzzadder-Beach, S., Beach, T., Hutson, S. & Krause, S. (2016).** Sky-earth, lake-sea: climate & water in Maya history & landscape. *Antiquity*, 90(350):426-442.
- Maguire, J.D. (1962).** Speed of germination-aid in selection aid in evolution for seedling emergence & vigor. *Crop Science*, 2:176-177.
- Mahamane, L. & Mahamane, S. (2005).** Biodiversity of ligneous species in semi-arid to arid zones of southwestern Niger according to anthropogenic & natural factors. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105:267-271.
- Mäkelä, P., Kärkkäinen, J. & Somersalo, S. (2000).** Effect of glycinebetaine on chloroplast ultrastructure, chlorophyll & protein content, & RuBPCO activities in tomato grown under drought or salinity. *Biologia Plantarum*, 43(3):471-475.
- Maldonado-Magaña, A., Favela-Torres, E., Rivera-Cabrera, F. & Volke-Sepulveda, T.L. (2011).** Lead bioaccumulation in *Acacia farnesiana* & its effect on lipid peroxidation & glutathione production. *Plant & Soil*, 339:377-389.
- Manga, A., Ndiaye, F. & Diop, T.A. (2017).** Le champignon arbusculaire *Glomus aggregatum* améliore la nutrition minérale d'*Acacia seyal* soumis au stress salin progressif. *International Journal of Biological & Chemical Sciences*, 11(5):2352-2365.
- Manishankar, P., Wang, N., Köster, P., Alatar, A.A. & Kudla, J. (2018).** Calcium signaling during salt stress & in the regulation of ion homeostasis. *Journal of experimental botany*, 69(17):4215-4226.
- Mansouri, L.M. & Kheloufi, A. (2017).** Effect of diluted seawater on seed germination & seedling growth of three leguminous crops (pea, chickpea & common bean). *Agriculture & Forestry/Poljoprivreda i Sumarstvo*, 63(2):131-142.
- Mansouri, L.M. (2011).** Production d'inoculum de *Rhizobium* associés à *Acacia saligna* pour revégétaliser la carrière de Terga (Aïn Temouchent). Mémoire de magistère, Université d'Oran Es-sénia, Oran, Algérie, 116 pp.
- Maroyi, A. (2017).** *Acacia karroo* Hayne: Ethnomedicinal uses, phytochemistry & pharmacology of an important medicinal plant in southern Africa. *Asian Pacific journal of tropical medicine*, 10(4):351-360.
- Masamba, C. (1994).** Presowing seed treatments on four African *Acacia* species: appropriate technology for use in forestry for rural development. *Forest Ecology & Management*, 64(2):105-109.
- Masondo, N.A., Kulkarni, M.G., Finnie, J.F. & Van Staden, J. (2018).** Influence of biostimulants-seed-priming on *Ceratotheca triloba* germination & seedling growth under low temperatures, low osmotic potential & salinity stress. *Ecotoxicology & Environmental Safety*, 147:43-48.
- Masters, D.G., Benes, S.E. & Norman, H.C. (2007).** Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119(3-4):234-248.
- Materechera, E.K. & Materechera, S.A. (2001).** Breaking dormancy to improve germination in seeds of *Acacia erioloba*. *South African Journal of Plant & Soil*, 18(4):142-146.
- Matsui, A., Ishida, J., Morosawa, T., Mochizuki, Y., Kaminuma, E., Endo, T.A. & Satou, M. (2008).** Arabidopsis transcriptome analysis under drought, cold, high-salinity and ABA treatment conditions using a tiling array. *Plant and Cell Physiology*, 49(8), 1135-1149.
- Mauromicale, G. & Cavallaro, V. (1995).** Effects of seed osmopriming on germination of tomato at different water potential. *Seed Science & Technology*, 23(2):393-403.
- McDowell, N., Pockman, W.T., Allen, C.D., Breshears, D.D., Cobb, N., Kolb, T. & Yezpez, E.A. (2008).** Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought?. *New phytologist*, 178(4):719-739.
- McInnes, A. & Brockwell, J. (2008).** *Acacia* species used for revegetation in South-Eastern Australia require more than one multi-strain rhizobial inoculant. In *Biological Nitrogen Fixation:*

- Towards Poverty Alleviation through Sustainable Agriculture (pp. 79-80). Springer, Dordrecht.
- Meloni, D.A., Gulotta, M.R. & Martínez, C.A. (2008).** Salinity tolerance in *Schinopsis quebracho colorado*: Seed germination, growth, ion relations & metabolic responses. *Journal of Arid Environments*, 72(10):1785-1792.
- Meloni, F., Dettori, C.A., Mascia, F., Podda, L. & Bacchetta, G. (2015).** What does the germination ecophysiology of the invasive *Acacia saligna* (Labill.) Wendl. (Fabaceae) teach us for its management?. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 149(2):242-250.
- Menzies, A.R., Osman, M.E., Malik, A.A. & Baldwin, T.C. (1996).** A comparison of the physicochemical & immunological properties of the plant gum exudates of *Acacia senegal* (Gum arabic) & *Acacia seyal* (Gum tahlá). *Food Additives et Contaminants*, 13:991-999.
- Midgley, J.J. & Bond, W.J. (2001).** A synthesis of the demography of African acacias. *Journal of Tropical Ecology*, 17(6):871-886.
- Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S. & Mittler, R. (2010).** Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, cell and environment*, 33(4):453-467.
- Mirkovic, T., Ostroumov, E.E., Anna, J.M., van Grondelle, R. & Scholes, G.D. (2016).** Light absorption & energy transfer in the antenna complexes of photosynthetic organisms. *Chemical reviews*, 117(2):249-293.
- Mittler, R. (2006).** Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in plant science*, 11(1):15-19.
- Moffett, A.A. & Nixon, K.M. (1974).** The effects of selffertilization on Green Wattle (*Acacia decurrens* Willd.) & Black Wattle (*Acacia mearnsii* De Wild.). *Wattle Research Institute, Africa*, 66-84.
- Mohamed-Yasseen, Y., Barringer, S.A., Splittstoesser, W.E. & Costanza, S. (1994).** The role of seed coats in seed viability. *The Botanical Review*, 60(4):426-439.
- Mohammadi, H., Soltani, A., Sadeghipour, H.R. & Zeinali, E. (2011).** Effects of seed aging on subsequent seed reserve utilization & seedling growth in soybean. *International Journal of Plant Production*, 5(1):65-70.
- Moir-Barnetson, L., Veneklaas, E.J. & Colmer, T.D. (2016).** Salinity tolerances of three succulent halophytes (*Tecticornia spp.*) differentially distributed along a salinity gradient. *Functional Plant Biology*, 43(8):739-750.
- Mokoboki, H.K., Ndlovu, L.R. & Malatje, M.M. (2011).** Intake and relative palatability indices of acacia species fed to sheep and goats. *Agroforestry systems*, 81(1):31-35.
- Moles, A.T. & Westoby, M. (2006).** Seed size & plant strategy across the whole life cycle. *Oikos*, 113(1):91-105.
- Monroy, A.F. & Dhindsa, R.S. (1995).** Low-temperature signal transduction: induction of cold acclimation-specific genes of alfalfa by calcium at 25 degrees C. *The Plant Cell*, 7(3):321-331.
- Morais, M. C., Panuccio, M. R., Muscolo, A. & Freitas, H. (2012).** Salt tolerance traits increase the invasive success of *Acacia longifolia* in Portuguese coastal dunes. *Plant Physiology & Biochemistry*, 55:60-65.
- Morant-Manceau, A., Pradier, E. & Tremblin, G. (2004).** Osmotic adjustment, gas exchanges & chlorophyll fluorescence of a hexaploid triticale & its parental species under salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 161(1):25-33.
- Morton, S.R., Smith, M.S., Dickman, C.R., Dunkerley, D.L., Friedel, M.H., McAllister, R.R.J. & Wardle, G.M. (2011).** A fresh framework for the ecology of arid Australia. *Journal of Arid Environments*, 75(4):313-329.
- Mouradi, M., Bouizgaren, A., Farissi, M., Makoudi, B., Kabbadj, A., Very, A.A. & Ghoulam, C. (2016).** Osmopriming improves seeds germination, growth, antioxidant responses & membrane stability during early stage of Moroccan alfalfa populations under water deficit. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 76(3):265-272.
- Muchate, N.S., Nikalje, G.C., Rajurkar, N.S., Suprasanna, P. & Nikam, T.D. (2016).** Plant salt stress: adaptive responses, tolerance mechanism & bioengineering for salt tolerance. *The Botanical Review*, 82(4):371-406.
- Mudgal, V., Madaan, N. & Mudgal, A. (2010).** Biochemical mechanisms of salt tolerance in plants: a review. *International Journal of Botany*, 6(2):136-143.

- Muhammad, A., Odunola, O.A., Gbadegesin, M.A., Adegoke, A.M., Olugbami, J.O. & Uche, N.S. (2015).** Modulatory Role of Acacia Honey from North-West Nigeria on Sodium Arsenite-Induced Clastogenicity & Oxidative Stress in Male Wistar Rats. *Natural Product Research*, 29:321-326.
- Muhammad, S. & Amusa, N.A. (2003).** Effects of sulphuric acid & hot water treatments on seed germination of tamarind (*Tamarindus indica* L). *African journal of biotechnology*, 2(9) 2(9):376-279.
- Munns, R. & Termaat, A. (1986).** Whole-plant responses to salinity. *Functional Plant Biology*, 13(1):143-160.
- Munns, R. & Tester, M. (2008).** Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59:651-681.
- Munns, R. (2002).** Comparative physiology of salt & water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25(2):239-250.
- Munns, R., & Gilliam, M. (2015).** Salinity tolerance of crops—what is the cost?. *New phytologist*, 208(3), 668-673.
- Muñoz-Rodríguez, A.F., Sanjosé, I., Márquez-García, B., Infante-Izquierdo, M.D., Polo-Ávila, A., Nieva, F.J.J. & Castillo, J.M. (2017).** Germination syndromes in response to salinity of Chenopodiaceae halophytes along the intertidal gradient. *Aquatic botany*, 139:48-56.
- Munzuroglu, O. & Geckil, H. (2002).** Effects of metals on seed germination, root elongation, & coleoptile & hypocotyl growth in *Triticum aestivum* & *Cucumis sativus*. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, 43(2):203-213.
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A. & Solorio, B. (2011).** Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261(10):1654-1663.
- Musco, A., Panuccio, M.R. & Sidari, M. (2001).** The effect of phenols on respiratory enzymes in seed germination. *Plant Growth Regulation*, 35(1):31-35.
- Nahar, K., Hasanuzzaman, M. & Fujita, M. (2016).** Roles of osmolytes in plant adaptation to drought and salinity. In *Osmolytes and Plants Acclimation to Changing Environment: Emerging Omics Technologies* (pp. 37-68). Springer, New Delhi.
- Nakashizuka, T. (2001).** Species coexistence in temperate, mixed deciduous forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(4):205-210.
- Nascimento, W.M. & West, S.H. (2000).** Drying during muskmelon (*Cucumis melo* L.) seed priming & its effects on seed germination & deterioration. *Seed Science & Technology* 28(1):211-215.
- Nasr, S.M.H., Savadkoobi, S.K. & Ahmadi, E. (2013).** Effect of different seed treatments on dormancy breaking & germination in three species in arid & semi-arid lands. *Forest Science & Practice*, 15(2):130-136.
- Nasrin S., Hossain M., Abdullah S., Alam R., Raqibul M., Siddique H. & Saha S. (2016).** Salinity influence on survival, growth & nutrient distribution in different parts of *Millettia pinnata* seedlings. *Agriculture & Forestry/Poljoprivreda i Sumarstvo*, 62(4):161-173.
- Nawaz, K., Hussain K., Majeed, A., Khan, F., Afghan, S. & Ali, K. (2013).** Fatality of salt stress to plants: Morphological, physiological & biochemical aspects. *African Journal of Biotechnology*, 9(34).
- Naz, N., Hameed, M., Nawaz, T., Batool, R., Ashraf, M., Ahmad, F. & Ruby, T. (2013).** Structural adaptations in the desert halophyte *Aeluropus lagopoides* (Linn.) Trin. ex Thw. under high salinity. *Journal of Biological Research*, 19:150.
- Nedjimi, B. & Daoud, Y. (2009).** Ameliorative effect of CaCl₂ on growth, membrane permeability & nutrient uptake in *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* grown at high (NaCl) salinity. *Desalination*, 249(1):163-166.
- Nedjimi, B. (2017).** Calcium application enhances plant salt tolerance: a review. In *Essential Plant Nutrients* (pp. 367-377). Springer, Cham.
- Negrão, S., Schmöckel, S.M. & Tester, M. (2017).** Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, 119(1):1-11.
- Nemati, I., Moradi, F., Gholizadeh, S., Esmaeili, M.A. & Bihamta, M.R. (2011).** The effect of salinity stress on ions & soluble sugars distribution in leaves, leaf sheaths & roots of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Plant Soil Environ*, 57(1):26-33.

- Neumann, P. (1997).** Salinity resistance & plant growth revisited. *Plant Cell & Environment*, 20(9):1193-1198.
- Neumann, P.M., Azaizeh, H. & Leon, D. (1994).** Hardening of root cell walls: a growth inhibitory response to salinity stress. *Plant, Cell & Environment*, 17(3):303-309.
- Nichols, P.G.H., Malik, A.I., Stockdale, M. & Colmer, T.D. (2009).** Salt tolerance and avoidance mechanisms at germination of annual pasture legumes: importance for adaptation to saline environments. *Plant and Soil*, 315(1-2):241.
- Nie, W., Gong, B., Chen, Y., Wang, J., Wei, M., & Shi, Q. (2018).** Photosynthetic capacity, ion homeostasis and reactive oxygen metabolism were involved in exogenous salicylic acid increasing cucumber seedlings tolerance to alkaline stress. *Scientia Horticulturae*, 235:413-423.
- Nielsen, D.L., Brock, M.A., Rees, G.N. & Baldwin, D.S. (2003).** Effects of increasing salinity on freshwater ecosystems in Australia. *Australian Journal of Botany*, 51(6):655-665.
- Niknam, S.R. & McComb, J. (2000).** Salt tolerance screening of selected Australian woody species-a review. *Forest Ecology & Management*, 139(1):1-19.
- Noe, G.B., Krauss, K.W., Lockaby, B.G., Conner, W.H. & Hupp, C.R. (2013).** The effect of increasing salinity and forest mortality on soil nitrogen and phosphorus mineralization in tidal freshwater forested wetlands. *Biogeochemistry*, 114(1-3):225-244.
- Norden, N., Daws, M.I., Antoine, C., Gonzalez, M.A., Garwood, N.C. & Chave, J. (2009).** The relationship between seed mass & mean time to germination for 1037 tree species across five tropical forests. *Functional Ecology*, 23(1):203-210.
- Okçu, G., Kaya, M.D. & Atak, M. (2005).** Effects of Salt & Drought Stresses on Germination & Seedling Growth of Pea (*Pisum sativum* L.). *Turkish Journal of Agriculture & Forestry*, 29:237-242.
- Ola, H.A.E., Reham, E.F., Eisa, S.S. & Habib, S.A. (2012).** Morpho-anatomical changes in salt stressed kallar grass (*Leptochloa fusca* L. Kunth). *Res. J. Agric. Biol. Sci.*, 8(2):158-166.
- Onodera, M., Nakajima, T., Nanzyo, M., Takahashi, T., Xu, D., Homma, K. & Kokubun, M. (2019).** Regulation of root-to-leaf Na and Cl transport and its association with photosynthetic activity in salt-tolerant soybean genotypes. *Plant Production Science*, 1-13.
- Osborne, J.M., Fox, J.E.D. & Mercer, S. (1993).** Germination response under elevated salinities of six semi-arid bluebush species (Western Australia). Springer Netherlands, In *Towards the rational use of high salinity tolerant plants*, 323-338.
- Ozenda, P. (1977).** Flore du Sahara septentrional et central. 2ème édition augmentée, Editions du CNRS., Paris, 622 pp.
- Ozinga, W.A., Bekker, R. M., Schaminee, J.H. & Van Groenendael, J.M. (2004).** Dispersal potential in plant communities depends on environmental conditions. *Journal of Ecology*, 92(5):767-777.
- Padilla, F.M. & Pugnaire, F.I. (2006).** The Role of Nurse Plants in the Restoration of Degraded Environments. *Frontiers in Ecology & the Environment*, 4:196-202.
- Palmer, E. & Pitman, N. (1972).** Trees of southern Africa, covering all known indigenous species in the Republic of South Africa, South-West Africa, Botswana, Lesotho & Swaziland, 3 volumes. Balkema, Cap Town, South Africa, 2235 pp.
- Pandey, P., Irulappan, V., Bagavathiannan, M.V. & Senthil-Kumar, M. (2017).** Impact of combined abiotic and biotic stresses on plant growth and avenues for crop improvement by exploiting physio-morphological traits. *Frontiers in plant science*, 8:537.
- Panta, S., Flowers, T., Lane, P., Doyle, R., Haros, G. & Shabala S. (2014).** Halophyte agriculture: success stories. *Environmental & Experimental Botany*, 107:71-83.
- Parida, A.K. & Das, A.B. (2005).** Salt Tolerance & Salinity Effects on Plants: A Review. *Ecotoxicology & Environmental Safety*, 60:324-349.
- Parida, A.K. & Jha, B. (2010).** Salt tolerance mechanisms in mangroves: a review. *Trees*, 24(2):199-217.
- Parihar P., Singh S., Singh R., Singh V.P. & Prasad S.M. (2015).** Effect of salinity stress on plants & its tolerance strategies: a review. *Environmental Science & Pollution Research*, 22(6):4056-4075.

- Parvin, S., Biswas, S., Razzaque, S., Haque, T., Elias, S.M., Tammi, R.S. & Seraj, Z.I. (2015).** Salinity & Drought Tolerance Conferred by in Planta Transformation of SNAC1 Transcription Factor into a High-Yielding Rice Variety of Bangladesh. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37:1-12.
- Passioura, J.B. (1986).** Resistance to drought and salinity: avenues for improvement. *Functional Plant Biology*, 13(1):191-201.
- Patakas, A. (2012).** Abiotic stress-induced morphological & anatomical changes in plants. In *Abiotic Stress Responses in Plants* (pp. 21-39). Springer, New York, NY.
- Patanè, C. & Gresta, F. (2006).** Germination of *Astragalus hamosus* & *Medicago orbicularis* as affected by seed-coat dormancy breaking techniques. *Journal of Arid Environments*, 67(1):165-173.
- Patel, A.D., Jadeja, H. & Pandey, A.N. (2010).** Effect of salinization of soil on growth, water status & nutrient accumulation in seedlings of *Acacia auriculiformis* (Fabaceae). *Journal of Plant Nutrition*, 33(6):914-932.
- Patel, N.T., Panchal, N.S., Pandey, I.B. & Pandey, A.N. (2011).** Implications of calcium nutrition on the response of *Acacia senegal* (Mimosaceae) to soil salinity. *Anal Biol*, 33, 23-34.
- Pearce-Pinto, G.V.N., Van Der Moezel, P.G. & Bell, D.T. (1990).** Seed germination under salinity stress in Western Australian species of Eucalyptus. *Seed science & technology* 18(1), 113-118.
- Pearson, T.R.H., Burslem, D.F.R.P., Mullins, C.E. & Dalling, J.W. (2002).** Germination ecology of neotropical pioneers: interacting effects of environmental conditions & seed size. *Ecology*, 83(10):2798-2807.
- Pejchar, L. & Mooney, H.A. (2009).** Invasive species, ecosystem services & human well-being. *Trends in ecology & evolution*, 24(9):497-504.
- Peng, S.L., Liu, J. & Lu, H.F. (2005).** Characteristics and role of *Acacia auriculiformis* on vegetation restoration in lower subtropics of China. *Journal of Tropical Forest Science*, 508-525.
- Petrie, M.D., Wildeman, A.M., Bradford, J.B., Hubbard, R.M. & Lauenroth, W.K. (2016).** A review of precipitation & temperature control on seedling emergence & establishment for ponderosa & lodgepole pine forest regeneration. *Forest Ecology & Management*, 361:328-338.
- Pitman, M.G. & Läuchli, A. (2002).** Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In *Salinity: environment-plants-molecules* (pp. 3-20). Springer, Dordrecht.
- Plath, M., Mody, K., Potvin, C. & Dorn, S. (2011).** Establishment of native tropical timber trees in monoculture and mixed-species plantations: small-scale effects on tree performance and insect herbivory. *Forest Ecology and Management*, 261(3):741-750.
- Poljakoff-Mayber, A. (1975).** Morphological and anatomical changes in plants as a response to salinity stress. In *Plants in saline environments* (pp. 97-117). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Polle, A. & Chen, S. (2015).** On the salty side of life: molecular, physiological & anatomical adaptation & acclimation of trees to extreme habitats. *Plant, Cell & Environment*, 38(9):1794-1816.
- Poorter H., Niinemets Ü., Poorter L., Wright I.J. & Villar R. (2009).** Causes & consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. *New Phytologist*, 182(3):565-588.
- Poorter, L. & Markesteijn, L. (2008).** Seedling traits determine drought tolerance of tropical tree species. *Biotropica*, 40(3):321-331.
- Poorter, L. (1999).** Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological & physiological traits. *Functional Ecology*, 13(3):396-410.
- Prasath, A. & Gomathinayagam, M. (2016).** Variation in mineral contents of *Ceriops decandra* (Griff.) Ding Hou under NaCl stress-A true mangrove species. *Annals of Plant Sciences*, 5(12):1458-1462.
- Proces, P., Dubiez, É., Bisiaux, F., Péroches, A. & Fayolle, A. (2018).** Production d'*Acacia auriculiformis* dans le système agroforestier de Mampu, plateau Batéké, République démocratique du Congo. *Bois & Forêts des Tropiques*, 334:23-36.
- Qadir, M. (2016).** Policy Note: Reversing Salt-Induced Land Degradation Requires Integrated Measures. *Water Economics & Policy*, 2:1-8.
- Quartararo, A. (2018).** Approaches to study biodiversity & salinity tolerance mechanisms in mediterranean fruit tree species.

- Radford S.E. (2000).** Protein folding: progress made & promises ahead. *Trends in Biochemical Sciences*, 25(12):611-618.
- Rahman, M.M., Rahman, M.A., Miah, M.G., Saha, S.R., Karim, M.A. & Mostofa, M.G. (2017).** Mechanistic Insight into Salt Tolerance of *Acacia auriculiformis*: The Importance of Ion Selectivity, Osmoprotection, Tissue Tolerance, & Na⁺ Exclusion. *Frontiers in plant science*, 8:155.
- Rameshwaran, P., Tepe, A., Yazar, A. & Ragab, R. (2016).** Effects of drip-irrigation regimes with saline water on pepper productivity & soil salinity under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*, 199:114-123.
- Ramoliya, P.J., Patel, H.M. & Pandey, A.N. (2004).** Effect of Salinization of Soil on Growth & Macro & Micronutrient Accumulation in Seedlings of *Acacia catechu*. *Annals of Applied Biology*, 144:321-332.
- Rautenbach A., Dickerson T. & Schoeman M.C. (2014).** Diversity of rodent & shrew assemblages in different vegetation types of the savannah biome in South Africa: no evidence for nested subsets or competition. *African Journal of Ecology*, 52(1):30-40.
- Razzaghi, F., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R. & Andersen, M.N. (2015).** Ionic & photosynthetic homeostasis in quinoa challenged by salinity & drought—mechanisms of tolerance. *Functional Plant Biology*, 42(2):136-148.
- Reddy, P.S., Jogeswar, G., Rasineni, G.K., Maheswari, M., Reddy, A.R., Varshney, R.K. & Kishor, P.K. (2015).** Proline over-accumulation alleviates salt stress & protects photosynthetic & antioxidant enzyme activities in transgenic sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Plant Physiology & Biochemistry*, 94:104-113.
- Redmann, R.E. (1974).** Osmotic & Specific Ion Effects on the Germination of Alfalfa. *Canadian Journal of Botany*, 52:803-808.
- Rehman, S., Harris, P.J., Bourne, W.F. & Wilkin, J. (2000).** The Relationship between Ions, Vigour & Salinity Tolerance of *Acacia* Seeds. *Plant & Soil*, 220:229-233.
- Rejili, M., Vadel, A.M., Guetet, A., Mahdhi, M., Lachiheb, B., Ferchichi, A. & Mars, M. (2010).** Influence of Temperature & Salinity on the Germination of *Lotus creticus* (L.) from the Arid Land of Tunisia. *African Journal of Ecology*, 48:329-337.
- Rewald, B., Leuschner, C., Wiesman, Z. & Ephrath, J.E. (2011a).** Influence of salinity on root hydraulic properties of three olive varieties. *Plant biosystems*, 145(1):12-22.
- Rewald, B., Rachmilevitch, S., McCue, M.D. & Ephrath, J.E. (2011b).** Influence of saline drip-irrigation on fine root & sap-flow densities of two mature olive varieties. *Environmental & Experimental Botany*, 72(2):107-114.
- Rewald, B., Raveh, E., Gendler, T., Ephrath, J.E. & Rachmilevitch, S. (2012).** Phenotypic plasticity & water flux rates of Citrus root orders under salinity. *Journal of Experimental Botany*, 63(7):2717-2727.
- Rewald, B., Shelef, O., Ephrath, J.E. & Rachmilevitch, S. (2013).** Adaptive plasticity of salt-stressed root systems. In *Ecophysiology & responses of plants under salt stress* (pp. 169-201). Springer, New York, NY.
- Reynolds, M.P., Mujeeb-Kazi, A. & Sawkins, M. (2005).** Prospects for utilising plant-adaptive mechanisms to improve wheat and other crops in drought-and salinity-prone environments. *Annals of applied biology*, 146(2):239-259.
- Richardson, A.D., Duigan, S.P. & Berlyn, G.P. (2002).** An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist*, 153(1):185-194.
- Richardson, D.M. & Kluge, R.L. (2008).** Seed banks of invasive Australian *Acacia* species in South Africa: role in invasiveness & options for management. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution & Systematics*, 10:161-177.
- Ringel, C., Siebert, S. & Wienhaus, O. (2003).** Photometric determination of proline in quartz microplates: remarks on specificity. *Analytical Biochemistry*, 313:167-169.
- Rodriguez, H.G., Mondal, B., Sarkar, N.C., Ramaswamy, A., Rajkumar, D. & Maiti, R.K. (2012).** Comparative Morphology & Anatomy of Few Mangrove Species in Sundarbans, West Bengal, India & its Adaptation to Saline Habitat. *International Journal of Bio-Resource & Stress Management*, 3(1).
- Rogers, E. D., & Benfey, P. N. (2015).** Regulation of plant root system architecture: implications for crop advancement. *Current Opinion in Biotechnology*, 32:93-98.

- Rolston, M.P. (1978).** Water impermeable seed dormancy. *The Botanical Review*, 44(3):365-396.
- Roy, S. J., Negrão, S., & Tester, M. (2014).** Salt resistant crop plants. *Current opinion in Biotechnology*, 26:115-124.
- Rundel, P.W., Dickie, I.A. & Richardson, D.M. (2014).** Tree Invasions into Treeless Areas: Mechanisms & Ecosystem Processes. *Biological Invasions*, 16:663-675.
- Saijo, Y., Hata, S., Kyojuka, J., Shimamoto, K. & Izui, K. (2000).** Over-expression of a single Ca^{2+} -dependent protein kinase confers both cold & salt/drought tolerance on rice plants. *The Plant Journal*, 23(3):319-327.
- Sanders, D., Brownlee, C. & Harper, J.F. (1999).** Communicating with calcium. *The Plant Cell*, 11(4):691-706.
- Saroj M. & Soumana D. (2014).** Salt stress induced changes in growth of germinating seeds of *Vigna mungo* (L.) Hepper & *Vigna aconitifolia* (Jacq.) Marechal. *IOSR Journal of Agriculture & Veterinary Science (IOSR-JAVS)*, 7(4):44-48.
- Sautu, A., Baskin, J.M., Baskin, C.C. & Condit, R. (2006).** Studies on the seed biology of 100 native species of trees in a seasonal moist tropical forest, Panama, Central America. *Forest Ecology & Management*, 234(1):245-263.
- Schmidt, L. (2000).** Guide to handling of tropical & subtropical forest seed. Denmark: Danida Forest Seed Centre, 511p.
- Schneider, T., Ashton, M.S., Montagnini, F. & Milan, P.P. (2014).** Growth performance of sixty tree species in smallholder reforestation trials on Leyte, Philippines. *New Forests* 45(1), 83-96.
- Schopfer, P. & Plachy, C. (1985).** Control of seed germination by abscisic acid: III. Effect on embryo growth potential (minimum turgor pressure) & growth coefficient (cell wall extensibility) in *Brassica napus* L. *Plant Physiology*, 77(3):676-686.
- Scott, S.J., Jones, R.A. & Williams, W.A. (1984).** Review of Data Analysis Methods for Seed Germination. *Crop Science*, 24 :1192-1199.
- Séhouéto, C.K.P. (2014).** Production de plants d'*Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. pour le reboisement au Sud-Bénin. Abomey-Calavi, Bénin : Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques.
- Seki, M., Kamei, A., Yamaguchi-Shinozaki, K. & Shinozaki, K. (2003).** Molecular responses to drought, salinity and frost: common and different paths for plant protection. *Current Opinion in Biotechnology*, 14(2):194-199.
- Seki, M., Kamei, A., Yamaguchi-Shinozaki, K. & Shinozaki, K. (2003).** Molecular responses to drought, salinity and frost: common and different paths for plant protection. *Current Opinion in Biotechnology*, 14(2), 194-199.
- Seki, M., Narusaka, M., Ishida, J., Nanjo, T., Fujita, M., Oono, Y. & Satou, M. (2002).** Monitoring the expression profiles of 7000 Arabidopsis genes under drought, cold and high-salinity stresses using a full-length cDNA microarray. *The Plant Journal*, 31(3):279-292.
- Sekkour, S., 2009.** Production d'inoculum de Rhizobium associés à *Acacia saligna* la revégétalisation de la Sablière de Sidi Lakhdar : Wilaya de Mostaganem. Mémoire de magistère, Université d'Oran Es-sénia, Oran, Algérie, 100 pp.
- Serrano, R. (1996).** Salt tolerance in plants & microorganisms: toxicity targets & defense responses. *International Review of Cytology*, 165, 1-52.
- Serrato-Valenti, G., Cornara, L., Ferrando, M. & Modenesi, P. (1993).** Structural & histochemical features of *Stylosanthes scabra* (Leguminosae; Papilionoideae) seed coat as related to water entry. *Canadian Journal of Botany*, 71(6): 834-840.
- Seydi AB. (2003).** Determination of the salt tolerance of some barley genotypes & the characteristics affecting tolerance. *Turkish Journal of Agriculture & Forestry*, 27:253-260.
- Shabala, S. & Munns, R. (2017).** Salinity stress: physiological constraints & adaptive mechanisms. *Plant stress physiology*, 2nd edn. CABI, Wallingford, 24-63.
- Shabala, S., Demidchik, V., Shabala, L., Cuin, T.A., Smith, S.J., Miller, A.J. & Newman, I.A. (2006).** Extracellular Ca^{2+} ameliorates NaCl -induced K^{+} loss from Arabidopsis root & leaf cells by controlling plasma membrane K^{+} -permeable channels. *Plant Physiology* 141(4):1653-1665.
- Shabala, S., Wu, H. & Bose, J. (2015).** Salt stress sensing & early signalling events in plant roots: Current knowledge & hypothesis. *Plant Science*, 241:109-119.

- Shah, M. & Hussain, F. (2009).** Phytosociological Study of the Vegetation of Hayat Abadpeshawar, Pakistan. *Pakistan Journal of Plant Sciences*, 15:1-12.
- Sharif, F. & Khan, A.U. (2016).** Effect of salinity on tissue nutrient contents of the four dryland tree species of Indus flood plains. *Arid Land Research & Management*, 30(1):65-78.
- Sharma, S., Naithani, R., Varghese, B., Naithani, S.C. & Keshavkant, S. (2008).** Effect of hot-water treatment on seed germination of some fast-growing tropical tree species. *Journal of Tropical Forestry*, 24:47-53.
- Sheded, M.G., Pulford, I.D. & Hamed, A.I. (2006).** Presence of major & trace elements in seven medicinal plants growing in the South-Eastern Desert, Egypt. *Journal of arid environments*, 66:210-217.
- Shu, K., Liu, X.D., Xie, Q. & He, Z.H. (2016).** Two faces of one seed: hormonal regulation of dormancy & germination. *Molecular Plant*, 9(1):34-45.
- Sidari, M., Mallamaci, C. & Muscolo, A. (2008).** Drought, salinity & heat differently affect seed germination of *Pinus pinea*. *Journal of Forest Research*, 13(5):326-330.
- Singh, M., Kumar, J., Singh, S., Singh, V.P. & Prasad, S.M. (2015).** Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(3):407-426.
- Singh, S. & Stasolla, C. (2016).** Response of Bur & Red oak seedlings to NaCl-induced salinity. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(4):104.
- Soliman, A.S., Shanan, N.T., Massoud, O.N. & Swelim, D.M. (2012).** Improving salinity tolerance of *Acacia saligna* (Labill.) plant by arbuscular mycorrhizal fungi & Rhizobium inoculation. *African Journal of Biotechnology*, 11(5):1259-1266.
- Sousa, A.I., Martins, I., Lilleb, A.I., Flindt, M.R. & Pardal, M.A. (2007).** Influence of salinity, nutrients & light on the germination & growth of *Enteromorpha sp.* spores. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 341(1):142-150.
- Squires, V.R. & Glenn, E.P. (2011).** Salination, desertification, and soil erosion. The role of food, agriculture, forestry and fisheries in human nutrition, 3:102-123.
- Srikanth, S., Lum, S.K.Y. & Chen, Z. (2016).** Mangrove root: adaptations & ecological importance. *Trees*, 30(2):451-465.
- Stępień, P. & Kłbus, G. (2006).** Water relations and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. leaves under salt stress. *Biologia Plantarum*, 50(4), 610.
- Stokes, P. (1965).** Temperature & seed dormancy. In *Differenzierung und Entwicklung/Differentiation & Development*, pp. 2393-2450.
- Strassburg, B.B., Kelly, A., Balmford, A., Davies, R.G., Gibbs, H.K., Lovett, A. & Rodrigues, A.S. (2010).** Global congruence of carbon storage and biodiversity in terrestrial ecosystems. *Conservation Letters*, 3(2):98-105.
- Stringer, L. (2008).** Can the UN Convention to Combat Desertification guide sustainable use of the world's soils?. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(3):138-144.
- Sun, Y., Lindberg, S., Shabala, L., Morgan, S., Shabala, S. & Jacobsen, S.E. (2017).** A comparative analysis of cytosolic Na⁺ changes under salinity between halophyte quinoa (*Chenopodium quinoa*) & glycophyte pea (*Pisum sativum*). *Environmental & Experimental Botany*, 141:154-160.
- Suprasanna, P., Nikalje, G.C. & Rai, A.N. (2016).** Osmolyte accumulation & implications in plant abiotic stress tolerance. In *Osmolytes & Plants Acclimation to Changing Environment: Emerging Omics Technologies* (pp. 1-12). Springer, New Delhi.
- Sweedman, L. & Merritt, D. (2006).** *Australian Seeds: A Guide to Their Collection, Identification & Biology*. CSIRO Publishing, Clayton, 258 p.
- Sy, A., Grouzis, M. & Danthu, P. (2001).** Seed Germination of Seven Sahelian Legume Species. *Journal of Arid Environment*, 49:875-882.
- Tahjib-Ul-Arif, M., Roy, P.R., Sohag, A.A.M., Afrin, S., Rady, M.M. & Hossain, M.A. (2018).** Exogenous Calcium Supplementation Improves Salinity Tolerance in BRR1 Dhan28; a Salt-Susceptible High-Yielding *Oryza Sativa* Cultivar. *Journal of Crop Science & Biotechnology*, 21(4):383-394.
- Tanaka-Oda, A., Kenzo, T. & Fukuda, K. (2009).** Optimal germination condition by sulfuric acid pretreatment to improve seed germination of *Sabina vulgaris* Ant. *Journal of Forest Research*, 14(4):251-256.

- Tavakkoli, E., Fatehi, F., Coventry, S., Rengasamy, P. & McDonald, G.K. (2011).** Additive effects of Na⁺ & Cl⁻ ions on barley growth under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, 62(6):2189-2203.
- Teakle N.L. & Tyerman S.D. (2010).** Mechanisms of Cl⁻ transport contributing to salt tolerance. *Plant, Cell & Environment*, 33(4):566-589.
- Teketay, D. (1996).** Germination ecology of twelve indigenous & eight exotic multipurpose leguminous species from Ethiopia. *Forest Ecology & Management*, 80:209-223.
- Teketay, D. (1998).** Germination of *Acacia origena*, *A. pilispina* & *Pterolobium stellatum* response to different pre-sowing seed treatments, temperature & light. *Journal of Arid Environments*, 38(4):551-560.
- Thalman, M. & Santelia, D. (2017).** Starch as a determinant of plant fitness under abiotic stress. *New Phytologist*, 214(3), 943-951.
- Theerawitaya, C., Tisarum, R., Samphumphuang, T., Singh, H. P., Cha-Um, S., Kirdmanee, C. & Takabe, T. (2015).** Physio-biochemical & morphological characters of halophyte legume shrub, *Acacia ampliceps* seedlings in response to salt stress under greenhouse. *Frontiers in Plant Science*, 6:630.
- Thrall, P.H., Broadhurst, L.M., Hoque, M.S. & Bagnall, D.J. (2009).** Diversity and salt tolerance of native *Acacia* rhizobia isolated from saline and non-saline soils. *Austral ecology*, 34(8):950-963.
- Tiryaki, I. & Andrews, D.J. (2001).** Germination & seedling cold tolerance in sorghum. *Agronomy Journal*, 93(6):1386-1391.
- Tiwari, R.S., Picchioni, G.A., Steiner, R.L., Hughs, S.E., Jones, D.C. & Zhang, J. (2013).** Genetic Variation in Salt Tolerance during Seed Germination in a Backcross Inbred Line Population & Advanced Breeding Lines Derived from Upland cotton × Pima cotton. *Crop Science*, 53:1974-1982.
- Trabelsi, L., Gargouri, K., Hassena, A. B., Mbadra, C., Ghrab, M., Ncube, B., ... & Gargouri, R. (2019).** Impact of drought and salinity on olive water status and physiological performance in an arid climate. *Agricultural Water Management*, 213:749-759.
- Traveset, A. (1990).** Post-dispersal predation of *Acacia farnesiana* seeds by *Stator vachelliae* (Bruchidae) in Central America. *Oecologia*, 84:506-512.
- Travlos, I.S., Economou, G. & Karamanos, A.I. (2007).** Germination & emergence of the hard seed coated *Tylosema esculentum* (Burch) A. Schreib in response to different pre-sowing seed treatments. *Journal of Arid Environments*, 68(3):501-507.
- Tuna, A.L., Kaya, C., Ashraf, M., Altunlu, H., Yokas, I. & Yagmur, B. (2007).** The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability & nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. *Environmental & Experimental Botany*, 59(2):173-178.
- Türkan, I. & Demiral, T. (2009).** Recent developments in understanding salinity tolerance. *Environmental & Experimental Botany*, 67(1):2-9.
- Turnbull L.A., Crawley, M.J. & Rees, M. (2000).** Are plant populations seed-limited? a review of seed sowing experiments. *Oikos*, 88(2):225-238.
- Ungar, I.A. (1995).** Seed Germination & Seed-Bank Ecology in Halophytes. In: Kigel, J. & Galili, G., Eds., *Seed Development & Germination*, Marcel Dekker, New York, 599-628.
- Ungar, I.A. (1996).** Effect of salinity on seed germination, growth, & ion accumulation of *Atriplex patula* (Chenopodiaceae). *American Journal of Botany*, 604-607.
- Van der Burg, J., De Freitas, J. & Debrot, D. (2014).** Seed germination methods for native Caribbean trees & shrubs. *Plant Research International*, part of Wageningen UR, Business Unit Agrosystems Research, 551:8-11.
- Van Dongen, J.T., Ammerlaan, A.M., Wouterlood, M., van Aelst, A.C. & Borstlap, A.C. (2003).** Structure of the developing pea seed coat & the post-phloem transport pathway of nutrients. *Annals of Botany*, 91(6):729-737.
- Vandersande, M.W., Glenn, E.P. & Walworth, J.L. (2001).** Tolerance of five riparian plants from the lower Colorado River to salinity drought and inundation. *Journal of Arid Environments*, 49(1):147-159.
- Vargas-Simón, G., Martínez-Zurimendi, P., Domínguez-Domínguez, M. & Pire, R. (2017).** Seed germination in *Ormosia macrocalyx*, an endangered tropical forest tree. *Botanical Sciences*, 95(2):329-341.

- Vázquez-Yanes C. & Orozco-Segovia A. (1993). Patterns of seed longevity & germination in the tropical rainforest. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 24(1):69-87.
- Vázquez-Yanes, C.A.N.D. & Smith, H. (1982). Phytochrome control of seed germination in the tropical rain forest pioneer trees *Cecropia obtusifolia* & *Piper auritum* & its ecological significance. *New Phytologist*, 92(4):477-485.
- Venier, P., Funes, G. & García, C.C. (2012a). Physical dormancy & histological features of seeds of five *Acacia* species (Fabaceae) from xerophytic forests in central Argentina. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 207(1):39-46.
- Venier, P., García, C.C., Cabido, M. & Funes, G. (2012b). Survival & germination of three hard-seeded *Acacia* species after simulated cattle ingestion: The importance of the seed coat structure. *South African Journal of Botany*, 79:19-24.
- Verslues, P.E., Agarwal, M., Katiyar-Agarwal, S., Zhu, J. & Zhu, J.K. (2006). Methods & concepts in quantifying resistance to drought, salt & freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal*, 45(4):523-539.
- Villegas, Z., Peña-Claros, M., Mostacedo, B., Alarcón, A., Licona, J.C., Leño, C. & Choque, U. (2009). Silvicultural treatments enhance growth rates of future crop trees in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 258(6):971-977.
- Vinocur B. & Altman A. (2005). Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements & limitations. *Current Opinion in Biotechnology*, 16(2):123-132.
- Wakeel, A. (2013). Potassium-sodium interactions in soil & plant under saline-sodic conditions. *Journal of Plant Nutrition & Soil Science*, 176(3):344-354.
- Wampach, F., Lisein, J., Cordier, S., Ridremont, F. & Claessens, H. (2017). Cartographie de la disponibilité en eau et en éléments nutritifs des stations forestières de Wallonie. *FORÊT. NATURE*, (143):47-60.
- Wang, C.L., Chen, X. Y., Yang, Y., Wang, Z. & Xiong, F. (2016a). Effects of exogenous gibberellic acid & abscisic acid on germination, amylases, & endosperm structure of germinating wheat seeds. *Seed Science & Technology*, 44(1):64-76.
- Wang, C.L., Zhang, S.C., Qi, S.D., Zheng, C.C. & Wu, C.A. (2016b). Delayed germination of *Arabidopsis* seeds under chilling stress by overexpressing an abiotic stress inducible GhTPS11. *Gene*, 575(2):206-212.
- Wang, W., Vinocur, B., and Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218(1):1-14.
- Wang, W.B., Kim, Y.H., Lee, H.S., Kim, K.Y., Deng, X.P. & Kwak, S.S. (2009). Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt & drought stresses. *Plant Physiology & Biochemistry*, 47(7):570-577.
- Wang, Y. & Nii, N. (2000). Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis & transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 75(6):623-627.
- Warren, C.R., Aranda, I. & Cano, F.J. (2011). Responses to water stress of gas exchange and metabolites in *Eucalyptus* and *Acacia* spp. *Plant, cell and environment*, 34(10):1609-1629.
- Weber, M., Günter, S., Aguirre, N., Stimm, B. & Mosandl, R. (2008). Reforestation of abandoned pastures: silvicultural means to accelerate forest recovery and biodiversity. In *Gradients in a tropical mountain ecosystem of Ecuador* (pp. 431-441). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Wei, C., Cui, Q., Zhang, X.Q., Zhao, Y.Q. & Jia, G.X. (2016). Three P5CS genes including a novel one from *Lilium regale* play distinct roles in osmotic, drought & salt stress tolerance. *Journal of Plant Biology*, 59(5):456-466.
- Wood, P.J. (1992). The botany & distribution of *Faidherbia albida*. In: *Faidherbia albida* in the West African semi-arid Tropics. Workshop Proceedings, ICRISAT Niamey, Niger, 9-17.
- Wu, H., Shabala, L., Liu, X., Azzarello, E., Zhou, M., Pandolfi, C., ... & Shabala, S. (2015). Linking salinity stress tolerance with tissue-specific Na⁺ sequestration in wheat roots. *Frontiers in plant science*, 6:71.
- Yadav, S., Irfan, M., Ahmad, A. & Hayat, S. (2011). Causes of salinity & plant manifestations to salt stress: a review. *Journal of Environmental Biology* 32(5):667.
- Yaish, M.W. (2015). Proline accumulation is a general response to abiotic stress in the date palm tree (*Phoenix dactylifera* L.). *Genet Mol Res*, 14(3):9943-9950.

- Yamaguchi, T., & Blumwald, E. (2005).** Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends in plant science*, 10(12):615-620.
- Yemm, E.W., Cocking, E.C. & Ricketts, R.E. (1955).** The determination of amino-acids with ninhydrin. *Analyst*, 80(948):209-214.
- Yüksek, T. & Yüksek, F. (2011).** The effects of restoration on soil properties in degraded land in the semi-arid region of Turkey. *Catena*, 84(1-2):47-53.
- Zalidis, G., Stamatiadis, S., Takavakoglou, V., Eskridge, K. & Misopolinos, N. (2002).** Impacts of agricultural practices on soil & water quality in the Mediterranean region & proposed assessment methodology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2):137-146.
- Zapryanova, N. & Atanassova, B. (2009).** Effects of salt stress on growth & flowering of ornamental annual species. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 23(sup1):177-179.
- Zhang, H., Zhang, G., Lü, X., Zhou, D. & Han, X. (2015).** Salt tolerance during seed germination & early seedling stages of 12 halophytes. *Plant & soil*, 388(1-2):229-241.
- Zhang, J., Jia, W., Yang, J. & Ismail, A.M. (2006).** Role of ABA in integrating plant responses to drought & salt stresses. *Field Crops Research*, 97(1):111-119.
- Zhang, R., Ma, X., Wang, M., Lv, H. & Zhu, C. (2016).** Effects of salinity & water stress on the physiological & ecological processes & plasticity of *Tamarix ramosissima* seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 36(6):433-441.
- Zhang, X., Fan, X., Li, C. & Nan, Z. (2010).** Effects of cadmium stress on seed germination, seedling growth & antioxidative enzymes in *Achnatherum inebrians* plants infected with a Neotyphodium endophyte. *Plant Growth Regulation*, 60(2):91-97.
- Zhang, Y.M., Liu, Z.H., Wen, Z.Y., Zhang, H.M., Yang, F. & Guo, X.L. (2012).** The vacuolar Na⁺-H⁺ antiport gene TaNHX2 confers salt tolerance on transgenic Alfalfa (*Medicago sativa*). *Functional Plant Biology*, 39(8):708-716.
- Zhu, J.K. (2001).** Plant salt tolerance. *Trends in plant science*, 6(2):66-71.
- Zhu, J.K. (2002).** Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual review of plant biology*, 53(1):247-273.
- Zika, M. & Erb, K.H. (2009).** The global loss of net primary production resulting from human-induced soil degradation in drylands. *Ecological Economics*, 69(2):310-318.
- Zouari, M., Elloumi, N., Ahmed, C.B., Delmail, D., Rouina, B.B., Abdallah, F.B. & Labrousse, P. (2016).** Exogenous proline enhances growth, mineral uptake, antioxidant defense, & reduces cadmium-induced oxidative damage in young date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Ecological Engineering*, 86:202-209.

Résumé

La sécheresse et la salinité agissent simultanément dans la tolérance et l'acclimatations sous condition saline. Par conséquent, les plantes soumises à ces types de stress devraient avoir développé des adaptations structurelles spécifiques dès le stade de germination en passant par la croissance de la racine, les feuilles et la tige. La solution à ces problèmes environnementaux est de rechercher des espèces relativement économes en eau et résistantes à des épisodes récurrents de divers stress abiotiques tel que le stress salin. L'effet de la sécheresse s'est manifesté au niveau de la distribution des espèces d'acacia le long du territoire algérien, caractérisé beaucoup plus par la pluviométrie. En effet, La répartition géographique du genre *Acacia* Mill. (Fabales Mimosaceae) en Algérie a été déterminée après la prospection, la localisation et la description des populations de différentes espèces sur l'ensemble du territoire algérien. Vingt-quatre régions ont été prospectées en fonction de l'abondance relative des espèces. Selon les données climatiques des années 2000-2016, les espèces suivantes sont adaptées à une pluviométrie annuelle inférieure à 100 mm : *A. albida*, *A. ehrenbergiana*, *A. laeta*, *A. nilotica*, *A. seyal* et *A. tortilis*. Trois espèces (*A. karroo*, *A. farnesiana* et *A. saligna*) se trouvent dans des zones de pluviométrie annuelle comprise entre 250 et 500 mm). *A. decurrens* est situé dans une zone où les précipitations annuelles dépassent 1000 mm. L'étude de l'effet des prétraitements sur les dix espèces recensées en Algérie a été nécessaire afin d'améliorer la régénération de ces espèces. Ainsi, le taux de germination passe de 5-10% dans la nature à plus de 90% après traitement à l'acide sulfurique pendant une durée bien définie. Les résultats approuvent aussi que le type de dormance chez les graines de ce genre est de type physique. L'objectif de l'étude de l'effet de la salinité sur la germination contribue aussi à déterminer le seuil de tolérance des semences et de leur régénération dans un milieu salin. Seulement trois parmi les dix espèces répertoriées seront étudiées. Cette sélection est basée surtout sur la distribution géographique et la densité de chaque espèce choisie. *A. saligna* représente le Nord, *A. tortilis* pour le Sud, et *A. karroo* qui est une espèce qui est présente dans le Nord et dans le Sud en même temps. Le classement des espèces étudiées dans un ordre de tolérance décroissant, sur la base de leur capacité germinative, est alors le suivant : *A. karroo* > *A. tortilis* > *A. saligna*. La croissance, l'homéostasie ionique, l'osmoprotection, l'indice de tolérance à la salinité, ainsi que les ajustements anatomiques d'*A. karroo* et d'*A. saligna* cultivés à diverses concentrations de NaCl pendant 21 jours ont été évalués. Les résultats ont montré que le sel a entraîné des changements remarquables au niveau de certains paramètres liés à la croissance, du RWC et du RWL, des pigments photosynthétiques, des protéines et des glucides, en fonction du niveau de sel. Les teneurs en Na⁺, en Ca²⁺ ainsi que le rapport Na⁺/K⁺ dans les feuilles a augmenté avec les degrés de salinité, tandis que les teneurs en K⁺ a été réduit de manière significative par rapport aux plantes témoins chez ces deux espèces d'acacia. Les teneurs en proline, en acides aminés libres totaux et en sucres réducteurs se sont considérablement accumulées au niveau des feuilles. Les examens anatomiques ont révélé diverses modifications anatomiques dans les tissus des tiges et des racines vis-à-vis du stress salin, telles que l'augmentation/réduction de l'épaisseur, cortex, de la bande vasculaire ou de la moelle. *A. karroo* s'est montré plus tolérante à la salinité qu'*A. saligna*. En effet, les valeurs de l'indice de tolérance des plantes au stress salin suggèrent qu'*A. karroo* a efficacement adopté certains mécanismes afin de s'acclimater à des niveaux de salinité plus élevés. Nos résultats montrent que l'adaptabilité d'une espèce à la salinité est étroitement liée à la sélectivité en ions, à l'accumulation d'osmoprotecteurs, aux ajustements anatomiques et à la production de la biomasse sèche. Nos résultats confirment qu'*A. karroo* et *A. saligna* sont deux espèces d'arbre appropriée pour la conservation du sol et de l'écologie, ce qui favoriserait la restauration des terres dans les zones arides et semi-arides tout en profitant économiquement des intérêts de ces espèces.

Mots clés : acacia, salinité, tolérance, aridité, germination, NaCl, osmorégulation, osmoprotection.

Abstract

Dryness and salinity act simultaneously in tolerance and acclimatization under saline conditions. Consequently, plants subjected to these types of stress should have developed specific structural adaptations from the germination stage through growth of the root, leaves and stem. The solution to these environmental problems is to look for species that are relatively water-efficient and resistant to recurrent episodes of various abiotic stresses such as salt stress. The effect of the drought was manifested in the distribution of acacia species along the Algerian territory, characterized much more by rainfall. Indeed, the geographical distribution of the genus *Acacia* Mill. (Fabales Mimosaceae) in Algeria was determined after prospecting, locating and describing populations of different species throughout the Algerian territory. Twenty-four regions were surveyed based on relative abundance of species. According to the climatic data of the years 2000-2016, the following species are adapted to annual rainfall less than 100 mm: *A. albida*, *A. ehrenbergiana*, *A. laeta*, *A. nilotica*, *A. seyal* and *A. tortilis*. Three species (*A. karroo*, *A. farnesiana* and *A. saligna*) are found in areas of annual rainfall between 250 and 500 mm). *A. decurrens* is located in an area with annual rainfall exceeding 1000 mm. The study of the effect of pretreatments on the ten species identified in Algeria was necessary to improve the regeneration of these species. Thus, the germination rate increases from 5-10% in nature to more than 90% after treatment with sulfuric acid for a definite period. The results also agree that the type of dormancy in seeds of this genus is of a physical type. The objective of the study of the effect of salinity on germination also contributes to determining the threshold of tolerance of the seeds and their regeneration in a saline medium. Only three of the ten listed species will be studied. This selection is based mainly on the geographical distribution and the density of each selected species. *A. saligna* represents the North, *A. tortilis* for the South, and *A. karroo* is a species that is present in the North and in the South at the same time. The classification of the studied species in a descending order of tolerance, on the basis of their germinative capacity, is then the following: *A. karroo* > *A. tortilis* > *A. saligna*. Growth, ionic homeostasis, osmoprotection, salinity tolerance index, as well as anatomical adjustments of *A. karroo* and *A. saligna* grown at various concentrations of NaCl for 21 days were evaluated. The results showed that salt caused remarkable changes in some growth-related parameters, RWC and RWL, photosynthetic pigments, proteins and carbohydrates, depending on the salt level. Na⁺, Ca²⁺, and Na⁺/K⁺ levels in the leaves increased with salinity levels, while K⁺ levels were significantly reduced compared to control plants in both acacia species. Levels of proline, total free amino acids and reducing sugars have accumulated considerably in the leaves. Anatomical examinations revealed various anatomical changes in stem and root tissues with regard to saline stress, such as increase / decrease in thickness, cortex, vascular band or spinal cord. *A. karroo* was more tolerant of salinity than *A. saligna*. In fact, the values of the tolerance index of plants with salt stress suggest that *A. karroo* has effectively adopted some mechanisms to acclimate to higher salinity levels. Our results show that the adaptability of a species to salinity is closely related to ion selectivity, osmoprotective accumulation, anatomical adjustments and dry biomass production. Our results confirm that *A. karroo* and *A. saligna* are two suitable tree species for soil conservation and ecology, which would promote land reclamation in arid and semi-arid areas while benefiting economically from the interests of these species.

Key words: acacia, salinity, tolerance, aridity, germination, NaCl, osmoregulation, osmoprotection.

الملخص

الجفاف والملوحة يؤثران معا في المقاومة والتأقلم مع الظروف الملحية. وبالتالي، النباتات المعرضة لهذه الأنواع من الإجهاد طورت تكيفات بنوية خاصة من مرحلة الانتاش مروراً بنمو الجذور والأوراق والساق. إن الحل لهذه المشاكل البيئية هو البحث عن الأنواع الوفيرة للمياه نسبياً والمقاومة للأزمات المتكررة من الإجهادات الحيوية المختلفة مثل الإجهاد الملحي. وقد تجلّى تأثير الجفاف في توزيع أنواع الأكاسيا على طول الأراضي الجزائرية خاصة المتميزة بنسبة الأمطار السنوية. في الواقع، تم تحديد التوزيع الجغرافي للنوع أكاسيا ميل (*Fabales Mimosaceae*) في الجزائر بعد التنقيب، وتحديد ووصف مجموعات من مختلف الأنواع في جميع أنحاء الأراضي الجزائرية. تم مسح أربع وعشرين منطقة على أساس الوفرة النسبية للأنواع. اعتماداً على بيانات الطقس للسنوات 2000-2016، فإن الأنواع التالية تتأقلم في نسبة أمطار سنوية أقل من 100 ملم: *A. tortilis*، *A. albida*، *A. ehrenbergiana*، *A. laeta*، *A. nilotica*، *A. seyal*. توجد ثلاثة أنواع (*A. saligna* و *A. farnesiana*، *A. karroo*) في مناطق اين الأمطار السنوية تتراوح ما بين 250 و500 ملم. يقع *A. decurrens* في المنطقة التي تكون نسبة الأمطار السنوية فيها تتجاوز 1000 ملم. إن دراسة تأثير المعالجة المسبقة على الأنواع العشرة المحددة في الجزائر ضرورية لتحسين تجديد هذه الأنواع. أيضاً، يزيد معدل الانتاش من 5-10% في الطبيعة إلى أكثر من 90% بعد المعالجة بحمض السولفوريك لفترة محددة. النتائج تبين أيضاً على أن نوع السكون في بذور هذا النوع هو نوع ميكانيكي. كما يساهم هدف دراسة تأثير الملوحة على الإنبات في تحديد عتبة تحمل البذور وتجدها في وسط مالح. تم دراسة ثلاثة أنواع فقط من الأنواع العشرة المدرجة. يستند هذا الاختيار بشكل رئيسي على التوزيع الجغرافي وكثافة كل نوع من الأنواع المختارة. *A. saligna* يمثل الشمال، *A. tortilis* للجنوب، و *A. karroo* هو من الأنواع الموجودة في الشمال والجنوب في نفس الوقت. إن تصنيف الأنواع المدروسة وفق ترتيب تنازلي للتأقلم على أساس قدرتها الإنتاشية هو كما يلي: $A. karroo > A. tortilis > A. saligna$. تم تقييم النمو، التوازن الأيوني، osmoprotection، مؤشرات تحمل الملوحة والتعدلات التشريحية لـ *A. saligna* و *A. karroo* المزروعة في تركيزات مختلفة من كلوريد الصوديوم لمدة 21 يوماً. وأظهرت النتائج أن الملح تسبب في تغيرات ملحوظة في بعض الظواهر المرتبطة بالنمو، RWC وRWL، في الصبغات الضوئية، البروتينات والكربوهيدرات، حسب مستوى الملح. ارتفعت مستويات Na^+ و Na^+/K^+ و Ca^{2+} في الأوراق مع مستويات الملوحة، في حين انخفضت مستويات K^+ بشكل ملحوظ مقارنة بالنباتات الشاهدة عند هذين النوعين من الأكاسيا. تراكمت مستويات البرولين والأحماض الأمينية الحرة الكلية والسكريات إلى حد كبير في الأوراق. كشفت الفحوص التشريحية العديد من التغيرات التشريحية في أنسجة الساق والجذر فيما يتعلق بالإجهاد الملحي، مثل زيادة/نقصان في سمك، قشرة، شريط الأوعية أو النخاع. تبين أن *A. karroo* أكثر تأقلماً ومقاومة للملوحة من *A. saligna*. في الواقع، إن قيم مؤشر المقاومة والتأقلم مع الإجهاد الملحي يشير إلى أن نباتات *A. karroo* اعتمدت بفعالية بعض الآليات للتأقلم مع مستويات الملوحة العالية. تظهر النتائج التي توصلنا إليها أن قدرة الأنواع على التكيف مع الملوحة ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالانتقاء الأيوني، وتراكم osmoprotecteur، والتعدلات التشريحية وإنتاج الكتلة الحيوية الجافة. نتائجه تؤكد أن *A. saligna* و *A. karroo* هما من أنواع الأشجار المناسبة للحفاظ على التربة والبيئة، والتي من شأنها أن تعزز استعادة الأراضي في المناطق القاحلة وشبه القاحلة في حين يستفاد اقتصادياً من مزايا هذه الأنواع.

الكلمات المفتاحية: الأكاسيا، الملوحة، التأقلم، الجفاف، الانتاش، كلوريد الصوديوم، التنظيم الأيوني، osmoprotection.

Liste des publications internationales 2016-2019

- 1 **A. Kheloufi**, A. Chorfi, L.M. Mansouri, H. Benyamina (2018). Morpho-physiological characterization and photosynthetic pigment contents of *Acacia karroo* Hayne seedlings under saline conditions. *Agriculture & Forestry, Podgorica* 64(2): 87-99. <https://doi.org/10.17707/agricultforest.64.2.06>
- 2 **A. Kheloufi**, Z.F. Boukhatem, L.M. Mansouri, M. Djelilate (2018). Inventory and geographical distribution of *Acacia* Mill. (Fabaceae Mimosaceae) species in Algeria. *Biodiversity Journal* 9(1): 51-60. [www.biodiversityjournal.com/pdf/9\(1\)_51-60.pdf](http://www.biodiversityjournal.com/pdf/9(1)_51-60.pdf)
- 3 **A. Kheloufi**, L.M. Mansouri, Z. F. Boukhatem (2017). Application and use of sulfuric acid to improve seed germination of three acacia species, *Reforesta*, 3: 1-10. <https://doi.org/10.21750/refor.3.01.25>
- 4 **A. Kheloufi** (2017). Germination of seeds from two leguminous trees (*Acacia karroo* and *Gleditsia triacanthos*) following different pre-treatments. *Seed Science & Technology*, 45(1): 1-4. <https://doi.org/10.15258/sst.2017.45.1.21>
- 5 **A. Kheloufi**, L.M. Mansouri (2017). Effect of sulphuric acid on the germination of a forage tree *Acacia nilotica* (L.) subsp *tomentosa*. *Livestock Research for Rural Development*, 29(2): 1-11. www.lrrd.org/lrrd29/2/khel29027.html
- 6 **A. Kheloufi**, A. Chorfi, L.M. Mansouri (2017). Germination Kinetics in Two *Acacia karroo* Hayne Ecotypes under Salinity Conditions. *Open Access Library Journal*, 4: 1-11. <https://doi.org/10.4236/oalib.1103319>
- 7 **A. Kheloufi**, A. Chorfi, L.M. Mansouri (2016). Comparative effect of NaCl and CaCl₂ on seed germination of *Acacia saligna* L. and *Acacia decurrens* Willd. *International Journal of Biosciences*, 8(6) :1-13. <https://doi.org/10.12692/ijb/8.6.1-13>
- 8 **A. Kheloufi**, A. Chorfi, L.M. Mansouri (2016). The Mediterranean Seawater: The impact on the germination and the seedlings emergence in three *Acacia* species. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 8(6) :238-249. <https://innspub.net/jbes/the-mediterranean-seawater-the-impact-on-the-germination-and-the-seedlings-emergence-in-three-acacia-species/>