REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ETPOPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES

Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de **Master**

En sciences de la nature et de la vie

Spécialité : Microbiologie appliquée

Par :

BOUAZABIA Fatima zohra

REBIAI Ahlem

MOUSSAOUI Yasmine

Thème :

Contribution à l'étude de la désalinisation du sol salé à l'aide des bactéries halophiles

Soutenue publiquement le : 22 /06/2024 ., Devant le jury composé de :

Mr : Licir Mourad	MAA UYF.M	Président .
Mr: Kaaboub El-aid	MCB UYF.M	Examinateur.
Mr: Chami Bouazza	MAA UYF.M	Promoteur.

Année universitaire : 2023/2024.


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciements

Nous voulons remercier Dieu qui nous a permis d'atteindre

Ce moment, et nous à donne la patience, le courage et la

Volonté pour accomplir ce travail.

Nous adressons nos remerciements à l'université Dr Yahia Fares de Médéa qui nous a pris en charge pendant les années d'étude.

Nous voulons remercier notre superviseur Mr CHAMI

Bouazza, pour son temps, ses efforts et sa patience avec

Nous.

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté

D'examiner ce modeste travail et d'être parmi le jury.

Nous tenons à remercier tous les professeurs du

département des sciences de la nature et de la vie.

Et enfin tous ceux qui ont contribué de près ou de

loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

À mon chère Père

source de mes joie et secret de ma force, tu sera toujours le

modèle dans ma détermination ,ma force et mon honnêteté

puis dieu te préserver et t'accorder santé et une longue vie

À ma très chère Mère

Tu m'as comblé avec ta tendresse et ton affection tout au long de

Mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir, de me protéger et

de m'encourager durant toutes les années de mes études

Puisse le tout .

puissant te donner santé, bonheur et longue vie.

À mes frères : Sid Ali, Mohamed et Bilal.

À mes sœurs : Souad et Chorouk.

Fatima zohra

Dédicace

A mes chers parents Elhadj et Messouda , qui m'ont accompagné à chaque étape de mon parcours académique,

A mes chers frères Noureddine , Ameur, Bilal, Hichem et Rabeh, mon soutien dans la vie.

A mes chères sœurs : Sara, Rachida, karima , et Souad .

Ahlem

Dédicace

Je dédie ce Mémoire à :

Mes très chers parents qui m'ont encouragée et toujours soutenu ; en m'inculquant le sens de la responsabilité.

Mon mari Samir qui m'a donné un grand soutien pour ce travail, mon source de joie et de bonheur, et mon soutien après mon père.

Mes chers frères Noureddine et Ahmed, qui m'ont soutenu et sacrifié pour me voir réussir.

Mes soeurs Fatma, Ahlam, Dalal, Hanan et leurs chers enfants.

Mes partenaires dans ce travail Ahlem et Fatimazohra.

YASMINE

Résumé

Résumé:

Dans ce travail, six souches bactériennes ont été isolées à partir des trois fractions RP, SR, SNR du sol de deux plantes différentes l'une halophyte (*H. vulgare*) et l'autre glycophyte (*Spenaciaoleracea)* de la zone de Médéa (Algérie) et ont été évaluées pour leur capacité à se développer à des cencentrations de 0.1 à 2 M de NaCl. Les 6 souches bactériennes les plus prometteuses, codées S1, S2, S3, S4, S5 et S6, ont été testées sur la germination des graines de soja en présence de stress salin appliqué à des concentrations de 0.1 et 2mol de NaCl, respectivement. La salinisation est manifesté par un effet inhibiteur significatif sur la germination. L'inoculation des graines par les bactéries S1, S2, S4 et S5 a causé une augmentation du taux de germination allant jusqu'à 35% pour les graines de soja sous stress de 2mol.

Mots clés : Le sol ; Glycophyte ; Halophyte ; Stress salin ; La salinisation .

Abstract: In this work, six bacterial strains were isolated from the three fractions RP, SR, SNR of the soil of two different plants, one halophyte (*H. vulgare*) and the other glycophyte (*Spenacia oleracea*) from the Médéa zone. (Algeria) and were evaluated for their ability to grow at concentrations of 0.1 to 2 M NaCl. The 6 most promising bacterial strains, coded S1, S2, S3, S4, S5 and S6, were tested on the germination of soybean seeds in the presence of salt stress applied at concentrations of 0.1 and 2mol of NaCl, respectively .The salinization manifested itself by a significant inhibitory effect on germination. Inoculation of seeds with S1, S2, S4 and S5 bacteria caused an increase in germination rate of up to 35% for soybean seeds under 2mol stress.

Keywords: The soil ; Glycophyte; Halophyte ; Saline stress; The salinization .

ملخص:

في هذا العمل، تم عزل ستة سلالات بكتيرية من الأجزاء الثلاثة RP، SR، SNR من التربة لنبتتين مختلفتين، واحدة من النباتات الملحية (*H. vulgare*) والأخرى من النباتات السكرية (*Spenaciaoleracea*) من منطقة المدية (الجزائر). تم تقييم قدرتها على النمو بتركيزات من 0.1 إلى 2 مولار كلوريد الصوديوم. تم اختبار السلالات البكتيرية الستة الواعدة، والمرمزة S1، S2، S3، S4، S5 وS6، على إنبات بذور فول الصويا في وجود الإجهاد الملحي المطبق بتركيزات 0.1 و 2 مول من كلوريد الصوديوم، على التوالي. يتجلى التملح من خلال تأثير مثبط كبير على الإنبات. أدى تلقيح البذور بالبكتيريا S1وS2 وS4 وS5 إلى زيادة معدل الإنبات بنسبة تصل إلى 35% لبذور فول الصويا تحت ضغط 2mol.

الكلمات الرئيسية: التربة . غليكوفيت. ملحية. الإجهاد الملحي.التملح .

Liste des abréviations et nomenclatures

Liste des abréviations et nomenclatures:

RP : Rhizoplan.

SNR : Sol Non Rhizosphérique.

SR : Sol Rhizosphérique.

CEC : Capacité d'échange.

MDG : Mean Daily Germination(Moyenne journalière de germination).

PGPR : Plant growth promoting rhizobacteria.

DO : Densité Optique.

Nm : Nanomètre.

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

S : Siemens.

HCO-3 : Bicarbonate.

CO-3 : Trioxyde de carbone.

SO-2 : dioxyde de soufre.

IPTRID : Programme international de technologie et de recherche en irrigation et drainage.

SOS : Salt Overly Sensitive.

PA : acide phosphatidique.

AKT1 : protéine kinase B.

SCaBP8 : SOS3 - like CALCIUM - BINDING PROTEIN8.

CBL; CIPK24 : Calcineurin B- like - interacting Protein Kinases.

SOS1 : Salt Overly Sensitive 1.

CBL10 : a putative calcium sensor.

NHX 7 : Sodium / hydrogen exchanger 7.

NO : Monoxyde d'azote.

CIPK23 : CBL - interacting protein kinase 8.

SICS : Service Infirmier de Complément et de Suppléance.

CE : Conductivité électrique du sol.

ROS : Reactive oxygenspecies.

ST_PGPR : Salt - tolerant plant growth - promoting rhizobacteria.

Um : micromètre.

Pb : paire de bases.

PCR : Polymerase Chain reaction.

M: mole.

Mm : millimole.

E: épinard.

O : l'orge.

Liste des figures

Liste des figures :

Figure 1: *Carte des zones arides dans le monde (wri, 2002)* 6
Figure 2: Rhizobactéries favorisant la croissance des plantes liées à la tolérance au sel (ST-PGPR) et leur rôle dans l'amélioration de la tolérance au sel chez les halophytes 18
Figure 3 : Arbre phylogénétique universel issu d'une analyse comparative de séquences de gènes ribosomaux. les groupes phylogénétiques contenant des membres halophiles et halotolérants sont encadrés en bleu (oren,2008) 24
Figure 4: Halanaerobiumprevalens sous microscope électrique (Zeikus et al, 1984) 29
Figure 5: Tetragenococcishalophitus au microscope électronique (Masuda et al,2008) 30
Figure 6: Halobacillus halophilus au microscope électronique (Roebler et Muller,1998) 31
Figure 7: Sélection des plantes hotes (a: epinard, b: orge) 35
Figure 8: Prélèvement et séparation des différentes fractions de la rhizosphère 36
Figure 9: Fractionnement des différentes parties de la rhizosphère de l'épinard (a) et le l'orge (b) 37
Figure 10: Dispositif expérimentale du test de pouvoir germinatif ses grains de soja 41
Figure 11: Observation macroscopique des colonies, des isolats S1, S2, S3, S4, S5, S6 dans un milieu GN (culture jeune < 24 heures) 43
Figure 12: Effet in vitro des isolats des différentes fractions sur la salinité du lilieu (conductivité électrique: CE) ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 13: Effet in vitro des isolats des différentes fractions sur l'acidité du milieu u (pH).(a): souches isolé de la rhizosphère de l'orge, (b): souches isolées de la rhizosphère de l'epinard ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 14: Effet in vitro de la salinité sur la biomasse bactérienne des isolats des différentes fractions ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 15: Effet in vitro de la salinité sur la production de biofilm par les isolats des différentes fractions 53
Figure 16: Impact de l'inoculation des souches sélectionnées sur le pouvoir germinatif du soja 55

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau 1: Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO,2008) 7
Tableau 2: Classification des halophiles basée sur la tolérance au sel (kushner et kamekura, 1988) 19
Tableau 3: Les caractéristiques macroscopiques des colonies des bactéries testées 44
Tableau 4: Les caractéristiques microscopiques des espèces bactériennes étudiées.....45
Tableau 5: Effet in vitro des isolats des différentes fractions sur la salinité du milieu (conductivité électrique: CE) 46
Tableau 6: Effet in vitro des isolants des différentes fractions sur l'acidité du milieu (pH) .....**Erreur ! Signet non défini.**
Tableau 7: Effet in vitro de la salinité sur la biomasse bactérienne des isolats des différentes fractions .....**Erreur ! Signet non défini.**
Tableau 8: Effet un vitro de la salinité sur la production de biofilm par les isolats des différentes fractions 52
Tableau 9: Impact de l'inoculation des souches sélectionnées sur le pouvoir germinatif dusoia 54

Sommaire

I. Introduction 1
Généralités..... **Erreur ! Signet non défini.**
II. Généralités : 1.La salinité
dusol 1.1. Définition de sols salés
(sols halomorphes) : 3
1.2. Classification des sols salés 4
1.2.1. Les sols à complexe sodique ou sols alcalins (Solonetz) 4
1.2.2. Les sols salins à complexe calcique (Solontcheks) 4
1.3. Importance des sols salés et répartition géographique..... 5
1.3.1. Importance des sols salés 5
1.3.2. Répartition géographique des sols salés 6
2. salinisation des sols 7
2.1 Notion de la salinisation..... 7
2.2. Les sols affectés par la salinité..... 8
2.3. Des sols agricoles perdus à cause de la salinisation 9
3. Problème de salinisation dans le monde 11
3.1. Effets délétères du sodium sur la structure du sol..... 11
3.2. Le stress salin chez les plantes..... 11
3 .2.1.Les glycophytes 13
3.2.2. Les halophytes 13
3.4. La salinisation des sols constitue une vraie menace pour la sécurité alimentaire mondial
..... 15
4. Techniques de prévention et de réparation du sol 15
5. Bactéries halophiles 18
5.1 Définition..... 18
5.2. Classification (Types d'halophilie)..... 19
5.2.1. Halophiles faibles..... 20
5.2.2. Halophiles modérés 20
5.2.3 Halophiles extrêmes 21
5.3. Caractéristiques bactériologiques..... 21
5.3.1. Paroi cellulaire..... 22
5.3.2. Enveloppe cellulaire..... 22
5.3.3. Les ribosomes et leur structure..... 22
5.4. Ecologie des bactéries halophiles 22
5.5. Diversité des bactéries halophiles dans l'écosystème..... 23
5.5.1. Phylum Proteobacteria..... 24

5.5.2. phylum Actinobacteria....25
5.5.3. Phylum Firmicutes....25
5.5.4. Phylum Spirochètes....25
5.5.5. Phylum Bacteroidetes....25
5.5.6.Phylum Thermotogae....26
5.5.7. Phylum Cyanobacteri....26
5.5.8. Phylum Tenericutes....27
5.6. Mécanismes adaptatifs des halophiles....27
5.6.1. Mécanisme de type KCl ou Halobacterial(sel-in)....27
5.6.2. L'osmorégulation (solité compatible)....28
5.6.3. Exemples de bactéries halophiles....28
1.Halanaerobium praevalens (Zeikus et *al*, 1984)....28
2.Tetragenococcus halophilus (Masuda et *al* ., 2008)....29
3.Halobacillus halophilus....30
5.6.4. Application des bactéries halophiles en biotechnologie....31
Matériel et....4
Méthodes....4
III. Matériel et méthodes....34
1. Matériel....34
1.1. Cadre d'étude et présentation de site....34
1.2. Echantillonnage....34
1.3. Prélèvement de la zone rhizosphérique....35
1.4. Pré-conservation....36
1.5. Réactifs chimiques, milieux de cultures....36
2. Méthodes....36
2.1. Préparation du sol....36
2.2 Préparation des cultures bactériennes....37
2.2.1 Préparation des cultures bactériennes sur milieu solide....37
Repiquage et confirmation des souches apportés....37
a. Purification des souches....38
b. Tests de confirmation....38
b1.Examen à l'état frais....38
b2.Coloration de Gram....38
b3. Critères biochimiques....38
b4. Aspect morphologique des isolats....39
2.3. Croissance des isolats en présence de différentes concentrations de sel (Na Cl)....39
2.3.1. Préparation de la suspension bactérienne dans différentes gradients de concentration en NaCl....39

2.3.2. Effet de NaCl sur la croissance bactérienne 39
a. Influence sur les paramètres microbiologiques 39
b. Estimation de la croissance par le culot de centrifugation 40
2.3.3. Test du pouvoir germinatif (PG) des semences de soja 40
a. Préparation des inoculums bactériens 40
b. la stérilisation des graines de soja 40
c. Inoculation des grains de soja 40
Résultats et 34
Discussion 34
IV. Résultats et Discussion 43
1.1. Examens appliqués aux germes (Tests de confirmation) 43
1.1.1. Examens macroscopiques 43
1.2. Effet in vitro des isolats des différentes fractions sur la salinité du milieu (condictivitéélectrique CE) ..... **Erreur ! Signet non défini.**
3. Effet in vitro des isolats des différentes fractions sur l'acidité du milieu (pH) 49
4. Effet in vitro de la salinité sur la biomasse bactérienne des isolats des différentes fractions 50
5. Effet in vitro de la salinité sur la production de biofilm par les isolats des différentes fractions 52
6. Impact de l'inoculation sur le pouvoir germinatif du soja 54
Conclusion 43
V. Conclusion 58
VI. Références bibliographiques : 59
Annexe 70

Introduction

I. Introduction :

La salinisation est un processus d'accumulation des sels à la surface du sol, dans la zone rhizosphérique et le spermosphères des semences. Elle occasionne des effets nocifs sur les végétaux et sur le sol. Ils en suit une diminution des rendements (**Mermoud, 2006**). La salinité est l'un des facteurs abiotiques majeurs limitant la productivité végétarienne et par conséquent la production agricole et la sécurité alimentaire chez l'homme et l'animal.

A l'échelle mondiale, la salinisation des sols se propage à une vitesse pouvant aller jusqu'à 2000000 d'hectares par an. Le stress salin perturbe le fonctionnement physiologique de la plante, ralentit sa croissance et limite sa productivité. Face à cette contrainte, les plantes mettent en œuvre plusieurs mécanismes d'adaptation comme l'excrétion des ions Na^+ et Cl^- et l'accumulation de solutés telles que la glycine bétaine et la proline **(Hasegawa et *al* ., 2000 ; Munns , 2002).**

Bien que cela soit vrai pour la plupart de la flore terrestre, les halophytes sont l'exception, étant très productives dans des conditions salines. Les halophytes sont définies comme des espèces végétales capables de survivre et de se reproduire dans des conditions de croissance contenant plus de 200 mM de NaCl, représentant seulement 1 % de la flore mondiale (**Flowers et Colmer., 2008**).

Par opposition, les glycophytes sont définis comme des espèces qui ne peuvent survivre en milieu salin.

Lorsque les sols ont une haute teneur en sel de sodium ou que les eaux d'irrigation sont salines , une série de techniques peuvent être utilisées pour réduire cette salinité. L'une d'elles consiste à apporter de la matière organique (MO) avant la plantation .

Le drainage est la principale méthode de contrôle de la salinité des sols . Le principe est de ne drainer qu'une petite partie de l'eau d'irrigation (entre 10 et 20 %, celle qui a proprement lessivé le sol).

Actuellement, l'agriculture moderne, se dirige vers l'utilisation de micro-organismes spécifiques afin d'augmenter les rendements, de mieux valoriser la croissance des plantes et de diminuer la salinité. Les rhizobactéries connues sous le terme PGPR stimulent directement la croissance de plantes en augmentant le prélèvement des éléments nutritifs du sol, se sont des germes ayant la capacité de coloniser les racines de façon intense, parmi ces micro-organismes on distingue les bactéries halophiles, qui sont des bactéries nécessitant la présence de sel (NaCl)

dans le milieu pour leur croissance, ces bactéries ont une bonne tolérance à des fortes concentrations en sel durant leur croissance« halotolérant ».

Dans ce contexte, ce travail comprendra deux parties :

- **La première** (**théorique**) est concernée à une étude bibliographique sur la salinité et la salinisation du sol, les micro-organismes du sol en général, et les bactéries halophiles en particulier.
- **La deuxième partie** (**expérimentale**) consiste àsélectionnerdes bactéries tolérantes (halophiles) parmi les différents isolats de la rhizosphère des deux plantes l'une halophyte et l'autre glycophyte, afin tester leurs tolérance et leurs capacitésà réduire la salinité dans le sol.

Synthèse bibiographique

II. Généralités :

1.La salinité du sol :

1.1. Définition de sols salés (sols halomorphes) :

Les sols sodiques, également appelés sols salés ou sols halomorphes, sont caractérisés par leur teneur élevée en sels solubles - plus solubles que le gypse - dans tout ou partie du profil ou par la dégradation de la structure de l'un de leurs horizons ou de tout leur ensemble sous l'influence de l'un des ions provenant de ces sels, en particulier du sodium. La présence de ces sels dans la solution du sol et l'apparition d'une structure dégradée, diffuse et d'une compacité excessive, le plus souvent même à l'état sec, mais au moins à l'état humide, ont un impact sur la végétation, qui généralement se spécialise et dont la croissance diminue, irrégulièrement, dans le temps et dans l'espace ; elle peut même disparaître, laissant place à un sol nu ou parfois recouvert d'un voile organique . En saison sèche, on peut fréquemment observer en surface des lamelles peu épaisses, plus ou moins durcies, qui couvrent un horizon poudreux de pseudosable, toujours mêlé de cristaux de sels ou le sable en question. Il peut également être recouvert de croûtes salines, d'efflorescences cristallines blanches ou grises ou de produits noirs, humiques mélés de cristaux de carbonate de soude. En d'autres endroits, il est possible qu'il reste humide pendant toute la saison, grâce à sa forte teneur en sels hygroscopiques **(Aubert ,1976).**

Les sels solubles dans les sols ont une variété d'origines. Les sels souvent solubles, en particulier les carbonates et les bicarbonates, sont produits par l'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques et magnésiens, silicates provenant de ces matériaux. Lorsqu'ils sont situés dans une zone aride, ils s'installent localement ou dans des ravines et des zones paysagères basses. En zone endoréique, ils peuvent être apportés par des rivières provenant de régions bien plus humides **(Aubert, 1976).**

La mer peut également fournir des sels. Elle peut enrichir les sols lors de raz de marée ; lors de sa pénétration dans les estuaires ou les zones de deltas des rivières; ou lorsque ceux-ci se forment sur des sédiments contenant des ions **(Aubert, 1976).**

Les sels peuvent également provenir de dépôts lagunaires ou de matériaux salés plus ou moins récents. Il est possible qu'ils soient eux-mêmes des roches dans le sol. Ils peuvent également fournir leurs sels aux oueds, qui les transportent jusqu'aux nappes phrhatiques plus

oumoiprofondes,sous les terres des vallées et des basses plaines, ou qui les dispersent à la surface lors des inondations **(Aubert, 1976).** Le vent peut produire apparition des phénomènes de salure sur des sols précédemment non perturbés en déposant des particules pseudosables et des cristaux de sels qui se mélangent et se forment sur la surface de sols extrêmement salés **(Aubert, 1976).**

1.2. Classification des sols salés:

La classification des sols contenant du sodium est difficile en raison des fluctuations saisonnières et des actions humaines qu'ils peuvent subir. En particulier, dans ce cas, elles peuvent être très importantes comme dans terrain très sableux **(Aubert, 1976).** Il existe plusieurs classifications dans le monde, comme la classification française **CPCS 1967**, et la classification américaine **(Soil Taxonomy, 2010).**

En 1982, lors du congrès de l'Association internationale de la science du sol à New Delhi, un groupe de travail formé au sein de la Commission V a été chargé développer un système de classification des sols approuvé par la communauté scientifique mondiale. Depuis lors, le programme IRB (International Reference Base for Soil Classification) travaille pour atteindre cet objectif. Le groupe central de travail comprend une liste de vingt groupes de sols principaux **(ISSS, 1990).** Au sein de ces vingt groupes, les sols salés ont été divisés en deux groupes, chacun présenté selon l'ordre de priorité attribué **(Loyer, 1991).** Le groupe 12 comprend les sols Salés, également appelés solontcheks et salins, qui sont caractérisés par une forte accumulation de sels solubles. Les sols Sodiques, également appelés sols alcalins ou solonetz, se distinguent par une forte saturation en sodium **(Loyer, 1991).**

1.2.1. Les sols à complexe sodique ou sols alcalins (Solonetz) :

Les solonetz ont peu de sels solubles, comme les sels alcalins, les carbonates et les bicarbonates de sodium, mais beaucoup de sodium échangeable. Les sols alcalins sont plus fréquents dans les régions semi-arides et subhumides **(Bouchikh, 2008).**

1.2.2. Les sols salins à complexe calcique (Solontcheks) :

La principale caractéristique de ces sols est leur richesse en sels de sodium neutres (NaCl : chlorure de sodium, Na2SO4 : sulfate de sodium), mais ils contiennent également des quantités importantes d'ions chlorite, calcium et magnésium. Ces terrains généralement répandus dans les zones arides et semi-arides **(Bouchikh, 2008).** Dans les horizons inférieurs (texture

suivante) **(Du chaufour, 1983).** Ces sols ont une structure non dégradée caractérisée par une richesse en sels solubles, ce qui empêche la croissance de la majorité des plantes **cultivées (Aubert, 1978).**

1.3. Importance des sols salés et répartition géographique :

1.3.1. Importance des sols salés :

La salinité est essentielle à l'existence et à la distribution des **plantes (Abdelkader et Saleh, 2002)** ; les halophytes poussent mieux dans les sols riches en sel, à la différence des glycophytes qui ne sont pas capables de supporter la présence de sel **(Calu, 2006).** Ils déclenchent des mécanismes de tolérance qui aident à s'adapter au stress osmotique et ionique causé par la salinité élevée **(Lee et *al*. 2008)**. Lorsque la concentration excessive de chlorure de sodium, de carbonate de sodium, de sulfate de sodium ou de sels de magnésium est présente, un problème de salinité est considéré comme survenant, et l'effet devient d'autant plus évident que l'excès est très important. La salinité perturbe la nutrition minérale des plantes en entravant le prélèvement de certains nutriments tels que le potassium et le calcium, soit par substitution, soit par compétition au niveau des sites d'absorption membranaire **(Zhu, 2002).**

L'utilisation de plus en plus importante d'eau d'irrigation de moindre qualité, riche en sels, contribue à la dégradation de la qualité du sol **(Gouaidia et *al*., 2012).**

Les problèmes de salinité se posent principalement dans les régions arides ou semi-arides où les cultures nécessitent une irrigation importante. La salinité affecte négativement le développement et la croissance des plantes, ce qui diminue les rendements et la qualité de ces cultures **(Lahlou et *al*., 2002).**

Lorsque la plante est soumise à la contrainte de salinisation, elle déclenche des mécanismes de tolérance ou une réaction d'adaptation qui lui permettent de faire face à cette nouvelle situation et de continuer à croître **(Flowers et *al*., 1977).** Les mécanismes de défense varient d'une espèce à l'autre, voire d'une variété à l'autre dans la même espèce, et sont très complexes **(Ashraf, 2009).**

Les plantes sont capables de produire des composés organiques appelés osmoprotecteurs, tels que les sucres solubles, afin d'atténuer l'effet du stress salin (**Boriboonkaset et *al*., 2013**), Les polyamines, les hormones, la proline **(Belkhodja et Ait Saadi, 1993 ; Slama et *al*., 2014 ;**

Ouïs, 2016), les acides aminés **(Amjad et *al*., 2014).** En contribuant à l'ajustement osmotique, ces composés protègent les plantes contre le stress salin.

1.3.2. Répartition géographique des sols salés :

a. Dans le monde:

En raison de la salinité du sol, au moins 3 hectares de terres arables sont perdus chaque minute dans le monde. Un des processus de dégradation des sols les plus courants sur terre est la salinité. On estime que 1 à 3 millions d'hectares de terres en Union européenne sont affectés par la salinisation du sol. La salinisation est considérée comme une cause majeure de désertification et constitue donc une forme grave de dégradation des sols **(Handjet *al*., 1995 *In* Sinoussi, 2001).** La figure 01 et le tableau I présentent la répartition des sols salés dans le monde:

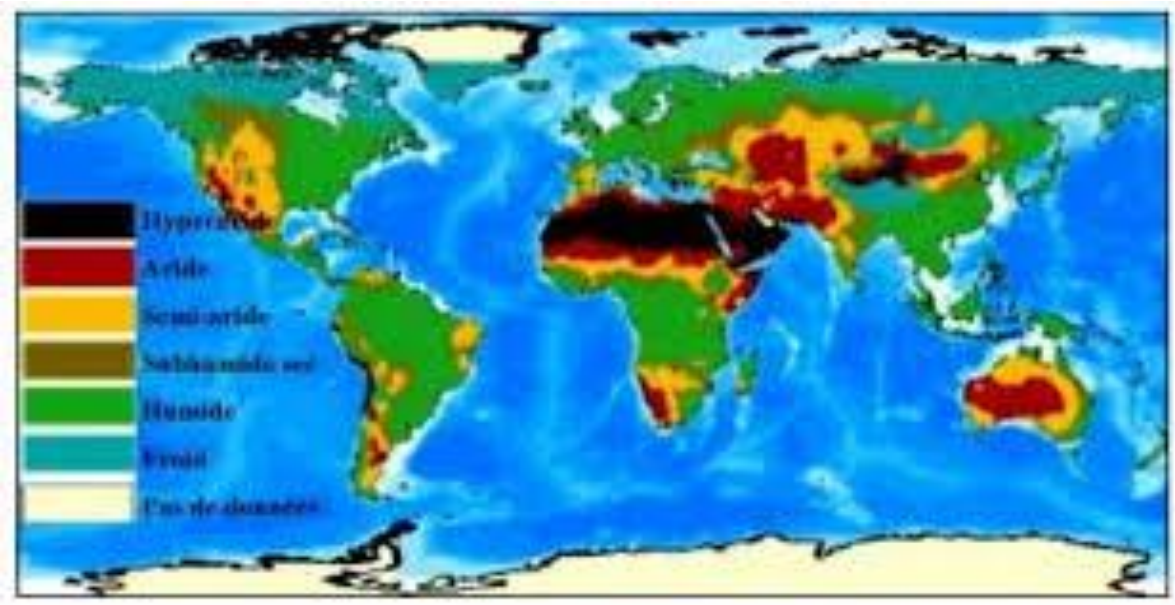


Figure 1 : *Carte des zones arides dans le monde (wri, 2002*)

Toutes les régions irriguées et les zones basses sujettes à des taux d'évaporation élevés en Afrique du Nord sont touchées par la salinisation. Il existe un risque significatif de salinisation des nappes dans ces régions (**Gilmore et *al*., 2015**). Le principal facteur qui limite la croissance des végétaux est la concentration en sel(**Dehni, 2018**).

Tableau 1 : Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO,2008)

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

b. En Algérie: Les sols sont généralement salés dans les zones arides et semi-arides. Selon les études menées par les chercheurs intéressés, la plupart des sols agricoles en Algérie sont affectés par les sels (**Durand, 1958; Halitim,1985**). En réalité, la salinisation touche 3, 2 million d'hectares, avec une plus grande intensité dans les zones steppiques en raison des températures élevées pendant presque toute l'année, d'un manque d'exutoire et d'un drainage inefficace. Ce phénomène affecte les plaines et vallées de l'ouest du pays, ainsi que les grandes plaines de l'est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui).

2. salinisation des sols :

2.1 Notion de la salinisation :

Selon Rengasamy (2010), la salinisation est le processus qui entraîne l'accumulation de sels, non seulement de chlorure de sodium comme on le croit couramment, mais aussi d'autres

sels, y compris Ca, Mg, K, Na, CI SO_4 HCO_2.CO, et NO. La salinisation primaire et secondaire sont deux catégories importantes utilisées pour décrire le processus de salinisation.

- **La salinisation primaire :** décrit les mécanismes qui mobilisent les sels naturels présents dans l'environnement.
- **La salination secondaire**: également connue sous le nom de salinisation anthropogénique, décrit des processus qui sont accélérés ou causés par l'activité humaine. Aucune zone climatique n'est exempte de la salinisation, malgré la conviction commune que ces problèmes ne se posent que dans les régions arides et semi-arides. (**Rengasamy 2006**).

Le processus d'accumulation de sels sur la surface du sol et dans la zone de racine des plantes a des effets négatifs sur les plantes et le sol, ce qui entraîne une diminution du rendement et, à son tour, une stérilisation du sol. Par conséquent, l'identification et la délimitation de ces zones demeurent le seul moyen de combattre cette menace (**Mohammadi, 2021**). Le terme « **salinisation des sols** » désigne les quantités de sel qui sont généralement produites par l'hydrolyse du substrat édaphique, qui est composé de roches endogènes ou exogéniques (salinisation primaire) ou d'activités eugéniques et hydrologiques telles que les embranchements marins, l'irrigation et la salinisation sous-florescente et salinée (salinisation secondaire) (**Dièye, 1994**).

D'un point de vue agricole, un sol saliné, également connu sous le nom de sol salin, est défini comme celui qui conserve suffisamment de sel dans une solution pour provoquer une diminution de la productivité (**Richards, 1954**). La conductivité d'un courant électrique est utilisée pour mesurer la salinité en siemens **S** ou **mhoms/m**.

2.2. Les sols affectés par la salinité:

L'un des principaux facteurs environnementaux limitant la production agricole est la salinité (**Pitman et Läuchli, 2002**). Un sol affecté par la salinité est caractérisé par un excès de sels solubles, souvent liés à une teneur élevée en sodium interchangeable, qui lui confère des caractéristiques chimiques et physiques nuisibles à la croissance des plantes. Les plantes sont affectées par la salinité d'un sol par des effets osmotiques stimulants, la toxicité induite par les ions et/ou les déséquilibres nutritionnels (**Marschner et *al.*, 1995; Evangelou et Mc donald, 1999**). Les espèces ioniques les plus courantes sont les anions : Cl^-, SO_2^-, HCO_3^- et CO_3^-, et les cations : Na^+, Ca^{++}, Mg^{++} et K^+.

2.3. Des sols agricoles perdus à cause de la salinisation :

Le problème majeur à l'échelle mondiale est la salinisation des sols. Les estimations les plus récentes de la FAO indiquent qu'elle menace une superficie équivalente d'au moins 400 millions d'hectares (**Legros, 2009**).

La salinisation diminue la productivité des terres arables (**Promasc, 2012**), ce qui entraîne l'abandon des champs où la viabilité de l'exploitation n'est plus garantie. Cela entraîne une baisse significative des bénéfices agricoles (**Marlet et Job ., 2006**) .

La salinité du sol entraîne une diminution du potentiel osmotique de la solution du sol, un déséquilibre nutritionnel et/ou une toxicité ionique (**Zhu 2003; Turan et *al*., 2010**). C'est l'un des principaux facteurs environnementaux qui restreignent la croissance et le développement des plantes (**Ghoulam et *al*., 2002; Faghire et *al*., 2011**).

Une forte salinité a également a un effet d'inhibiteur de l'activité des micro-organismes dans le sol, ce qui ralentit la détérioration et l'évolution de la matière organique. Ainsi, le sélénium affecte l'activité biologique du sol, la composition des produits humiques formés et le cycle biochimique des éléments minéraux (**Gallili, 1980**)

2.3.1. Salinisation primaire :la salinisation primaire, ou la création naturelle de sel, qui affecte 80 % des terres salinisées.

2.3.2. Salinisation secondaire : est d'origine anthropologique et provoquée principalement par l'irrigation; elle est souvent appelée salinisation secondaire (**IPTRID**).

Le développement de la salinisation secondaire semble être étroitement lié à l'irrigation. Dans les zones arrosées, ce dernier processus est celui qui dégrade la qualité du sol le plus rapidement. Selon (**Szabolcs, 1994**), environ la moitié des surfaces irriguées du monde semblent être à risque de salinisation secondaire. La salinisation secondaire est une source importante et rapide de dégradation des sols (**Szabolcs, 1993 ; Lahlou et *al* . ,2002**).

Parmi les activités humaines qui conduisent à une salinisation «secondaire», on peut citer l'irrigation mal gérée, l'utilisation de techniques d'irrigation obsolètes, le déboisement intensif, les engrais nutritifs anthropogènes du sol contenant du soufre et de l'azote et les dépôts atmosphériques à proximité des sites industriels. Ces facteurs augmentent la teneur en sels dans le sol, ce qui réduit la productivité du sol. La capacité des cultures à retenir l'eau et les

micronutriments est diminuée. Les ions dangereux s'accumulent dans les plantes et ont le potentiel de détruire la structure du sol (**Brady, 2002).**

2.3.3. Irrigation et salinité : un processus de salinisation peut résulter de l'irrigation à l'eau riche en sel, qui pourrait fixer le sodium à travers l'adsorbant complexe du sol. Cela pourrait avoir des effets négatifs sur les propriétés du sol, tels que la dispersion de l'argile, la dégradation structurelle, la perte de perméabilité et l'asphyxie des plantes. L'intensité du processus de salinisation est déterminée par les propriétés du sol, la qualité des eaux utilisées, les conditions dans lesquelles elles sont utilisées et, surtout, l'efficacité du système de drainage. Cependant, ces pratiques d'irrigation augmentent le risque de salinisation au point que plus de 20 % des sols irrigués en Algérie sont affectés par un problème de salinité (**Douaoui et Hartani., 2007**).

Toutefois, l'irrigation peut avoir des effets négatifs indésirables sur l'écosystème. En raison de pratiques d'irrigation inappropriées qui ont entraîné la salinité et la déforestation de l'eau, près d'un tiers des terres arrosées dans le monde ont diminué leur productivité (**FAO, 1998**).

Le processus de salinisation est causé par une combinaison inappropriée d'une forte évaporation et une application inadéquate de l'eau d'irrigation par rapport à sa teneur dans les sédiments. Plus la sécheresse est sévère, plus l'irrigation est cruciale pour la culture, et plus son utilisation est discutable (**Ruellan et *al*. 2008**).

Dans la région méditerranéenne, la dégradation des terres due à la salinisation des sols pourrait s'accélérer au cours des prochaines décennies en raison de l'augmentation prévue des zones irriguées et de la pénurie croissante d'eau de qualité, ce qui nécessite des mesures préventives (**Bowyer et *al*., 2009**).

2.3.4. Salinité des sols et élévation du niveau de la mer : les changements dans la salinité de l'océan ont peu d'effet sur les fluctuations du niveau de la mer dans le monde. Bien qu'elles puissent être importantes sur le plan régional, les fluctuations de la salinité n'affectent pas de manière significative le niveau de la mer à l'échelle mondiale, mais elles peuvent servir d'indicateur de la quantité d'eau douce que l'océan reçoit et, par conséquent, des variations de sa masse (**Antonov et *al* ., 2002**). L'inverse de la température se produit lorsque la salinité où la densité diminue, ce qui fait que l'eau s'élargit et que le niveau de l'océan augmente.

L'augmentation prévue du niveau de la mer au cours des prochaines décennies devrait avoir les effets suivants sur la côte : augmentation de la salinisation des estuaires et pollution par les sels phénoliques des nappes (**Roland, 1998**).

3. Problème de salinisation dans le monde :

Les sols salins se trouvent principalement en Asie du Nord et centrale, en Afrique et en Amérique du Sud. Divers facteurs tels qu'une irrigation excessive et un mauvais drainage, la salinité des eaux souterraines, l'élévation et l'intrusion du niveau de la mer, des précipitations irrégulières contribuent au processus de salinisation des sols (**Eswar et Chellamuthu., 2020**).

3.1. Effets délétères du sodium sur la structure du sol :

Les sels agissent sur les propriétés physiques du sol. En particulier par l'action dispersante du sodium échangeable qui provoque la dispersion des colloïdes, cette action néfaste se manifeste lorsque le remplacement du calcium par le sodium dans le complexe absorbant dépasse 15% de la capacité d'échange cationique (**Derdour, 1981**). La stabilité structurale décroit dès que le taux de sodium échangeable représente de 12 à 15% de CEC (**Derdour, 1981**). Le rapport Na+/Ca++ influe sur la dispersion des colloïdes, cette dispersion apparait dès que la quantité de sodium échangeable dépasse celle du calcium échangeable, c'est-à-dire lorsque le rapport Na+/Ca++ dépasse la valeur de 1(**Derdour, 1981**).

3.2. Le stress salin chez les plantes :

Le stress salin est l'un des principaux stress environnementaux limitant la croissance et la productivité des plantes. Pour s'adapter au stress salin, les plantes ont développé diverses stratégies pour intégrer les signaux de stress de salinité exogènes avec des signaux de développement endogènes afin d'optimiser l'équilibre entre la croissance et les réponses au stress (**Arienzo et *al* ., 2012**).les plantes résistent le stress salin et déclenchent une série de mécanismes de réponse. La voie du sel trop sensible activé par le sel (SOS) est une voie classique et importante pour la résistance au stress salin. Le signal calcique spécifique induit par le stress salin peut être décodé par les protéines liant le calcium SOS3 (également connue sous le nom de protéine 4 de type calcineurine B ; CBL4) et la protéine 8 liant le calcium de type SOS3 (SCaBP8; également connue sous le nom de CBL10), qui activer la protéine kinase SOS2 (également connue sous le nom de protéine kinase 24 interagissant avec le CBL; CIPK24) et la recruter dans la membrane plasmique. SOS2 phosphoryle et active l'antiporteur

Na^+/H^+ SOS1 (également connu sous le nom d'échangeur Na^+/H^+7, NHX7), qui exporte l'excès de Na^+ hors de la cellule. De plus, CIPK8 coopère avec SCaBP8 pour activer SOS1 de manière indépendante de SOS3 sous stress salin (**Yu et *al*., 2020**).

La photosynthèse, avec la croissance cellulaire, fait partie des principaux processus affectés par le stress hydrique ou salin. Les effets de la sécheresse et des stress salins sur la photosynthèse sont soit directs (comme les limitations de diffusion à travers les stomates et le mésophylle et les altérations du métabolisme photosynthétique) soit secondaires, comme le stress oxydatif résultant de la superposition de stress multiples. Le bilan carbone d'une plante pendant une période de stress salin/eau et de récupération peut dépendre autant de la vitesse et du degré de récupération photosynthétique, que du degré et de la vitesse du déclin de la photosynthèse pendant l'épuisement de l'eau. Les connaissances actuelles sur les limites physiologiques de la récupération photosynthétique après différentes intensités de stress hydrique et salin sont encore rares. D'après la grande quantité de données disponibles sur les études de profilage des transcriptions chez les plantes soumises à la sécheresse et au sel, il devient évident que les plantes perçoivent et répondent à ces stress en modifiant rapidement l'expression des gènes parallèlement aux altérations physiologiques et biochimiques ; cela se produit même dans des conditions de stress légères à modérées. D'après une récente étude approfondie comparant le stress salin et le stress dû à la sécheresse, il est évident que les deux stress ont conduit à une régulation négative de certains gènes photosynthétiques, la plupart des changements étant faibles (seuil de rapport inférieur à 1), reflétant peut-être le léger stress imposé. Comparé à la sécheresse, le stress salin a affecté davantage de gènes et plus intensément, reflétant peut-être les effets combinés de la déshydratation et du stress osmotique chez les plantes soumises à un stress salin (**Miller et Nielsen., 2021**).

L'homéostasie sodium/potassium (Na+/K+) dans les cellules végétales est essentiel à la tolérance au sel. Les plantes exportent l'excès de Na+ hors des cellules principalement par la voie Salt Overly Sensitive (SOS), activée par un signal calcique; cependant, on ne sait pas si d'autres signaux régulent la voie SOS et comment l'absorption de K+ est régulée en cas de stress salin. L'acide phosphatidique (PA) apparaît comme une molécule de signalisation lipidique qui module les processus cellulaires de développement et la réponse aux stimuli. Ici, nous montrons que PA se lie au résidu Lys57 dans SOS2, un membre central de la voie SOS, sous stress salin, favorisant l'activité et la localisation membranaire plasmique de SOS2, qui active l'antiporteur Na+/H+ SOS1 pour favoriser l'efflux de Na+. De plus, nous révélons que

l'AP favorise la phosphorylation de la protéine 8 liant le calcium (SCaBP8) de type SOS3 par SOS2 sous stress salin, ce qui atténue l'inhibition médiée par SCaBP8 du transporteur 1 d'Arabidopsis K+ (AKT1), un canal K+ rectifiant vers l'intérieur. . Ces résultats suggèrent que l'AP régule la voie SOS et l'activité AKT1 sous stress salin, favorisant l'efflux de Na+ et l'afflux de K+ pour maintenir l'homéostasie Na+/K+ (**Zahra et *al*.,2022).**

3 .2.1.Les glycophytes :

Les glycophytes ou bien les halophobes sont des plante sensibles à la présence de sel ne tolèrent pas dans un milieu salin contenant plus de 3 grammes de NaCl/litre d'eau comme l'haricot:*Phaseolus vulgaris*).Les glycophytes, sont présents dans les écosystèmes à faible teneur en sodium **(Li et *al*,. 2023).**

Le gène SOS1 (Salt Overly Sensitive 1) a été largement étudié chez des plantes comprenant de nombreux glycophytes et quelques euhalophytes ,L'antiporteur Na+/H+ de la membrane plasmique codé, SOS1, est principalement responsable du transport du Na+ à l'extérieur de la cellule et de la réduction de la teneur en Na+ dans les plantes soumises à un stress salin, et a été considéré comme un déterminant clé dans la tolérance au sel des plantes(**Cheeseman., 2015**).

3.2.2. Les halophytes :

Les halophytes sont la flore des sols salins. Bien qu'arbitraire, les halophytes peuvent être définies comme des plantes qui terminent leur cycle de vie dans une concentration de sel (**Cheng et *al*., 2019**).Les halophytes peuvent prospérer dans des environnements très salins. Par exemple, les halophytes *Salsola komarovii*, *Crithmum maritimum*, *Crambe maritima* et *Mertensiamaritima* peuvent bien se développer à une concentration de NaCl de 100 à 200 mM, tout en maintenant leur vie à 600 mM de NaCl (**Flower,Munns et Colmer.,2015**). Il existe quatre mécanismes principaux de tolérance au sel halophyte, notamment :

- **(1)** La sécrétion de sel par les glandes salines
- **(2)** La régulation de l'homéostasie des ions cellulaires et de la pression osmotique,
- **(3)** La détoxification des espèces réactives de l'oxygène et
- **(4)** Les altérations en composition membranaire (**Li et *al* .,2023**)

Les halophytes sont présents dans 37 des 65 ordres de plantes. Sur la base d'analyses phylogénétiques, l'halophile a apparemment évolué pas moins de 59 fois. Aucune famille n'est

strictement halophyte bien que, pour des raisons qui ne sont pas claires, certaines aient des effectifs disproportionnellement élevés (par exemple les Chénopodiacées, désormais incluses dans les Amaranthaceae). Au niveau du genre, les halophytes et les nonhalophytes coexistent fréquemment, des exemples bien connus étant Aster, Glycine, Plantago et Solanum (**Cheng et *al*., 2019).**

De nombreux aspects des plantes sont affectés par la salinité, y compris de nombreux changements de morphologie. La morphologie et la structure des halophytes sont adaptées pour économiser de l'eau ; les caractéristiques associées à cette adaptation comprennent une cuticule épaisse, des stomates rares **(Heller et al., 1998)**, et des cellules à grandes vacuoles qui permettent de stocker du chlorure de sodium. Ces adaptations sont essentielles pour préserver l'eau pour la croissance des plantes vivant dans des milieux salins. Les halophiles présentent fréquemment une augmentation de la succulence des feuilles ou des tiges, comme les feuilles des espèces qui deviennent épaisses ou cylindriques, ce qui permet de diminuer les effets toxiques et osmotiques des ions par dilution**(Dajic, 2006).** Les halophytes peuvent présenter une diminution du ratio de biomasse « appareil racinaire/appareil aérien » **(Orcutt et Nielsen., 2000)**. De nombreux halophytes présentent une rotation rapide de leurs feuilles. Les plus jeunes feuilles remplacent les plus anciennes, qui stockent l'excédent de sels.

Ils s'adaptent osmotiquement à la salinité du sol en accumulant des ions et en séquestrant la grande majorité de ceux-ci (généralement Na et Cl) dans des vacuoles, tandis que dans le cytoplasme, les solutés organiques s'accumulent pour éviter les effets néfastes sur le métabolisme. Cependant, à des salinités élevées, la croissance est inhibée **(Miller et Nielsen., 2021).**

- Les halophytes sont divisés en trois types :
- Les euhalophytes,
- Les recrétohalophytes
- Les pseudohalophytes

En fonction de leur mécanisme physiologique de tolérance à la salinité, de leurs structures morphologiques et de leurs caractéristiques écologiques (Flower,Munns et Colmer.,2015).

Le modèle végétal halophyte Thellungiellasalsuginea (Brassicaceae) a montré une meilleure réponse au stress oxydatif par rapport à son parent Arabidopsis thaliana (glycophyte) grâce à un niveau plus élevé de molécules antioxydantes et à l'induction de plusieurs transcrits

de gènes codant pour des enzymes antioxydantes dans des conditions non stressantes **(Cheeseman., 2015).** Les halophytes dicotylédones, Na et Cl sont les composants majeurs du potentiel osmotique cellulaire. On pense généralement que l'adaptation de concentrations élevées de Na et de Cl dans les tissus est obtenue par la compartimentation intracellulaire et la synthèse de solutés compatibles **(Shiri et al ., 2016).**

3.4. La salinisation des sols constitue une vraie menace pour la sécurité alimentaire mondiale :

La salinité des sols est une contrainte environnementale majeure pour la production agricole, affectant environ 45 millions d'hectares de terres irriguées, et devrait augmenter en raison des changements climatiques mondiaux et des nombreuses pratiques d'irrigation **(Flower,Munns et Colmer., 2015).**

Les pertes de récoltes dues à l'augmentation de la salinité des sols affectent désormais les schémas de migration des agriculteurs des régions agricoles côtières telles que le Bangladesh, soulignant l'impact et l'urgence du problème. L'effet néfaste du NaCl sur les plantes est dû à la fois à la réduction de la disponibilité en eau à mesure que le sodium s'accumule dans le sol et à l'effet toxique des ions sodium et chlore sur les plantes **(Roy,Negrao et Tester., 2014).**

L'un des défis majeurs des objectifs de développement durable liés à l'agriculture, à la sécurité alimentaire et à la nutrition, dans le cadre du paradigme actuel de production agricole mondiale, est que l'augmentation des rendements agricoles a souvent des impacts environnementaux négatifs. Il est donc urgent de développer et d'adopter des systèmes de culture améliorant les sols (SICS) optimaux qui permettent de découpler ces paramètres de système. La salinisation des sols constitue un risque environnemental majeur qui limite le potentiel agricole et est étroitement liée à la mauvaise gestion agricole et à la surexploitation des ressources en eau, en particulier dans les climats arides **(Van Zelm, Zhang et Testerink.,2020).**

4. Techniques de prévention et de réparation du sol :

4.1. Technique d'irrigation :

- Surveiller et gérer la qualité de l'eau d'irrigation, par exemple en éteignant les inondations lorsque conductivité électrique d'une rivière est supérieure à 1 dS/m
- Une stratégie d'irrigation appropriée en fonction de la qualité de l'eau utilisée et des effets négatifs que la technique d'application et la qualité des eaux peuvent avoir sur les rendements et la croissance des cultures. En raison de leur faible inefficacité, les systèmes de surface sont idéalement adaptés à l'irrigation ; néanmoins, en raison de l'augmentation potentielle des pressions d'eau et de salinité entre les épisodes d'arrosage, ils ne sont pas aussi adaptés pour l'irrigation de cultures moins tolérantes. Toutefois, étant donné que l'irrigation par gouttelettes utilise des profondeurs d'arrosage minuscules et fréquentes, elle convient aux cultures sensibles au sel. Toutefois, les sels doivent être empêchés de revenir dans l'ampoule humide.
- Les besoins en eau des cultures devraient être satisfaits par le biais d'un programme d'irrigation, ce qui devrait également contribuer à encourager le drainage des sels de la zone racine. Si les champs sont plats et que l'eau et le sel sont distribués uniformément, l'irrigation de surface à grande profondeur et avec moins d'incidences peut garantir des conditions de production idéales en éliminant l'accumulation de salinité dans la zone racine. en ce qui concerne l'irrigation à goutte. La quantité maximale de lixiviation dans la zone racine peut être maintenue par de petits épisodes réguliers .Toutefois , la gestion de la ferme doit être adaptée aux caractéristiques uniques de chaque champ , car des intervalles d'irrigation courts peuvent entraîner l'absorption de l'eau des couches superficielles du sol , augmenter les pertes d'évaporation de la surface et augmenter la charge de sel dans le sol . De grands intervalles d'irrigation, cependant, peuvent améliorer l'absorption de l'eau.
- Les champs doivent être élevés pour assurer une distribution d'eau cohérente (Maria et al.,2019). -profondeurs d'irrigation en fonction des besoins des cultures, du climat et des caractéristiques du sol (such as hydraulicconductivity, soil texture, and available water capacity).
- Contrôler l'application de modifications et d'engrais, en particulier lorsqu'il est restreint de lécher.
- Les besoins en lixiviation devraient être utilisés conjointement avec les besoins en eau des cultures dans les situations de risque de salinisation afin de réguler le taux de sel dans la zone de racine.
- L'événement d'irrigation complémentaire et d'entretien constant du puits de drainage.

- L’irrigation à l'aide d'eaux de salinité différente. Les eaux salines sont souvent considérées comme une ressource alternative précieuse car les approvisionnements en eau douce ne sont pas toujours accessibles pour répondre aux besoins en eaux agricoles Il est possible d'appliquer des liquides d'irrigation saline seuls, en cycles, ou combinés ou mélangés avec de l'eau douce. Lorsque les tactiques cycliques sont prises en compte, l'eau fraîche est donnée à la récolte pendant ses phases de croissance les plus vulnérables, telles que la germination et les semis, et des eaux salines sont données lorsque la culture est capable de résister à des niveaux de salinité plus élevés. Lorsque des tactiques de mélange sont utilisées, deux ou plusieurs sources d'eau sont combinées pour fournir une salinité souhaitée pour une certaine récolte. Ces techniques dépendent de la tolérance au sel de la culture, du type de sol et du climat, et de la durée du temps pendant laquelle la culture sera plantée.
- Les études de salinisation doivent être appuyées par des modèles de dynamique des eaux du sol et de transport des solutés. Ces modèles peuvent être très utiles pour prédire divers scénarios de qualité de.
- L'eau d’irrigation, du climat, des cultures et du sol une fois qu'ils ont été calibrés et validés à l'aide de données sur le terrain.
- Profondeurs d'irrigation en fonction des besoins des cultures, du climat et des caractéristiques du sol (perméabilité du sol, texture du sol, et taux de rétention en eau (**Maria et *al*.,2019**).

4.2. Bio-réparation des sols sodiques:

En fournissant du Ca pour remplacer le Na dans le complexe d'échange du sol, la phytorémédiation fonctionne via un mécanisme lié à l'amélioration chimique. Dans cette situation, une source de calcium est nécessaire, et la calcite du sol est généralement cette source. Dans ce processus, la fonction des plantes est d'augmenter les niveaux de CO2 dans la zone racine, ce qui facilite la désintégration de lacalcite. L'activité des bactéries peut contribuer à l'augmentation de CO2 dans la zone racine encore plus.

4.3. La sélection des rhizobactéries pour la restauration du sol :

(A)-Les sols salins provoquent la formation d’une abondance de molécules toxiques telles que l’éthylène et les espèces réactives de l’oxygène (ROS) et entravent les processus végétaux, entraînant des maladies et la mort des plantes sans mécanismes suffisants de tolérance au sel.

Les ions Na+ perturbent le fonctionnement des canaux ioniques des plantes, entraînant un choc osmotique des plantes. **(B) -** Mécanismes directs par lesquels ST-PGPR peut améliorer la tolérance aux sels végétaux. Chaque ST-PGPR produit différents antioxydants ou solutés pour aider à lutter contre la toxicité du sel.

(C)- Méthodes indirectes d'amélioration de la tolérance aux sels végétaux ST-PGPR. Tous les rhizobium ST-PGPR ne produisent pas toutes les substances (**figure 02**) (**Li et *al*., 2023**).

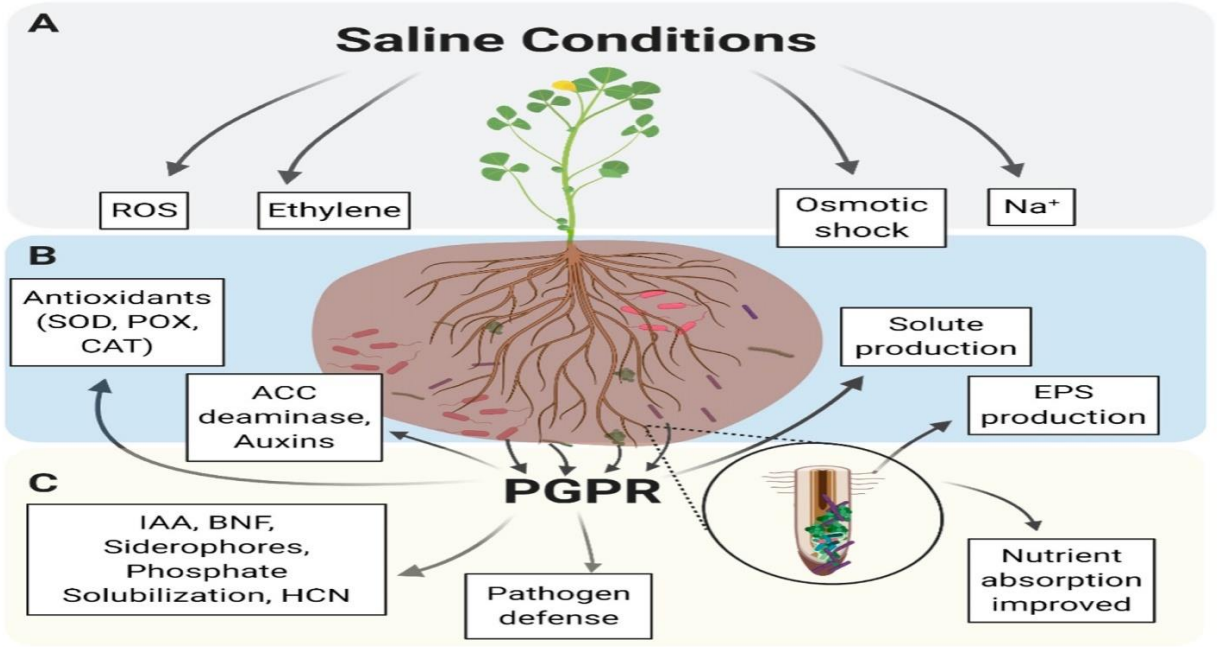


Figure 2 : Rhizobactéries favorisant la croissance des plantes liées à la tolérance au sel (ST-PGPR) et leur rôle dans l'amélioration de la tolérance au sel chez les halophytes

5. Bactéries halophiles :

5.1 Définition :

Les halophiles sont des créatures qui vivent dans des environnements hyper saline, où la salinité dépasse généralement celle de l'eau de mer au point de saturation, et nécessitent du sel pour la croissance (**Das et Arora ., 2006**). Pour faire face au stress osmotique, les bactéries halophiles accumulent des molécules chimiques à faible poids moléculaire (glycine betaine) (**Reed et *al*., 1986**).

Les bactéries halophiles ont besoin de sel (NaCl) pour se développer. Cette concentration peut aller de 1 à 6 % pour les bactéries halophiles légères à 15 à 30 % pour celles extrêmement Halophiles. (*Halococcus*). Dans ce cas, les bactéries accumulent des réserves importantes de potassium afin de maintenir une hypertonicité par rapport à son environnement (**Cherif., 2019**).

De nombreux halophiles sont capables de prospérer dans une variété d'environnements salés, parfois nécessitant ou tolérant des sels en fonction des conditions nutritionnelles et environnementales. Les cellules peuvent souffrir d'une osmolarité élevée dans des environnements hypersaliniques parce que l'eau est perdue dans le milieu ambiant jusqu'à ce qu'un équilibre osmotique soit atteint. Les halophiles accumulent généralement des concentrations élevées de solutés dans le cytoplasme dans ces situations pour prévenir la perte d'eau cellulaire (**Galinski , 1993**) .

5.2. Classification (Types d'halophilie) :

La classification fonctionnelle de l'hypersaline de la biote est principalement basée sur les exigences et la tolérance au NaCl de divers organismes, même si la vie a également été détectée à des concentrations élevées de substances autres que le NaCl (**De la Haba et *al.*, 2011**). Le mot "halophile" vient du grec et signifie "aimer le sel". Ce sont les types d'organismes qui tolèrent jusqu'à 35% de NaCl et apprécient le sel (**Castillo - Carvajal et *al.*, 2014**). Les ions de sodium sont nécessaires à leur croissance et à leur métabolisme. Ces micro-organismes sont classés en cinq types principaux selon **Kushner et Kamekura (1988)** en fonction de leur comportement par rapport les uns aux autres (**Tableau II**).

Tableau 2 : Classification des halophiles basée sur la tolérance au sel (kushner et kamekura, 1988)

Classe	**Tolérance au NaCL (%, P/V)**
Non halophiles	< 0.2M (~1%)
Halophiles légers	0.2-0.5 M(~1-3%)
Halophiles modérés	0.5-2.5M(~3-15%)
Halophiles extemes limites	1.5-4.0M(~9-23%)
Halophiles extremes	2.5-5.2M(~15-32%)

Les micro-organismes qui peuvent se développer en présence sont appelés halotolérants parce que les micro-organismes halophiles peuvent prospérer et se développer de manière optimale dans un large éventail de facteurs environnementaux extrêmes, ils peuvent également être appelés "polyextrémophiles" (**Papke, 2015**). En effet, un micro-organisme halophile peut également être un organisme alcalin, appelé organisme haloalcaline, qui se développe de manière optimale à des valeurs de pH supérieures à 9; cependant, il ne peut pas se développer à un pH presque neutre de 6,5 (**Mesbah et Wiegel, 2012**).

5.2.1. Halophiles faibles:

Les halophiles faibles poussent de manière optimale à 0,2 0,85 mol L (2-5 %) NaCl (**Shiladitya et Priya., 2001**).

La variation dans le nombre moyen de bactéries faibles halophiles était plus corrélée avec celles modérément halophiliques que avec celles extrêmement halophilliques. Une explication à ce phénomène est que les bactéries faibles et modérément halophiles colonisent des niches différentes des bactériens extrêmement halophiliques (**Oren, 1999 ; Oren, 2002a ; 2002b**).

5.2.2. Halophiles modérés :

Les changements dans la teneur en sel, la température de croissance, le pH et le type de nutriments disponibles ont tous un impact sur la physiologie des bactéries halophiles modérées et extrêmes (**Amoozegar et *al*., 2016**). À des concentrations de 0,85 à 3,4 mol/L de NaCl, les bactéries halophiles modérées peuvent se développer (**Oren 2012; DasSarma et Das Sarma., 2015).**

En recueillant de minuscules molécules organiques extrêmement solubles dans l'eau, y compris la glycine, la bétaïne, la proline, la glutamine, l'ectamine, le potassium et l'acide glutamique, les bactéries modérément halophiles adoptent une stratégie "compatible sol- ute" pour s'adapter à leurs habitats externes (**Moghaddam et al. 2016 ; Nath, 2016**).

Dans les halophiles, les micro-organismes halophiles modérés constituent un groupe important qui pousse de manière optimale entre 0,85 et 3,4 mol L NaCl (**Kushner 1978 : Das Sarma et *al.*, 2001**). En plus de leur capacité à biodégrader les polluants organiques, ils présentent un grand potentiel en tant que source d'enzymes hydrolytiques et de polysaccharides compatibles dans les applications biotechnologiques (**Le Borgne et *al.* 2008**). Le Borgne et *al.* (2008) ont rapporté que les bactéries modérément halophiles ont une polyvalence catabolique et une

capacité plus large que ce que l'on pensait auparavant et que des efforts considérables sont nécessaires pour estimer le véritable potentiel de ces micro-organismes pour les applications des processus environnementaux.

Les halophiles modérés pourraient être utilisés pour éliminer le phosphate des environnements salins (**Ramos et Cormenzana ., 1989**).

5.2.3 Halophiles extrêmes :

Les halophiles extrêmes poussent le mieux en milieu avec 2,5–5,2 M (NaCl saturé)(**Kushener., 1985**). Les halophiles extrêmes sont des bactéries inhabituellement persistantes qui possèdent des caractéristiques moléculaires robustes, telles qu'une profusion de protéines très acides qui leur permettent de fonctionner en présence de 5 M de sel (**Shiladitya, 2006**).

Les bactéries halophiles extrêmes se trouvent dans le royaume des archées. Les halophiles et les organismes halotolérants sont également présents dans le règne eucarya ; Ils ne font pas l'objet de cette revue. La diversité des bactéries halophiles et des archées a été largement étudiée et plusieurs groupes caractéristiques ont été distingués (**Grant et *al.* , 1998 ; Kamekura, 1998 ; Ventosa et *al.* , 1998a, b)**.

Les extrémophiles sont des micro-organismes qui sont adaptés pour survivre dans des environnements difficiles. Les extrémophiles comprennent les acidophiles et les alcalophiles, qui ont une croissance optimale à un pH < 3 et >10 et des concentrations de sel élevées, respectivement; les psychophiles dont la température de croissance est optimale < 20 °C; les thermophiles ou les hyperthermophiles qui ont respectivement des températures de croissement optimales > 50 et 75 °C, et les halophiles ayant une augmentation optimale en chlorure de sodium de 2,0 à 5,2 M (**Rothschild et Mancinelli., 2001**). Ces micro-organismes peuvent grandir et vivre dans des environnements difficiles, et ils ont généralement besoin de ces circonstances pour exister.

5.3. Caractéristiques bactériologiques:

Les membres des halophiles présentent une grande diversité morphologique dépendant directement de la disponibilité nutritionnelle, du niveau de salinité et de la force ionique. Leur cellules varient en taille (0,8 à 13 μm) et en forme, déterminée par les propriétés de la paroi cellulaire et la membrane plasmique ces micro-organismes peuvent être : des bâtonnets, des

coccus, des cellules pléomorphiques, ainsi que des cellules triangulaires et en carrés (**Oberwinkler, 2011**).

5.3.1. Paroi cellulaire :

L'organisation de la paroi cellulaire des halophiles ne contient ni acide muramique, ni acide diaminopimelique (**Brown et Chao., 1970 ; Wieland, 1988**). La paroi d'*Haloccocus* est constituée par des polysaccharides. Elle est formée d'une seule couche rigide de 50 nm d'épaisseur et qui n'est pas désintégrée en solution salines diluées. Elle contient le glucose, le mannose, le galactose, la glycine, le glutamate, le glucosamine, galactosamine (**Reistad, 1972**) et un acide rare,

le 2-mino -2desoxyglucuronique (**Reistad, 1974).**

5.3.2. Enveloppe cellulaire :

L'enveloppe forme une matrice structurale a la surface cellulaire et maintient la forme de bâtonnet de ces bactéries, la structure et la voie biosynthétique de cette glycoprotéine ressemblent fort à celles de glycoprotéines des cellules eucaryotes et suggèrent une origine commune dans des cellules primitives existant avant la divergence des eucaryotes et des procaryotes (**Mescher et Strominger., 1978).**

5.3.3. Les ribosomes et leur structure :

Les ribosomes des halophiles présentent quelques propriétés extraordinaires. La sous unité 70S requiert en plus du magnésium (0,1 M) entre 3 et 4 M de potassium pour sa stabilisation. Les tampons normalement utilisés dans les études de ribosomes provoquent la dissociation de la plupart des protéines et de l'ARN 5S dans le ribosome de l'halophile extrême *Halobacteriumcutirubrum.* Une autre caractéristique est que la plupart des protéines des ribosomes halophiles sont acides, tandis que chez les non-halophiles elles sont surtout basiques (**Bayley et Kushner, 1964).**

5.4. Ecologie des bactéries halophiles :

Les bactéries halophiles constituent l'un des groupes importants de micro-organismes extrémophiles.qui sont adaptés pour vivre dans des environnements salins tels que les lacs et les zones humides hypersalins, les sols salins et hypersalins (**Cuevas et al., 2019**). Ces types d'environnements ont une distribution mondiale large et comprennent des systèmes aquatiques,

en particulier des lacs salés et des sols salins. Elles peuvent aussi vivre sur les dépôts de sel et les produits alimentaires fermentés au sel tels que les sauces de poisson, les peaux d'animaux, etc. Plusieurs espèces d'halophiles ont été isolées de divers aliments fermentés à haute teneur en sel traditionnellement utilisés. Certains membres des haloarchaea peuvent même survivre dans des cristaux de sel (**Oren, 2010**).

a-Lacs salés ou marais salés dans le monde : Le grand lac Salé dans l'Utah aux États-Unis qui a une salinité de 22%, le désert d'Atacama au Chili qui a une salinité de 15-30%:

b- Mers : La mer morte avec des quantités élevées de magnésium et une salinité de 25-30%**.**

c- Sols salés : Comme celui d'Alicante en Espagne avec une salinité de 2,4 à 12,7%.

d-Habitats froids et salins : Tels que les lacs hypersalins de l'Antarctique avec 28% de salinité.

e-Habitats salins et alcalins: Comme le lac Vénère en Italie avec une salinité de 9 à 17%.

f-Aliments très salés : Comme la sauce soja dont la salinité est de 6,5 à 10 % ou la morue dont la salinité est de 19%.

5.5. Diversité des bactéries halophiles dans l'écosystème :

Le monde des bactéries halophiles est très diversifié. On retrouve des représentants de trois domaines de la vie, les archées, les bactéries et les eucaryas, adaptés à la concentration en sel jusqu'à saturation **(Tripathi, Barua et Chakrabarti., 2015).**

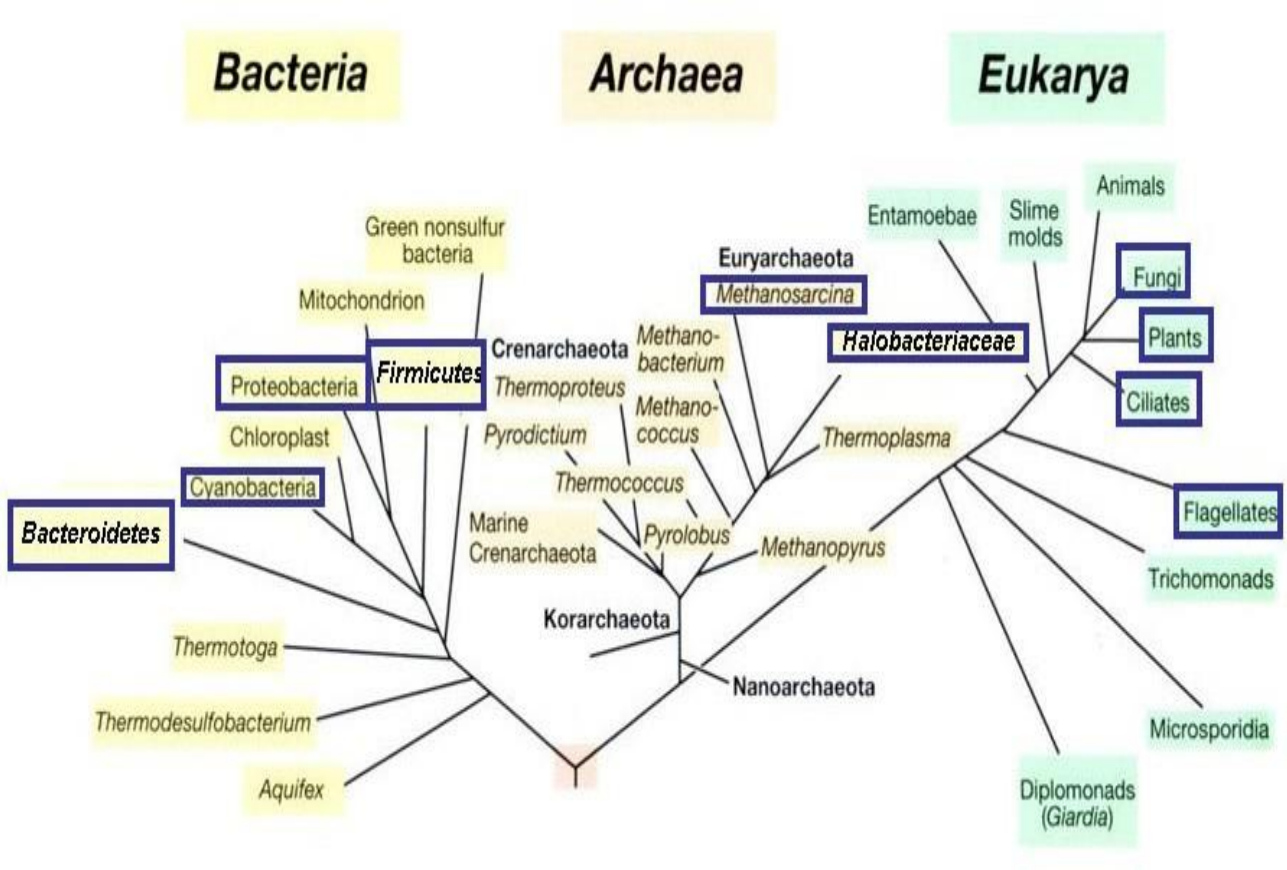


Figure 3 : Arbre phylogénétique universel issu d'une analyse comparative de séquences de gènes ribosomaux. les groupes phylogénétiques contenant des membres halophiles et halotolérants sont encadrés en bleu (oren,2008)

Le domaine des Bacteria regroupe la plus grande diversité des halophiles, la plupart étant halophiles modérés plutôt qu'extrêmes. Ces microorganismes aérobies, hétérotrophes, forment un groupe phylogénétique très hétérogène. Ils sont inclus dans 8 phyla: Proteobacteria, Firmicutes, Actinobacteria, Spirochaetes, Bacteroidetes, Thermotogae, Cyanobacteria et Tenericutes.

5.5.1. Phylum Proteobacteria :

Les protéobactéries englobent un énorme niveau de diversité morphologique, physiologique et métabolique, et sont d'une grande importance pour le cycle mondial du carbone, de l'azote et du soufre Bien que ce phylum contienne plus d'isolats valablement décrits que tout autre phylum ,la grande majorité des protéobactéries du sol n'ont pas encore été cultivées (**Last .,2024).**

5.5.2. phylum Actinobacteria :

Le phylum Actinobacteria est divisé en six classes: Actinobacteria, Acidimicrobiia, Coriobacteriia, Nitriliruptoria, Rubrobacteria et Thermoleophilia. La classe Actinobacteria comprend 43 familles des 53 présentes dans le phylum, alors que les cinq autres classes ne contiennent ensemble que 10 familles (**Ait Barka et *al*., 2015**). La première souche d'actinobactérie halophile extrême a été isolée fortuitement par Gochnauer en 1975, à partir d'une contamination d'une culture d'halobactéries ensemencée sur un milieu à 25% de NaCl et fut nommée *Actinopolysporahalophila*. Depuis cette date, une diversité phylogénique des actinobactéries halophiles a été décrite et classée dans diverses familles et divers genres (**Goodfellow et *al*., 2012**).

5.5.3. Phylum Firmicutes :

Les membres du phylum Firmicutes sont hautement divers aux niveaux morphologique et physiologique et sont capables d'habiter une grande variété d'environnements, tels que les habitats hypersalins. La famille des Bacillaceae appartenant à ce phylum est la plus importante avec 21 genres incluant des espèces halophiles obligatoires (**Ludwig et *al*., 2008**), dont *Halobacillus* est considéré comme le genre le plus important. La plupart des études physiologiques réalisée sur ce genre a été focalisée sur l'espèce type, *Halobacillushalophilus*. Plusieurs approches ont démontré l'importance du chlorure non seulement pour la croissance de cette bactérie mais également pour la motilité et la synthèse flagellaire, la germination des endospores, la régulation d'une variété de protéines et le transport de l'osmoprotecteur glycine bétaïne (**Roebler et Müller, 1998; 2002; Dohrmann et Müller, 1999; Roebler et *al*., 2000**).

5.5.4. Phylum Spirochètes :

Quatre espèces modérément halophiles des Spirochètes ont été décrites, toutes appartenant au genre Spirochaeta. Il s'agit de *Spirochaetahalophila* (**Greenberg et CanaleParola, 1976**), des espèces holoalcaliphiles (*Spirochaetaafricana*et *Spirochaetaalkalica*) et de *Spirochaetaasiatica* (**Zhilina et *al*., 1996).**

5.5.5. Phylum Bacteroidetes :

Le phylum Bacteroidetes se compose de trois classes Bacteroidia, Flavobacteria et Shingobacteria (**Garrity et Holt, 2001**). Ces dernières incluent des espèces halophiles faibles et modérées (**Denger et *al*., 2002; Donachie et *al*., 2004; Nedashkovskaya et *al*., 2005**) et uniquement quatre espèces halophiles extrêmes aérobies et pigmentées: *Salinibacterruber* (**Antón et *al*., 2002**), *Salinibacteriranicus*, *Salinibacterluteum* (**Makhdoumi-Kakhki et *al*., 2012**) et *Salisaetalonga* (**Vaisman et Oren, 2009**).

5.5.6.Phylum Thermotogae :

Le phylum Thermotogae est composé de la classe Thermotogae, qui n'a qu'un seul ordre, Thermotogales. Les membres de cet ordre sont anaérobies. Ils sont reconnus comme les habitants des réservoirs d'huiles chaudes et profonds situés dans des écosystèmes marins ou continentaux (**Magot et *al*., 2000**). L'ordre Thermotogales est composé d'une seule famille Thermotogaceae, qui possède plusieurs genres, un seul genre comprend une espèce modérément halophile: l'espèce *Petrotogahalophila* a été isolée d'un puits de pétrole au Congo, en Afrique de l'Ouest, et pousse en présence de 4–9% de NaCl, avec un optimum de 4–6% de NaCl (**Miranda-Tello et *al*., 2007**).

5.5.7. Phylum Cyanobacteria :

Les cyanobactéries, également appelées algues bleu-vert, bactéries bleu-vert ou Cyanophyta, ont été retrouvées dans divers habitats aquatiques, y compris les milieux marins, les eaux douces, les sources chaudes, les environnements hypersalins et glace (**Castenholz, 2001**). La classification taxonomique des cyanobactéries est déroutante en raison des systèmes de nomenclature double: bactériologique et botanique. Les deux codes sont souvent utilisés sans coïncidences avec des prescriptions différentes. Le résultat est que seuls quelques taxons cyanobactériens peuvent être considérés comme «Valablement décrits» (**Oren, 2004**). En vertu du code bactériologique (révision de 1990), les noms de six genres: *Halospirulina*, *Planktothricoide*s, *Prochlorococcu*s, *Prochloron*, *Prochlorothrix* et *Rubidibacter* sont actuellement publiés valablement (**Oren, 2004**). Au sein de ces genres, les espèces *Rubidibacterlacuna* et *Prochlorococcusmarinus* ont été isolées de l'eau de mer, Micronésie et la mer des Sargasses, respectivement. *Halospirulinatapeticola* pourrait être considérée comme halophile modérée, cette espèce appartient au genre Oscillatoriales a été isolée d'un lac hypersalé sur la côte pacifique de Baja, Californie, Mexique. Cette cyanobactérie est capable

de croître à des concentrations en sel comprises entre 3% et 20%, mais pas en eau douce (**Nübel et *al*., 2000**).

5.5.8. Phylum Tenericutes :

Ce phylum comprend la classe des Mollicutes qui était auparavant classé dans le phylum Firmicutes (**Schleifer, 2009**). Seule une espèce modérément halophile a été décrite associée aux Mollicutes. Antunes et *al*. (2008) ont décrit une bactérie isolée de l'interface saumure-sédiment anoxique hypersalin du, Mer Rouge. Phylogénétiquement, elle représente une lignée nouvelle et distincte au sein du domaine Bactérie. Cependant, elle était équidistante des taxons appartenant aux phylaFirmicutes et Tenericutes. L'espèce partage plusieurs caractéristiques morphologiques avec les espèces Mollicutes, mais son positionnement phylogénétique pourrait plaider en faveur de la proposition d'un taxon de haut niveau pour bactérie, peut-être au niveau du phylum. Cependant, comme elle est actuellement représentée par une seule espèce, elle a été placée sur le nouvel ordre Haloplasmatales, famille Haloplasmataceae, en tant que nouvelle espèce désignée Haloplasma contractile. C'est une espèce modérément halophile, capable de croitre en présence de NaCl avec des concentrations comprises entre 1,5% et 18%, et une croissance optimale à une concentration de 8% (**Antunes et *al*., 2008**).

5.6. Mécanismes adaptatifs des halophiles :

Les bactéries halophiles possèdent deux mécanismes différents qui leur permettent de vivre dans des environnements salins.

- La stratégie « sel-in » permet au micro-organisme d'absorber les ions chlorure pour obtenir un équilibre avec l'environnement.
- Le deuxième mécanisme est connu sous le nom de stratégie du « soluté compatible ». Pour obtenir l'équilibre avec leur environnement, les halophiles pomperont des ions chargés neutres hors de la cellule pour suivre le rythme de l'environnement riche en sel.

5.6.1. Mécanisme de type KCl ou Halobacterial(sel-in) :

Stratégie adoptée par des groupes phylogénétiquement différents.Ce mécanisme implique le maintien d une grande concentration ionique intracellulaire, où K+ est en concentration interne supérieure à la concentration en Na+ externe, c'est ce qu'on appelle mécanisme type KCl ou

Halobacterial de prévention de choc osmotique, par transport d'ions à travers la membrane par des pompes ioniques. L'exclusion du Na du cytoplasme se fait grâce un antiport Na+/ H+, localisé au niveau de la membrane cytoplasmique **(Oren, 2002).**

5.6.2. L'osmorégulation (solité compatible) :

La deuxième stratégie d'haloadaptation est basée sur la biosynthèse et/ou l'accumulation de solutés organiques compatibles. Deux opérations au coût énergétique élevé pour la bactérie qui optera généralement pour le transport au lieu de la synthèse de ces composés organiques dissous les «Osmolytes » s'ils sont déjà présents dans le milieu. Les cellules qui utilisent cette stratégie excluent le plus de sels possible de leur cytoplasme. Il est important de noter que la stabilisation de la structure des protéines grâce à l'action des solutés compatibles a pour effet d'augmenter la tolérance vis-à-vis du sel mais aussi vis-à-vis d'autres facteurs de stress comme la chaleur, la congélation et la dessiccation **(Lipperet et Galinski.,** 1992).

5.6.3. Exemples de bactéries halophiles :

1.Halanaerobium praevalens (Zeikus et *al*, 1984) : Est un espèce type dans le genre Halanaerobium. L'espèce a d'intérêt environnemental, parce qu'elle est capable de réduire une variété de composés aromatiques substitués par les nitro, et en raison de sa capacité à dégrader les polluants organiques. La souche est également intéressante parce qu'elle fonctionne comme une bactérie hydrolytique, fermentant la matière organique complexe et produisant des métabolites intermédiaires pour d'autre groupes trophiques tels que les bactéries réductrices de sulfate et de méthane. Il est également rapporté qu'il est impliqué dans l'élimination du carbone dans le grand lac salé, sa source d'isolement. Il s'agit de la première séquence complète du génome d'un représentant du genre Halanaerobium et de la seconde séquence d'une souche de type de la famille halanaerobiaceae. Le génome de 2 309 262 Pb de long avec ses 2110 protéines et 70 gènes d'ARN.

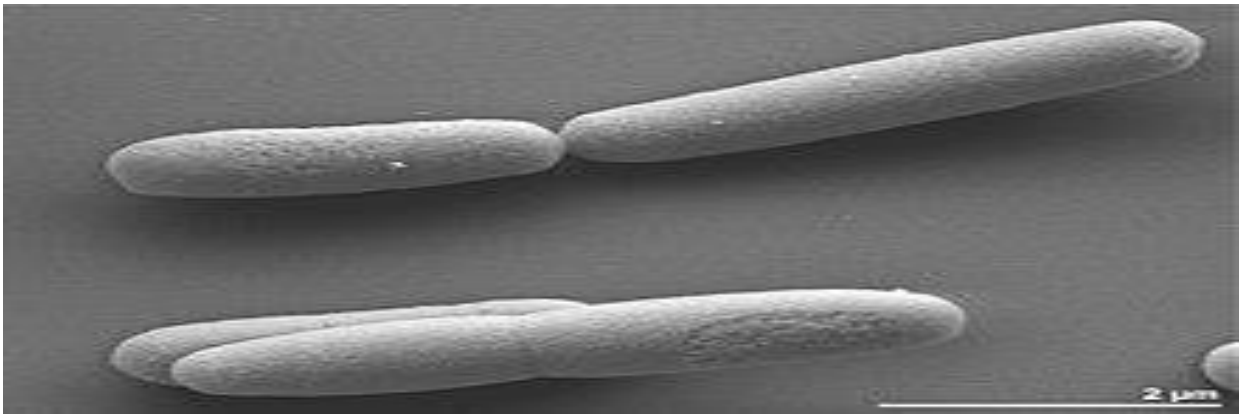


Figure 4 : Halanaerobiumprevalens sous microscope électrique (Zeikus et al, 1984)

2.Tetragenococcus halophilus (Masuda et *al* ., 2008) : Se développe dans des environnements extrêmement salés. Cette bactérie halophile est récemment devenue la principale microflore lors du stockage du jus épais de sucre, un produit intermédiaire de la production de sucre de betterave. La dominance de *T. halophilus* n'entraîne pas toujours la dégradation, malgré le fait que *T. halophilus* peut provoquer la dégradation du suc épais. Les souches de *T. halophilus* provenant d'environnements riches en sel et en sucre, en particulier des jus épais dégradés et non dégradés. Les souches de *T. halophilus*isolées d'environnements riches en sel et en sucre ont été distinctes par la technologie d'empreintes digitales PCR répétitives (rep-PCR) et d'ADN polymorphe amplifié aléatoirement (RAPD). Cependant, aucun modèle de déformation n'a pu être associé spécifiquement et systématiquement aux jus épais dégradés ou non dégradés. Les souches halophiles de *T. halophilus* étaient remarquablement incapables de se développer dans un jus épais et sucré. L'hybridation ADN-ADN a regroupé toutes les souches de l'espèce *T. halophilus*, indépendamment des différences entre les souches provenant d'environnements riches en sel ou en sucre, à l'exception d'un isolat provenant de jus épais en sucre qui présentait des caractéristiques physiologiques et génétiques différentes et qui pourrait représenter une nouvelle espèce de *Tetragenococcus*(**Justé et *al* ,2008).**

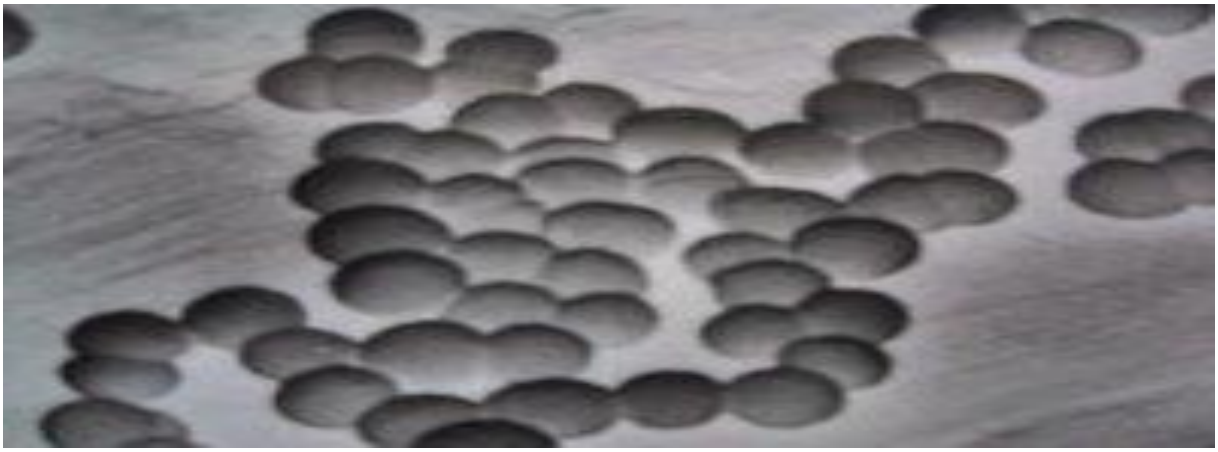


Figure 5 : Tetragenococcishalophitus au microscope électronique (Masuda et al,2008)

3.Halobacillus halophilus:

Les concentrations de sel (NaCl) changent fréquemment dans son environnement menacent la bactérie *Halobacillushalophilus*, qui est une gram-positive, aérobie et modérément halophile. Récemment, il a été démontré que *H. halophilus* était le premier procaryote à se développer en dépendant de Cl-. La fonction biologique du chlore chez ce procaryote suggère un rôle plus large du chlore dans le métabolisme de *H. halophilus*. C'est un système modèle, la production de flagelles dépendante du chlore, la synthèse de FliC, la sous-unité principale du flagelle, dépend de la concentration en chlorure du milieu, comme le montrent les analyses Western blot. Le gène codant de FliC a été séquencé et cloné. Selon les tests par Northern blot et PCR avec transcriptase inverse, l'expression de fliC dépend du Cl-. La première protéine de fonction connue qui a été démontré être synthétisée chez un procaryote de manière Cl-dépendante est fliC. Cinq autres protéines induites par Cl-ont été révélées par l'électrophorèse sur gel bidimensionnelle de cellules cultivées dans différentes conditions. Ces protéines ont été identifiées par séquençage N-terminal et recherches dans les bases de données comme étant des orthologues des protéines impliquées dans la réponse au stress chez *Bacillus subtilis*. Selon les données, le chlore joue un rôle important en tant que signal environnemental chez cet halophile modéré qui contrôle la synthèse des protéines et l'expression des gènes. De plus, les données peuvent indiquer que le chlore joue un rôle dans la transduction du signal impliquée dans la façon dont cette bactérie perçoit le sel (**Roebler et Muller., 1998).**

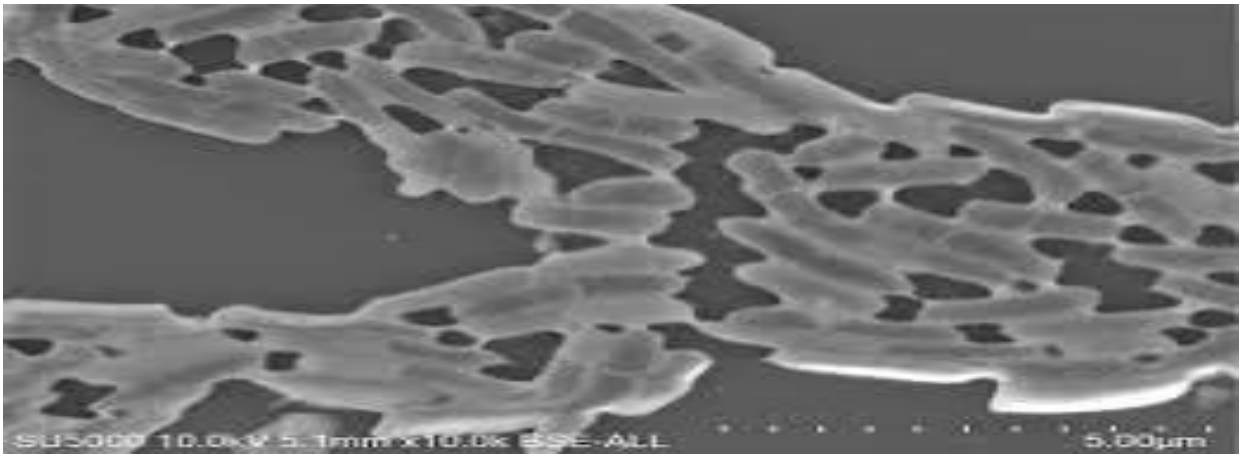


Figure 6 : Halobacillus halophilus au microscope électronique (Roebler et Muller,1998)

5.6.4. Application des bactéries halophiles en biotechnologie :

L'exploitation des bactéries halophiles revêt une importance particulière dans le développement de nouvelles molécules avec des applications potentielles en biomédecine. Les efforts actuels sont principalement axés sur les besoins de santé urgents, en particulier ceux qui représentent les principales menaces mondiales, le cancer et la résistance aux antibiotiques. La grande polyvalence métabolique des micro-organismes halophiles, leur faible besoins nutritionnels et leur mécanismes génétiques d'adaptation à des conditions difficiles, telles que la famine des nutriments, la déshydratation, un rayonnement solaire élevé et une forte résistance ionique, les rendent des candidats prometteurs et une espérance pour la découverte de médicaments (**Charlesworth et Burns ., 2015).**

Des progrès continus en matière d'<<omics>> et d'outils bioinformatiques révèlent des gènes d'encodage incommensurables pour la production de plusieurs composés actifs en réponse aux conditions extrêmes (**Chen et *al* ., 2017; Das et Dach ., 2018**). L'application concomitante de technologies de pointe aide à déchiffrer les mécanismes moléculaires, physiologiques et métaboliques pour la production de nouveaux composés bioactifs (**Vavourakis et *al* ., 2019**).

Les bactéries halophiles sont des producteurs reconnus de pigments d'enzymes hydrolytiques et de solutés compatibles comme stabilisateurs de macromolécules,biopolymères et biofertilisants (**Amoozegar et *al* ., 2017. Dassarma et *al*., 2010**).

Les bactéries halophiles et l'archée aérobie extrêmement halophiles également connue sous le nom d'haloarchéa , jouent un rôle important dans l'industrie avec un grand nombre d'applications telles que les produits alimentaires fermentés , les cosmétiques , les conservateurs , la fabrication de bioplastiques , les appareils photoélectriques , les rétines artificielles , les hologrammes , les biosensors , etc (**Yin et *al* ., 2015. Jin et *al*., 2019).**

Matériel et

Méthodes

III. Matériel et méthodes :

1. Matériel :

1.1. Cadre d'étude et présentation de site :

Notre travail fait au laboratoire de biologie au niveau de la faculté des sciences, université Yahia Farés (Ouzera), qui située à la wilaya de Médéa, au nord de l'Algérie (36°15´nord ,2°51´est et 1005m d'altitude). Nous avons ciblé ce site comme source naturelle pour l'isolement des bactéries, vu qu'il s'agit d'un site non exploité pour la recherche et l'isolement de micro-organismes d'intérêt biotechnologique. La température relativement très basse en hivers (samedi 10 février 2024, la température était compris entre 6,8 et 9,9 °C) a été un paramètre motivant pour le choix de ce site pour l'isolement de nouvelles souches bactériennes halophiles.

Le matériel est préparé à base de deux plantes sauvages qui ont été sélectionnées : Une espèce Halophyte (*Hordeumvulgare*) et une espèce glycophyte (*Spinaciaoleracea*), originaire des régions tempérées et subtropicales.

Cette étude a porté sur l'estimation des degrees de tolerance aux fortes salinités des souches bactériennes isolées des différentes fractions de la rhizosphère de ces plantes hôtes.

1.2. Echantillonnage :

C'est la première étape dans l'expérimentation, elle doit être effectuée d'une façon à choisir un échantillon représentatif de la plante hôte en question.

La sélection de l'hôte a été faite au hasard, dans différents locaux de culture localisés au niveau de l'espace cultivée de la faculté (**figure 07).**



a **b**

Figure 7 : Sélection des plantes hotes (a: epinard, b: orge)

1.3. Prélèvement de la zone rhizosphérique :

-choisir une plante qui ne soit ni trop « belle » ni au dernier stade de l'agonie
- retirer l'horizon de sol superficiel sur 10 cm de profondeur
- prélever la terre et/ou des racines dans la rhizosphère de la plante et verser le prélèvement dans un sac en plastique
A travers notre étude, nous avons ciblé 03 zones pour l'isolement de souches d'actinomycètes isolées à partir de la rhizosphère de la plante :

- **Le rhizoplant (RP)**
- **Le sol rhizosphérique (sol adhérent aux racines) (SR)**
- **Le sol non rhizosphérique (SNR**)

  - prélever au moins 50 g de terre par échantillon de chaque fraction de la rhizosphère.



Figure 8 : Prélèvement et séparation des différentes fractions de la rhizosphère

1.4. Pré-conservation :

La pré-conservation des échantillons doit se faire dans de bonnes conditions au laboratoire d'analyse (température < 10°C) afin d'éviter toute détérioration et toute modification de la composition ainsi que toute contamination de la part du manipulateur ou de l'environnement.

1.5. Réactifs chimiques, milieux de cultures :

Les réactifs chimiques : eau de robinet, eau distillée stérile, eau physiologie, eau oxygéné, alcool 90%, violet de gentiane, lugol, fuchsine, huile d'immersion**.**

Les milieux de cultures: le milieu GN Solide (Gélose Nutritive), GN liquide, le support d'agar**.**

Appareillage : plaque chauffante, Balance de précision, Etuve, Agitateur magnétique chauffant, Réfrigérateur, Spectrophotomètre, Microscope optique **(Annexe 1).**

2. Méthodes:

2.1. Préparation du sol :

Nous avons réalisé un prélèvement d'une quantité d'1g dans chaque fraction (terre fine). La quantité du sol a été recueillie dans un flacon stérile hermétiquement fermé, le flacon a été mis dans une glacière (**Fig 09)**.



a



b

Figure 9 : Fractionnement des différentes parties de la rhizosphère de l'épinard (a) et le l'orge (b)

2.2 Préparation des cultures bactériennes:

2.2.1 Préparation des cultures bactériennes sur milieu solide:

-Le sol a été séché de sa part, à l'air libre pendant 1 jour.

-Technique de l'isolement : A partir d'1g du sol sec solubilisé dans 10ml d'eau distillée stérille**, à** 0,1 ml de chacune des dilutions 10^{-3} correspondant aux différents échantillons (RP, SR, SNR) est ensemencé sur gelose nutritive.

Les cultures sont ensuite incubées à 28°C pendant 24h.

Les souches isolées sont conservées, après leur identification, dans le bouillon nutritive en présence de glycérol à 30% et à une température de -8°C pour stopper toutes les réactions biochimiques internes et préserver l'intégralité cellulaire. D'autre part, les spores sont récoltées après maturation et conservées dans les mêmes conditions.

Repiquage et confirmation des souches apportés :

a. Purification des souches :

On va réensemencer chaque souches apporté en un boite de pétrie contenant la gélose GN convenable, puis les incuber pendant 24 heure, puis on va les repiquer une autre fois on des boites contenant les mêmes géloses utilizes.

b. Tests de confirmation :

Les examens a pour but de vérifier et conformer les souches sélectionnés :

b1.Examen à l'état frais :

On rajoute à une goutte de l'éosine aqueuse diluée (à la place de l'eau distillée) disposé sur lame une à deux colonies, bien mélangé, couvre par lamelle, puis observation au microscope optique à objectif x100 avec huile d'immersion.

b2.Coloration de Gram :

Une goutte d'eau distillée stérile va disposer sur lame et mélanger avec une colonie isolée, déplacer la lame sur la flamme jusqu'à devient sèche (blanchâtre), inonder avec le violet de gentiane (pendant 1 minute) puis rinçage par l'eau, l'ajoute de lugol (1 min) puis rinçage, décoloration par l'alcool (10 second) puis rinçage, coloration avec le fuchsine (1 min) puis rinçage, séchage du lame par papier buvard puis observation on microscope optique (objectif x 100 avec huile d'immersion).

b3. Critères biochimiques :

Test catalase : Le catalase est une enzyme qui dégrade l'eau oxygénée (peroxyde d'hydrogène) en eau et en oxygène moléculaire selon la réaction suivante :

$$H_2O_2 \xrightarrow{\text{CATALASE}} H_2O + O_2 .$$

Cette réaction est réalisée par le mélange d'une colonie bactérienne avec quelques gouttes d'eau oxygénée .

Deux réactions sont remarquée soit :

- Une réaction positive : la production des bulles se manifeste par la présence de catalase .
- Une réaction négative : l'absence de production du gaz donc absence de catalase.

b4. Aspect morphologique des isolats :

Après l'isolement des colonies typiques en adoptant la méthode des stries par épuisement sur gélose nutritive, ces dernières sont repérées suivant leurs caractères morphologiques. L'étude macromorphologique est réalisée en se basant sur l'aspect des colonies et du substrat et la taille des colonies. L'étude micromorphologique est basée par contre, sur une observation microscopique de frottis l'aspect des cellules (forme, taille et ramification) et la présence des spores sont observés (**Hasani et *al*., 2014**).

2.3. Croissance des isolats en présence de différentes concentrations de sel (Na Cl):

La croissance des souches bactériennes isolées à partir du différentes fractions du sol, en présence de concentrations croissantes de chlorure de sodium a été évaluée sur milieu gélose nutritive liquide additionné de : 0,1M – 0, 2M-0,3M - 0,6M – 0,8M-1M -1,6M -2M , puis incubée à 30°C pendant 48h .

2.3.1. Préparation de la suspension bactérienne dans différentes gradients de concentration en NaCl :

A partir des cultures jeunes de bactéries isolées de chaque fraction du rhizosphère, un prélèvement de quelques colonies a été réalisé, ensuite elles ont été inoculées dans des tubes contenant 10 ml d'eau physiologique stérile (6 tubes), suivi par une agitation.La préparation de 48 tubes à essai divisé par 6 , 8 tubes pour chaque suspension déjà préparé, dans chaque tube nous avons mis une concentration précise de Na Cl (de 0,1 M jusqu'à 2 M), suivi par une stérilisation dans l'autoclave , après on ajoute 10 ml du milieu GN liquide stérile dans chaque tube plus 1 ml de chaque suspension bactérienne préparé dans ces 8 tubes , la même méthode a été appliquée pour les autres suspension .

2.3.2. Effet de NaCl sur la croissance bactérienne :

a. Influence sur les paramètres microbiologiques:

Nous avons utilisé 8 tubes à essai comme témoins, dans chaque tube nous avons mis 10 ml du milieu gélose nutritive liquide. Suivi par l'ajout de concentrations croissantes de

chlorure de sodium de 0,1 M jusqu'à 2M dans chaque tube, puis les mélangées avant la lecture de la densité optique (DO), le pH et la conductivité électrique (CE) de chaque solution. Les mêmes procédures seront appliquées avec les tubes contenant les bactéries.

b. Estimation de la croissance par le culot de centrifugation:

Le test de centrifugation est réalisé pour déterminer le poids des bactéries après l'incubation pendant 48 h à 30°C dans un milieu GN liquide contient différentes concentration de Na Cl.

Les tubes renfermant le bouillon nutritif avec les souches isolées ensemencées dans des différentes concentrations en NaCl sont ensuite centrifugé à 6000 rpm durant 10 min pour récupérer le culot.

2.3.3. Test du pouvoir germinatif (PG) des semences de soja :

a. Préparation des inoculums bactériens :

Le test de germination est réalisé a pour but de déterminer l'effet des bactéries halophiles dans l'amélioration du rendement des plantes en présence de deux concentrations différentes en Na Cl (0,1 M et 2M). A partir des cultures jeunes de bactéries de chaque fraction de la rhizosphère des deux plantes hôtes on peut préparer un inoculum correspond une concentration de 10^6 UFC.

b. la stérilisation des graines de soja :

Un échantillon de 325 graines de soja est stérilisé dans un récipient contient un mélange de 25 ml d'eau distillée stérile additionner de deux gouttes de l'eau javel pendant 2 minutes, puis lavé avec l'eau distillée stérile deux fois pour éliminer l'effet de chlorure.

c. Inoculation des graines de soja :

Les graines stérilisées sont placées dans des boites de pétri contenant de l'agar solide, à l'aide d'une pince stérile (15 boite dans chaque boite 5 lignes de 5 graines espacées de 1 cm entre chaque graine). Ensuite, nous ajoutons l'inoculum bactérien par aspersion des grains de soja (1ml/graine), les graines témoins sont aspergés avec solution salées (les deux concentrations

sans bactéries), les boites ensuite ont été transférer dans un endroit sombre à température de 21 °C (**Fig 10**).

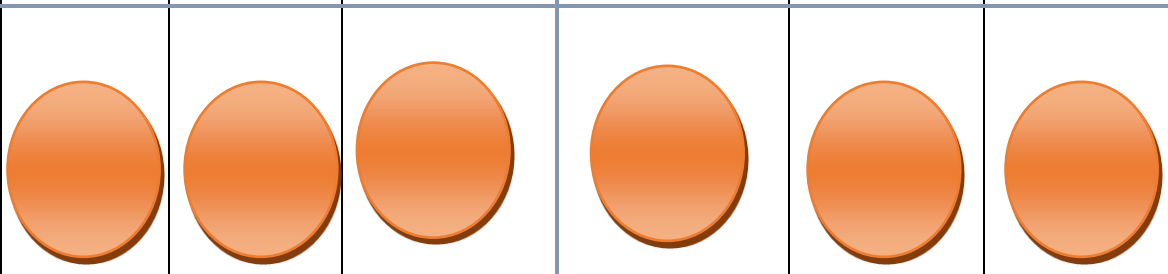
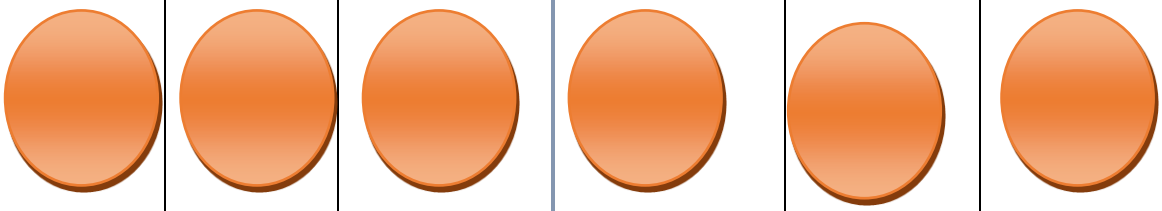
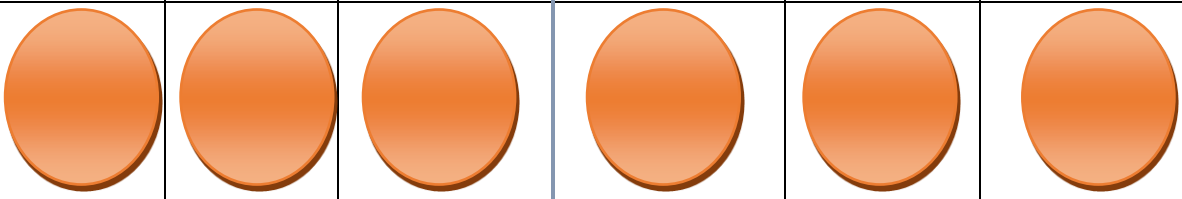
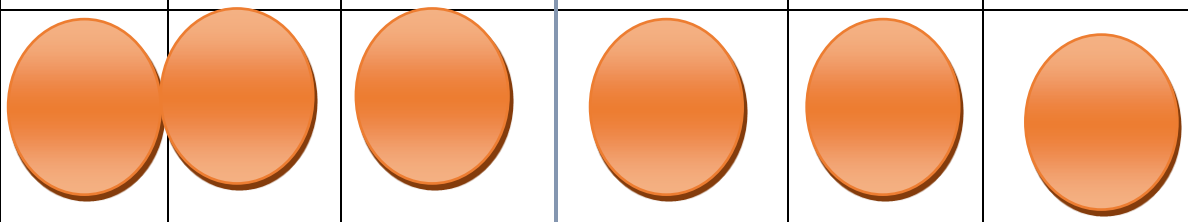
Plante hôte						
Epinard				**Orge**		
Fractions de la rhizosphere				**Fractions de la rhizosphère**		
	RP	**SR**	**SNR**	**RP**	**SR**	**SNR**
[NaCl] 0.1M						
Souche	S1	S2	S3	S1	S2	S3
[NaCl] 2M						
Souche	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Témoin NaCl] 0.1M						
Souche	/	/	/	/	/	/
Témoin NaCl] 2M						
Souche	/	/	/	/	/	/

Figure 10 : Dispositif expérimentale du test de pouvoir germinatif ses graines de soja

Résultats et Discussion

IV. Résultats et Discussion :

1.1. Examens appliqués aux germes (Tests de confirmation):

1.1.1. Examens macroscopiques :

Les caractéristiques macroscopiques sont obtenues à partir des cultures bactériennes sur milieu gélosé **(Figure 11)**, les caractères examinés sont représentés dans le **(Tableau 3).**

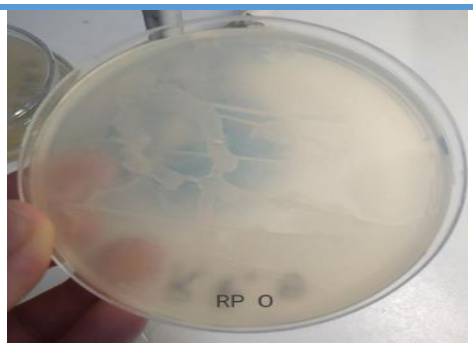
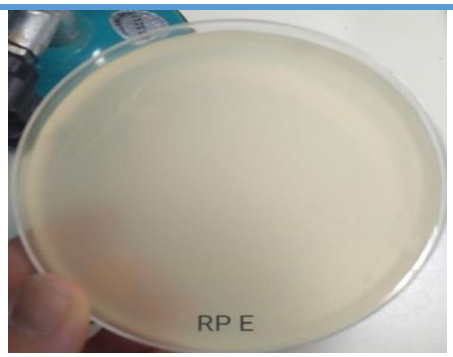
Rhizosphère		*Hordeum vulgare*	*Spinacia oleracea*
Fraction	RP	 (S1)	 (S4)
	SR	 (S2)	 (S5)
	SNR	 (S3)	 (S6)

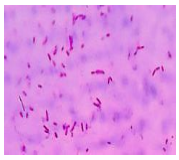
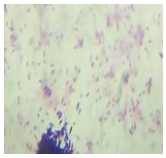
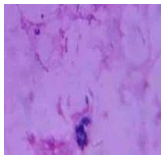
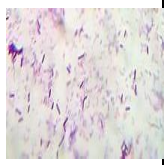
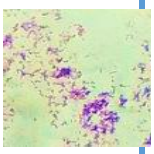
Figure 11 : Observation macroscopique des colonies, des isolats S1, S2, S3, S4, S5, S6 dans un milieu GN (culture jeune < 24 heures)

Tableau 3 : Les caractéristiques macroscopiques des colonies des bactéries testées.

Critères morphologiques	**Souches bactériennes**					
	S1	***S2***	***S3***	***S4***	***S5***	***S6***
La forme	Ronde	Ronde	Ronde	Ronde	Ronde	Ronde
Le relief	Plate	Plate	Plate	Plate	Plate	Plate
Le contour	Régulier	à bord régulier	Régulier	Régulier	à bord régulier	à bord régulier
Le diamètre	2 à 3 mm	1 à 2 mm	2 à 3 mm	2 à 3 mm	2 à 3 mm	2 à 3 mm
La taille	Grande colonie	Moyenne colonie	Grande colonie	Grande colonie	Grande colonie	Grande colonie
La surface	Lisse	Lisse	Lisse	Lisse	Lisse	Lisse
La couleur	blanchâtre	jaunâtre	Jaunâtre	blanchâtre	Jaune d'or	blanchâtre
Croissance	Rapide	Modérée	Rapide	Rapide	rapide	rapide

1.2. Examen microscopique : Les tests effectués pour déterminer la coloration de Gram et un état frais. Une observation microscopique permet de noter le Gram, la mobilité, la forme et le mode d'association de chaque souche **(Tableau 4).**

Tableau 4 : Les caractéristiques microscopiques des espèces bactériennes étudiées

criteres microscopiques	Orge			Epinard		
	RP(S1)	**SR(S2)**	**SNR(S3)**	**RP(S4)**	**SR(S5)**	**SNR(S6)**
Coloration de gram	Négative(-) Coloration rose 	Négative(-) Coloration rose 	Positive(+) Coloration violet 	Positive(+) Coloration violet 	Positive(+) Coloration violet 	Positive(+) Coloration violet 
Etat frais						
La forme	coccobacille	Cocci	Bacilli	Cocci	Bacille incurvé	Cocci
Mobilité	Immobile	Immobile	Immobile	Immobile	Immobile	Immobile
Mode d'association	diplobacille	diplocoques	Cellules séparées	Cellules séparées	Cellules séparées	diplocoques et des grappes de raisin

1.2. Effet in vitro des isolats des différentes fractions sur la salinité du milieu (condictivitéélectrique CE):

Tableau 5 : Effet in vitro des isolats des différentes fractions sur la salinité du milieu (conductivité électrique: CE)

[Nac] :M	Témoin	Rhizosphère					
		Hordeumvulgare			*Spinaciaoleracea*		
		RP(S1)	**SR(S2)**	**SNR(S3)**	**RP(S4)**	**SR(S5)**	**SNR(S6)**
0.1	85,166 ±0,351	73,86± 0,602	79,133 ± 0,305	78,933± 0,602	83± 0,2	79± 0,4	76,3± 0,3
0.2	97,166± 0,208	97± 0,854	96± 0,36	95± 0,3	49,06± 0,115	96,4± 0,4	95,533± 0,503
0.3	185,733± 0,378	170,733± 0,642	177,133± 0,321	36,566± 0,45	175,966± 0,251	98,266± 0,251	183,1± 0,36
0.6	201,733± 0,305	206,866± 0,513	197± 0,2	190,9± 0,36	45,566± 0,251	191± 0,3	192,4± 0,458
0.8	217,7± 0,3	221,666± 0,2	213,766± 0,608	212,033± 0,251	40,633± 0,737	211,1± 0,264	211,223± 0,404
1	234,666± 0,416	238,666± 0,577	224,033± 0,351	223± 0,3	38,266± 0,251	40,633± 0,55	220,933± 0,702
1.6	251,66± 0,416	258± 0,2	243,6± 0,529	44,7± 0,173	238,966± 0,251	235,133± 0,23	241,1± 0,36
2	255,7± 0,3	264,066± 0,444	247,733± 0,461	32,766± 0,416	247,033± 0,251	250,2± 0.36	250,066± 0.42

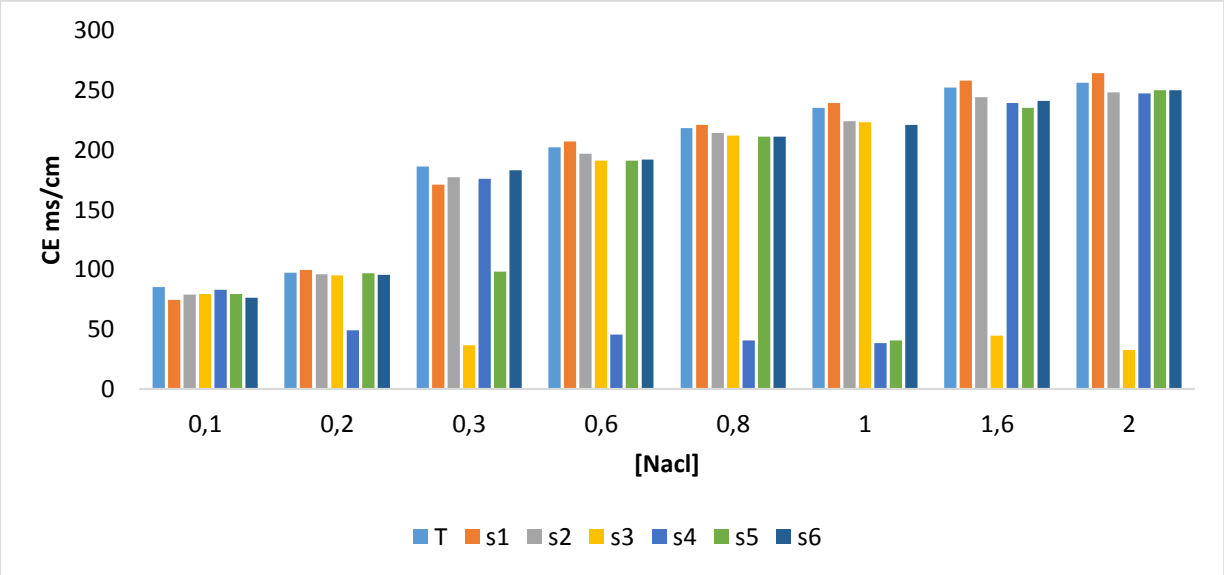


Figure 12 : Effet in vitro des isolats des différentes fractions sur la salinité du milieu (conductivité électrique: CE)

Les PGPR (Plant Growth-PromotingRhizobacteria), sont définies comme des bactéries présentes dans la rhizosphère, pour lesquelles un effet positif sur la physiologie végétale est reconnu. D'après Kloepper (**1993**), les PGPR se distinguent par leur capacité à coloniser la surface racinaire, survivre, se multiplier et être compétitif vis-à-vis des autres micro-organismes, tout en stimulant la croissance des plantes. Dans la rhizosphère, ces bactéries peuvent se retrouver aux niveaux intra ou extracellulaire (Gray et Smith, 2005). Au niveau intracellulaire, les bactéries sont dites endophytiques et colonisent l'apoplaste. Ces bactéries font parties de la famille des Rhizobiums. Généralement symbiotiques, ce sont notamment les PGPR spécialisées dans les structures nodales des Fabaceae. Au niveau extracellulaire, elles sont localisées en surface ou à proximité des racines, elles sont donc rhizosphériques**(Vessey, 2003).**

Quatre effets principaux ont été identifiés chez ces PGPR. Elles peuvent augmenter la disponibilité des éléments nutritifs, réguler la production de phytohormones, augmenter la tolérance aux stress abiotiques et inhiber les bio agresseurs par compétition **(Glick, 2012 ; Souza, 2015).**

Les isolats bactériens isolés à partir de deux rhizosphères différentes ont été testés. La croissance de ces isolats sur bouillon nutritif appréciée par la mesure de la conductivité electrique (CE) à des concentrations de sel allant de 0.1 à 2 M révèle une diminution importante du taux de NaCl dans le milieu a une faible concentration avec les souches S1, S5 jusqu'à 0.3M.

La souche S3 a été la plus performante où elle a pu diminuer le sel avec des cocentrations plus élevées (2M) en NaCl (32,766± 0,416 Sm).

Toute cellule vivante baigne dans une solution saline qui contient essentiellement du chlorure de sodium (NaCl) et une concentration équivalente en chlorure de potassium (KCl). Les fonctions vitales d'une cellule dépendent étroitement des concentrations en NaCl et KCl de part et d'autre de la membrane cellulaire. À faible concentration, le sel est indispensable au fonctionnement de la cellule. Pourtant aux fortes concentrations, le sel peut empêcher la vie puisqu'une différence importante de concentration en sels entre les milieux intérieur et extérieur provoque la sortie d'eau. Étonnamment, les milieux ultrasalins ne sont pas stériles.

En effet, des communautés microbiennes dites halophiles prolifèrent dans les habitats où les sels (essentiellement du NaCl et $MgCl_2$) ont été concentrés à la limite de leur solubilité (5 à 6 molaires), soit plus de dix fois la concentration dans l'eau de mer.

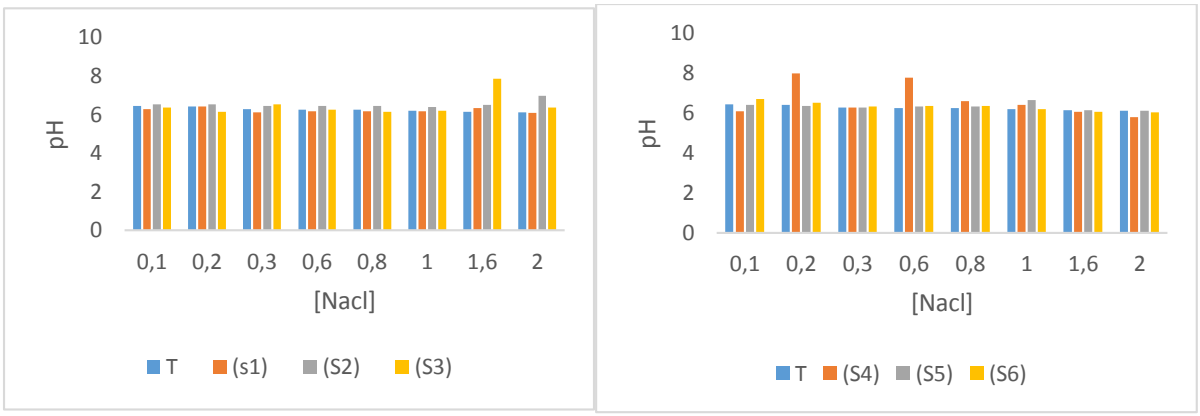
Les micro-organismes halophiles montrent des propriétés métaboliques intéressantes en produisant des biomolécules de grande valeur ajoutée.

Les halophiles sont une source d'enzymes stables qui fonctionnent à fortes salinités. La plupart des halophiles accumulent également de façon naturelle dans leurs cellules des **polyhydroxyalcanoates (PHA)**. De nombreux exemples portent sur la synthèse de produits chimiques tels que **ectoïne**, hydroxy-ectoïnes, glycine et bétaïne comme **agents stabilisants** et de protection contre le stress salin (**Glick, 2012 ; Souza, 2015).**

3. Effet in vitro des isolats des différentes fractions sur l'acidité du milieu (pH):

Tableau 6 : Effet in vitro des isolants des différentes fractions sur l'acidité du milieu (pH)

[Nac] :M	Témoin	Rhizosphère					
		Hordeumvulgare(a)			*Spinaciaoleracea*(b)		
		RP(S1)	SR(S2)	SNR(S3)	RP(S4)	SR(S5)	SNR(S6)
0.1	6.45 ±0.05	**6.28 ±0.071**	6.53 ±0.04	6.36 ±0.02	**6.1 ±0.04**	6.4 ±0.013	**6.7 ±0.01**
0.2	6.41 ±0.035	6.41 ±0.042	6.53 ±0.028	**6.15 ±0.024**	8± 0.05	6.36 ±0.01	6.53 ±0.05
0.3	6.28 ±0.02	**6.12 ±0.038**	6.44 ±0.033	6.53 ±0.01	**7.8 ±0.03**	6.28 ±0.044	6.32 ±0.01
0.6	6.24 ±0.025	6.16 ±0.01	6.44 ±0.03	6.24 ±0.05	**7.79 ±0.01**	6.32 ±0.026	6.36 ±0.032
0.8	6.24 ±0.042	6.16 ±0.033	6.44 ±0.025	6.15 ±0.012	**6.61 ±0.019**	6.32 ±0.02	6.36 ±0.011
1	6.20 ±0.019	6.16 ±0.027	6.40 ±0.02	6.19 ±0.055	6.40 ±0.01	6.65 ±0.06	6.19 ±0.04
1.6	6.15 ±0.01	6.33 ±0.018	6.49 ±0.04	**7.87 ±0.037**	6.06 ±0.022	6.15 ±0.058	6.07 ±0.021
2	6.11 ±0.06	6.08 ±0.035	**6.96** ±0.021	6.36 ±0.011	**5.81 ±0.033**	6.11 ±0.012	6.03 ±0.044



(a) (b)

Figure 13 : Effet in vitro des isolats des différentes fractions sur l'acidité du milieu u (pH).(a): souches isolé de la rhizosphère de l'orge, (b): souches isolées de la rhizosphère de l'epinard

Les résultats représentés sur le tableau6 et la figure 13 ont montré une diminution intense du pH suit à l'inoculation du milieu par les souches de S1 et S4 avec les concentrations 0.1, 0.3 et 2 M, qui donne une acidification remarquable du milieu, cette peut gène les processus de d'adsorption des ions Na^+ sur le complexe Argilo-humique (CAH) du sol. Les valeurs du pH 1varient, augmentant et diminuant de manière très légère par rapport au témoin. En revanche, à une concentration élevée de [1.6] M, le pH atteint une valeur maximale (pH=7,87) chez (S3), tandis qu'à une concentration de 2M, le pH atteint une valeur maximale (pH=0 6,96) chez (S2) qui peut être lié a une faible activité lytique de la matière organique dans ces conditions.

La concentration en sel, le pH et la température et sont les principaux facteurs responsables de la croissance des halophiles dans les environnements hyper salins. La concentration de sel on peut distinguer les halophiles modérés ou extrêmes, en fonction de la concentration en NaCl qui est nécessaire à leur développement : de l'ordre de 5 à 15 % pour les halophiles modérées, Plutôt de 10 à 30 % pour les halophiles extrêmes. Leurs cellules sont irréversiblement endommagées et lysées à moins de 5 à 12 % de NaCl. En plus du NaCl, les niveaux de cations divalents tels que Mg2+ et Ca2+ sont également très importants, en particulier pour les archées modérément halophiles telles que les espèces Haloferax qui poussent dans ces types de lacs salins. Le PH, joue un rôle important au niveau : de la production d'énergie par la chaîne respiratoire, de la perméabilité membranaire et de l'activité métabolique. La plupart des membres halophiles isolés de différents habitats sont soit Neutrophiles, soit alcalinophiles, tandis que les haloarchées acidophiles sont plutôt limitées. La température de croissance de la majorité des halophiles varie entre 35 et 50 C° et parfois même plus. Ces types de variations dépendent des régions saisonnières et géographiques **(Oren 2006, 2014**).

4. Effet in vitro de la salinité sur la biomasse bactérienne des isolats des différentes fractions :

Tableau 7 : Effet in vitro de la salinité sur la biomasse bactérienne des isolats des différentes fractions

[Nac] :M	Rhizosphère					
	Hordeumvulgare			*Spinaciaoleracea*		
	RP(S1)	SR(S2)	SNR(S3)	RP(S4)	SR(S5)	SNR(S6)
0.1	0.073 ±0.004	0.266 ±0.005	0.288 ±0.003	0.076 ±0.006	0.268 ±0.002	0.086 ±0.001
0.2	0.08 ±0.003	0.241 ±0.002	0.175 ±0.005	0.857 ±0.003	0.209 ±0.009	0.14 ±0.006
0.3	0.082 ±0.004	0.257 ±0.003	0.198 ±0.002	0.185 ±0.001	0.235 ±0.001	0.163 ±0.002
0.6	0.084 ±0.001	0.309 ±0.004	0.3 ±0.003	0.494 ±0.004	0.333 ±0.006	0.221 ±0.005
0.8	0.096 ±0.003	0.482 ±0.006	0.264 ±0.006	0.18 ±0.001	0.244 ±0.004	0.227 ±0.005
1	0.099 ±0.0o6	0.511 ±0.001	0.284 ±0.008	0.078 ±0.006	0.205 ±0.003	0.253 ±0.007
1.6	0.135 ±0.002	0.414 ±0.003	0.250 ±0.001	0.17 ±0.002	0.204 ±0.004	0.194 ±0.001
2	0.145 ±0.001	0.185 ±0.004	0.150 ±0.003	0.214 ±0.005	0.272 ±0.003	0.147 ±0.002

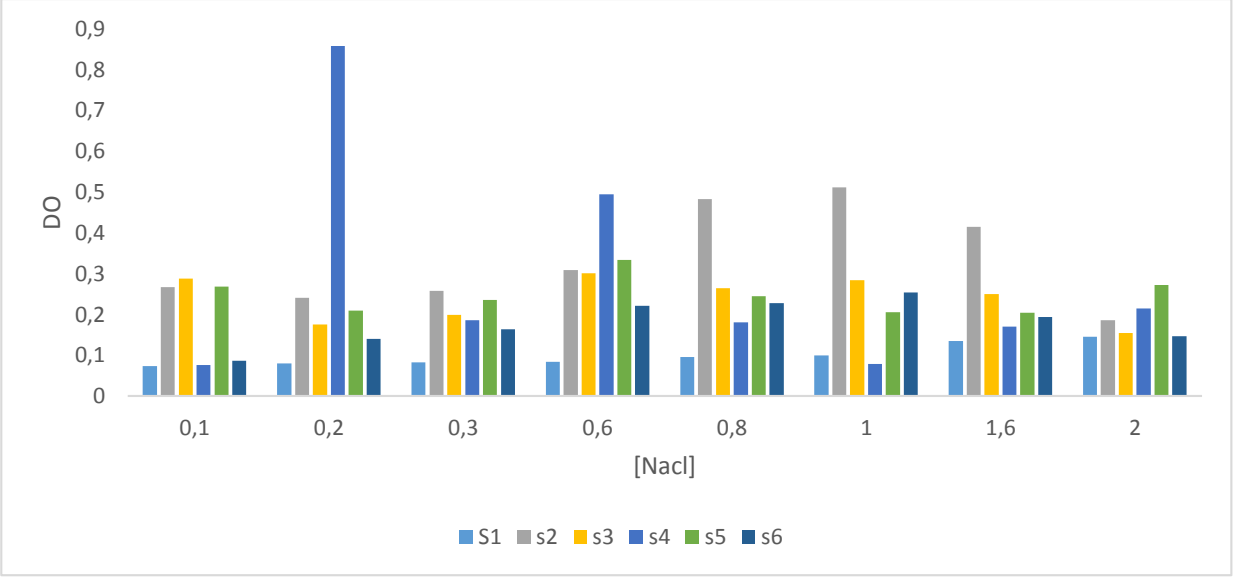


Figure 14 : Effet in vitro de la salinité sur la biomasse bactérienne des isolats des différentes fractions

L'estimation de la croissance bactérienne a été effectuée par la mesure de la densité optique à 630ηm après 48 heures d'incubation. La croissance bactérienne estimée à des concentrations de sel allant de 0.1 jusqu'à 2M révèle une bonne tolérance au sel jusqu'à 1.6 M avec les isolats S2, S3 et S5 (Figure 14). Le maximum de croissance de chaque isolat avec sa

concentration optimal du NaCl sont dans l'ordre : S2 (0.414) à 1.6 M, S3 (0.25) à 1.6 M, S5 (0.204) à A.6 M, (Tableau Ⅶ).

La salinité des sols joue un rôle majeur dans le processus de sélection microbienne (**Borneman et *al.*, 1996**). L'utilisation des Rhizobactéries vivants librement dans le sol favorisant la croissance des plantes a reçu un intérêt considérable dans le monde entier (**Upadhyay et *al.*, 2011**). Des résultats similaires sont rapportés par **Hafsa et *al.*, (2014)**, où la croissance bactérienne augmente à des concentrations de NaCl comprises entre 100 et 400mM ce qui atteste d'une forte tolérance au sel.

5. Effet in vitro de la salinité sur la production de biofilm par les isolats des différentes fractions :

Tableau 8 : Effet un vitro de la salinité sur la production de biofilm par les isolats des différentes fractions

[Nac] :M	Rhizosphère					
	Hordeumvulgare			***Spinaciaoleracea***		
	RP(S1)	**SR(S2)**	**SNR(S3)**	**RP(S4)**	**SR(S5)**	**SNR(S6)**
0.1	0.05±	0.009±	0.009±	0.013±	0.004±	0.031±
0.2	0.05±	0.004±	0.008±	0.087±	0.034±	0.001±
0.3	**0.222±**	0.002±	0.005±	0.014±	0.003±	0.024±
0.6	0.05±	0.019±	0.015±	0.003±	0.001±	0.025±
0.8	0.059±	0.02±	0.017±	0.008±	0.012±	0.005±
1	0.057±	0.03±	0.011±	0.04±	0.002±	0.013±
1.6	0.057±	0.022±	0.011±	0.016±	0.011±	0.016±
2	0.058±	**0.121±**	0.01±	0.013±	0.027±	0.007±

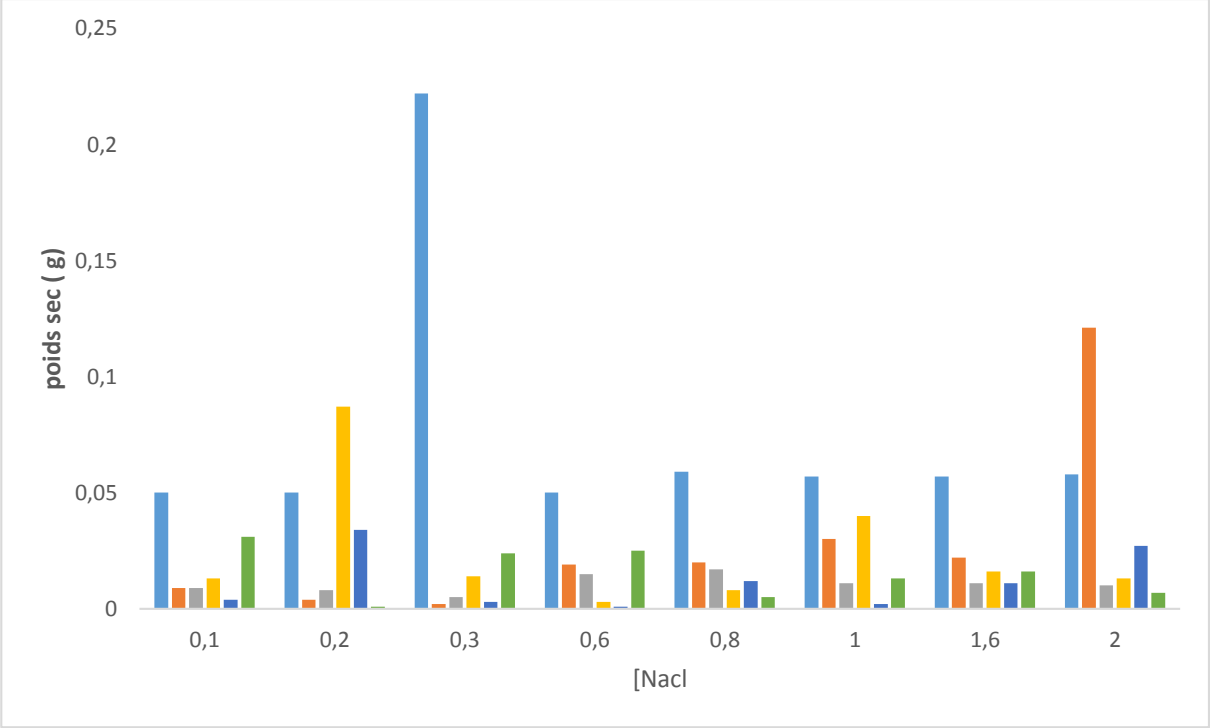


Figure 15 : Effet in vitro de la salinité sur la production de biofilm par les isolats des différentes fractions

Les microorganismes halophiles représentent un modèle unique de stabilité des biomolécules dans des conditions extrêmes de l'environnement (salinité excessive, haute températures et hautes pressions). Cependant, certains métabolites, tels que certaines protéines, enzymes extracellulaires, des substances osmotiquement actives (solutés compatibles), des lipides spéciaux et des exopolysaccharide (**Jean Guézennec, 2014**).

Les microorganismes halophiles produisent des substances polymériques extracellulaires (EPS) qui ont un pouvoir stabilisant, gélifiant, émulsifiant ou encore épaississant, et résistent à des températures, salinités, et pH extrêmes. Ces métabolites peuvent être utilisés en tant qu'agents émulsifiants et surfactants.

Selon le tableau Ⅷet la figure 15 la rhizosphère de H. vulgare caractérisée par les deux souches qui ont l'aptitide de synthétiser un biofilm protecteur aux effets nuisibles des facteurs de l'environnement telque la salinité les valeurs enregistrées sont : 0.222 g (0.3M) et 0.121 g (2M) par les isolats S1 et S2 respectivement.

6. Impact de l'inoculation sur le pouvoir germinatif du soja:

Tableau 9 : Impact de l'inoculation des souches sélectionnées sur le pouvoir germinatif dusoia

Temps (J)	**[Nacl] M**	**Témoin**	**Rhizosphère**					
			Hordeumvulgare			***Spinaciaoleracea***		
			RP(S1)	**SR(S2)**	**SNR(S3)**	**RP(S4)**	**SR(S5)**	**SNR(S6)**
1	**0.1**	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
2	**0.1**	0	0	0	16	0	16	16
	2	0	0	0	0	0	0	0
3	**0.1**	0	04	04	28	08	36	28
	2	0	0	0	0	0	0	0
4	**0.1**	0	08	24	40	20	48	40
		0	0	0	0	0	0	0
5	**0.1**	36	08	76	56	40	68	60
	2	0	08	20	08	0	0	08
6	**0.1**	40	16	84	68	40	68	76
	2	0	16	28	08	20	08	16
7	**0.1**	48	28	96	76	44	68	80
	2	0	20	**36**	08	24	20	16



Figure 16 : Impact de l'inoculation des souches sélectionnées sur le pouvoir germinatif du soja

La germination, est un ensemble de phénomènes par les quels la plantule en vie ralentie dans la graine mure, commence une vie active et se développe grâce à l'énergie contenue dans les réserves de la graine (Clément, 1981). La germination est définie aussi comme étant un processus dont les limites sont le but d'hydratation de la semence et le tout début de la croissance de la radicule (Mazliak, 1988). Sur le plan physiologique, c'est une reprise de l'activité métabolique de l'embryon traduite par l'activité respiratoire (Feillet, 2000). Pendant la germination, la plantule utilise pour la couverture de ces besoins énergétiques les réserves de la graine (grains d'amidon, grains d'aleurone et lipides), qui sont transformés, sous l'action d'enzymes appropriées, en substances directement utilisables pour la croissance (glucose, maltose et acide aminés)(clément, 1981).

Dans le phénomène de la germination on distingue trois phase : phase d'imbibition, une phase qui est appelés aussi la phase de la germination sensu-structo et la phase correspond à la croissance de radicule (Mazliak, 1988), la germination de la graine se caractérise par

l'émergence du coléorhize donnant naissance à des racines séminales et la coléoptile qui protège la sortie de premier feuille fonctionnel (Bada, 2007). La période d'activation de la graine peut durer dizaines d'heures. Aucun changement notable n'est visible. Seules s'opèrent quelques modifications qui préparent le déclanchement de la croissance. La période des mitoses dure environ deux heures. On ne note pas de modifications morphologiques apparentes. Au cours de début de d'allongement, des cellules de la radicule, celle-ci pénètre dans les fentes causées par l'éclatement des téguments (clément, 1981). Lorsque les substances de la croissance sont épuisées, la jeune plante qui possèdent un appareil radiculaire et un appareil aérien formés et fonctionnelles, devient autonome et peut assurer elle-même sa propre croissance ; la germination est alors terminée (Gate, 1995).

Le stress salin s'est manifesté par un effet inhibiteur significatif sur la germination et le développement (le cas des témoins). L'inoculation des graines de soja par les bactéries S1, S2, S4 et S5 a causé une augmentation du taux de germination allant jusqu'à 35% pour les graines de soja sous stress de 2mol, et 96% pour les graines sous stress de 0.1 mol

En effet, Dommergues et *al*. (1999) ont observé que, toutes les bactéries qui ont stimulé la germination du blé, produisent en grande quantité des sidérophores ou de l'acide indole acétique. Ils ont rapporté que certains micro-organismes de la rhizosphère produisent des vitamines comme la thiamine, l'acide nicotinique, l'acide pantothénique et autres, qui stimulent la germination et la croissance des plantes. Il serait donc possible que la stimulation de la germination observée avec ces bactéries, soit due à la production de ces substances ou à l'augmentation de la concentration de P du sol par ces organismes.

Selon Nelson (2004), les PGPR sont capables d'exercer un effet bénéfique sur la croissance de la plante par augmentation du taux cumulé de la germination. Cet effet positif des PGPR sur la germination des graines et l'émergence du coléoptile serait attribuée à la capacité bactérienne de produire ou de modifier des hormones végétales y compris les gibbérellines qui jouent un rôle clé dans la germination (Barassi et *al.,* 2006).

Conclusion

V. Conclusion :

Les microorganismes halophiles croient dans des environnements salins. Afin de survivre dans de tel milieux comme les milieux aquatiques mais aussi de s'y développer de manière favorable, ils adoptent des mécanismes bien définis comme la stratégie KCl ou l'accumulation de solutés compatibles. Les propriétés et les caractéristiques singulières de ces microorganismes ont poussé les chercheurs scientifiques à s'intéresser à ce genre d'organismes, pour connaitre et comprendre leur comportement dans leurs environnements extrêmes.

La maitrise et la compréhension des mécanismes métaboliques et physiologiques qui les font régir, permet un usage et des applications biotechnologiques à des fins multiples et variées. Des espèces microbiennes halophiles représentatives sont reconnus pour fournir des molécules d'intérêt et de fortes valeurs, telles que les enzymes hydrolytiques, les exopolysaccharide.

Les *halophiles* présentent une microflore particulière ou ils peuvent s'adapter à vivre dans des conditions extrêmes. Ces germes présentent une source de biomolécules intéressantes pour divers applications biotechnologique, parmi ces biomolécules on trouve les enzymes. Notre étude basée sur un criblage de souches d'archées *halophiles* locales pour la désalinisation des sols salés. Nous avons sélectionnés six souches pour la mise en évidence de leur développement dans différents concentration en NaCl. D'après les résultats obtenus toutes les souches sont capables a développéer à des concentrations élevées en sel selon des comportements physico-chimique différents et en fonction de la fraction rhizosphérique et l'origine de plante hote (glycophyte ou halophyte).

VI. Références bibliographiques :

ABDEL-KADER DZ. ;SALEHAL A.,2002. Protection induced by external Ca++ application On praline accumulation ,ion balance ,photosynthetic pigment,ABA concentration and Protein of nustard seedlings (Sinapsis alba L.) Under salinity stress. Egyptain Journal of Biology.4:14-22.

Ait Barka E., Vatsa P. Sanchez L. Gaveau-Vaillan N. Jacquard C. Klenk H-P. Clément C. Ouhdouch Y. et van Wezel G.P. (2015). Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 80(1), 1-43

Amoozegar , M.A. , Bagheri , M. , Makhdoumi , A. , Nikou , M.M. , Fazeli , S.A.S. , Schumann , P. , et al . 2016. Oceanobacillushalophilussp . nov . , a novel moderately halophilic bacterium from a hyper saline lake . Int . J. Syst . Evol . Microbiol . 66 : 1317-1322 . doi : 10.1099 / ijsem.0.000952 . PMID : 26869142 .

Amoozegar et al ., 2017.Systematics of haloarchaea and biotechnological potential of their hydrolytic enzymes . Microbiology ,163,623-645.[Cross Ref] [PubMed].

Antón J., Oren A., Benlloch S., Rodríguez-Valera F., Amann R., Rosselló-Mora R. (2002). Salinibacterruber gen. nov., sp. nov., a novel, extremely halophilic member of the Bacteria from saltern crystallizer ponds. Int J Syst EvolMicrobiol 52: 485–491

Antonov , J. I. , Levitus , S. , & Boyer , T. P. (2002) . Steric sea level variations during 1957 1994 : Importance of salinity . Journal of Geophysical Research : Oceans , 107 (C12) , SRF 14 1 - SRF 14-8 . https://doi.org/10.1029/2001JC00096

Antunes A., Rayney FA. Wanner G. Taborda M. Pa¨tzold J. Nobre MF. Da Costa M. et Huber R. (2008). A new lineage of halophilic, wall-less, contractile bacteria from a brinefilled deep of the Red Sea. Journal of Bacteriology, 190:3580-3587.

Arienzo et al 2012,. “The Relative Effects of Sodium and Potassium on Soil Hydraulic Conductivity and Implications for Winery Wastewater Management.”

Ashraf M. ,2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using Antioxidants as markers. Biotechnol Adv, 27:.84-93.

Aubert G , 1976. Les sols sodiques en Afrique du Nord .

Aubert G., 1978. Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales de l'i.N.A El-Harrach, VI, 1 : 195.

Ayadi A et al ; 1979. échange ioniques cellulaire cas des plantes en milieu salé et rôle des Parois cellulaire, physiologie Vgle Vol ED cautier paire .90 pp.

Bayley, S. T. et Kushner, D. J. (1964) J. Mol. Biol.,)

Belkhoudja , M . et Bidai , Y. 2004. Réponse des graines d'Atriplexhalimus L. A La salinité au stade de la germination. Sécheresse ; 15 (4) : 331.

BentradAmira ., 2022.Mécanismes de résistances des plantes au stress salin .Mémoire de master en sciences de la nature et la vie . Université de Biskra .

Borboonkaset et al ., 2013. Regulation of some metabolism- related genes, starcric And soluble Sugar contents, Photosynthetic activities and yield attributes of two Contrasting rice genotypes subjected to salt stress. Protoplasma, vol. 250 (5) :1157-1167.

Bouchick .Yamina., 2007_2008.Recherche des marqueures physiologiques , bio-chimiques et les composants du rendement chez le haricot sous stress salin . Thèse nouveau Le diplôme de magister .Université d'Oran es senia .

BOUHLASSA S. , ALECHCHEIKH C , et KABIRI L. (2008) - Origine de la minéralisation et de la détérioration de la qualité des eaux souterraines de la nappe phréatique du Quaternaire du bassin - versant de Rheris (Errachidia , Maroc) . Sécheresse , vol . 19 , n ° 1 , p . 67-75 .

Bowyer , C. , Withana , S. , Fenn , L. , Bassi , S. , Lewis , M. , Cooper , T. , Benito , P. , Mudgal , S. 2009. Land degradation and desertification . Policy Department A : Economic and Scientific Policy . European Parliament's Committee on the Environment , Public Health and Food Safety . IP / A / ENVI / ST / 2008-23 , 102 p .

Brady N.C.The Nature and Properties of Soils , 2002

Breckle S.W., 2002. Salinity, halophytes and salt affected natural ecosystems. In Salinity : Environments-Plants- Molecules, Ed A.L.U. Lüttge. pp 53-77. Kluwer Academic.Publishers.

Brown, H. D. et Chao, K. J. (1970). The walls of extremely halophilic cocci. Gram positive bacteria lacking muramic acid. J Gen Microbiol 62, 267-274

CALU G.,2006. Effet du stress salin sur les plantes. Comparaison entre deux plantes Modèles Arabidopsisthalina et thellingiellahalophila .trends in plant science.p :1-8.

Castillo - Carvajal , L.C. , Sanz - Martín , J.L. , &Barragán - Huerta , B.E. (2014) . Biodegradation of organic pollutants in saline wastewater by halophilic microorganisms : a review . Environemental Science and Pollution Research , 21 (16), 9578-9588 . DOI : 10.1007 / s11356-014-3036 - z .

Charlesworth ,J.C. ; Burns ,B.P. Untapped resources :Biotechnological potential of peptides and secondary metabolites in archaea 2015,1-7.[Cross Ref]Chen,Y.-H. ;Lu ,C.-W . ; Shyu ,Y.-T. ; Lin , S.-S .Revealing the saline adaptation strategies of the halophilic .

Chaves, Flexas, et Pinheiro, "Photosynthesis under Drought and Salt Stress."

Cheeseman.,2015 "The Evolution of Halophytes, Glycophytes and Crops, and Its Implications for Food Security under Saline Conditions," .

Chen ,Y.-H. ;Lu , C .-W. ; Shyu ,Y -. ; Lin , S. S .Revealing the saline adaptation strategies of the halophilic bacterium Halmonasbeimenensisthrougth high – throughput omics and transposon mutagensis approaches Sci .Rep .2017,7,13037.[cross Ref].

Cheng et al., 2019"Recretohalophyte Tamarix TrSOS1 Confers Higher Salt Tolerance to Transgenic Plants et Yeast than Glycophyte Soybean GmSOS1."

Cheng et al.,2013 "Recretohalophyte Tamarix TrSOS1 Confers Higher Salt Tolerance to Transgenic Plants et Yeast than Glycophyte Soybean GmSOS1."

Cherif .N .,2019, Travaux Dérigés _ Microbiologie Générale

Cuevas et al.,2019 "A Review of Soil-Improving Cropping Systems for Soil Salinization."

Dajic Z., 2006) : Salt stress .In : Physiology and Molecular Biology of stress Tolerance in plants .Madhava Rao K.V ., Raghavendra A.S.and Janardhan Reddy K.(eds.), Netherlands., Springer ,41_99..

Das ,S . ; Dash , H.R. (Eds .) Microbial diversity in the Genomic Era : Academic Press : Cambridge ,MA , USA ;Elsevier : Amsterdam , The Netherlands , 2018 .

Das Sarma S. Arora P. Halophiles . Encyclopedia of life sciences and 2001 Nature Publishing Group , Published Online : 2006

Dassarma , P . ; Coker , J.A . ; Huse , V . ; Dassarma . Halophiles , industrial applications . In Encyclopedia of Indutrial Biotechnology ; American Cancer Society : Atlanta , GA , USA, 2010, pp. 1-43.

DasSarma , S. , and DasSarma , P. 2015. Halophiles and their en zymes : negativity put to good use . Curr . Opin . Microbiol . 25 : 10.1016 / j.mib.2015.05.009 . PMID : 26066288 .

DasSarma . S .. Kennedy , S.P. , Berquist , B .. Ng . W.V. , Baliga , N.S .. Sapudich , J.L. , et al . 2001. Genomic perspective on the photobiology of Halobacterium species NRC - 1 , a phototropic , phototactic , and UV - tolerant haloarchaeon . Photosynth . Res . 70 (1) : 3-7 . doi : 10.1023 / A : 1013879706863 . PMID : 16228359

De la Haba , R.R. , Sánchez - Porro , C. , Marquez , M.C. , &Ventosa , A. (2011) . Taxonomy of halophiles . In Horikoshi , K. (Ed .) , Extremophiles Handbook . Springer Japan , Tokyo , Japan , pp . 255-308 .

Dehni A.,2018.Intitulé Télédétection de la salinité des sols à l'aide des Techniques de traitement d'images satellitaires -Application à la région d'Oran thèse doctorat en sciences oran Pp28.

Denger K., Warthmann R., Ludwig W., Schink B. (2002). Anaerophagathermohalophila gen. nov., sp. nov., a moderately thermohalophilic, strictly anaerobic fermentative bacterium. Int J Syst Evol Microbiol 52:173–178

DERDOUR, Hamid. Contribution à l'étude de l'influence du taux de sodium échangeable sur le comportement des sols au compactage. 1981. Thèse de doctorat.

DIEYE M. , 1994- CONTRIBUTION A LA CARACTERISATION ET A LA RECHERCHE DE TECHNIQUES D'AMELIORATION DES SOLS SALES DANS LE DELTA ET LA VALLEE DU FLEUVE SENEGAL . TSRA , DRCSI . MEMOIRE DE TITULARISATION . PP . 90 .

Dieye M.1994-Contribution a la caractérisation et a la recherche de techniques d'amélioration des SSD sols sales dans le delta et la vallée du fleuve Senegal.Tsra,Drcsi.Memoire de titularisation.PP.90.

Dohrmann A.B., Müller V. (1999). Chloride dependence of endospore germination in Halobacillushalophilus. Arch Microbiol 172: 264-267

Donachie S.P., Bowman J.P., Alam M. (2004). Psychroflexustropicus sp. nov., an obligately halophilic Cytophaga-Flavobacterium-Bacteroides group bacterium from an Hawaiian hypersaline lake. Int J Syst Evol Microbiol 54: 935–940

Douaoui A. et HARTANI . T. (2007) - Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas - Chéliff . Actes du troisième atelier régional SIRMA (Nabeul , Tunis) , CD - Rom , Edit . CIRAD , Montpellier , 5 p .

Duchaufour P . , 1983. Pédologie pédogenèse et classification . Ed. Masson , 409p .

Eswar, Karuppusamy, et Chellamuthu,2021 "Drivers of Soil Salinity and Their Correlation with Climate Change."

Evangelou , V. , Mcdonald Jr , L. , 1999. Influence of Sodium on Soils of Humid Regions , in : Pessarakli , M. (Ed .) , Handbook of Plant and Crop Stress , Second Edition . CRC Press , pp . 17-50 .

Faghire M. Bargaz A. Farissi M , Palma F. Mandri B. Lluch C. Tejera García NA , Herrera - Cervera JA , Oufdou K , Ghoulam

FAO (1998) News & Highlights International coalition focuses on research and technology to help farmers in developing countries grow " more crop per drop "

Flowers , T.J. , Colmer , T.D. , 2008. Salinity tolerance in halophytes . New . Phytol . 179 , 945-963 .

FLOWERS T. J. And FLOWERS S. A., 2005 Why does salinity pose such a difficult Problem for plant breeders . ; Agricultural Water Management, 78 : 15_24.

FLOWERS T.J, GALALHK, BROMHAML., 2010 . Evolution of halophytes : multiple origins of salt tolerance in Land plants. Funct Plant Biol 37 :604–612.

FLOWERS T.J., COLMER T.D.2008 Salinity tolerance in halophytes, New Phytol., , 179, 945- 963.

Flowers, Munns, et Colmer.,2015 "Sodium Chloride Toxicity and the Cellular Basis of Salt Tolerance in Halophytes."

Galinski EA (1993) Compatible solutes of halophilic eubacteria : molecular principles , water - solute interactions , stress protection . Experientia 49 : 487-496 .

GALLILI TH . , 1980- TRANSFERT SELS MATIERE ORGANIQUE EN ZONES ARIDES MEDITERRANEENNES . UNIV . NANCY INPL

Garrity G.M., Holt J.G. (2001). Taxonomic outline of the archaea and bacteria. In: Boone D.R., Castenholz R.W (eds) Bergey's manual of systematic bacteriology, vol 1, 2nd edn, The Archaea and the deeply branching and phototrophic Bacteria. Springer, New York: Pp. 155166.

Garza Aguirre R A et al 2015. Microanalysis of leaves of Atriplex canescens (Pursh) Nutt . Under saline conditions .Int .Jour .Farme and Alli .Sci .Vol .,4(1) :26_31.

Ghoulam C. Foursy A , Fares K. 2002. Effects of salt stress on growth , inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars . Environ . Exp . Bot . , 47 : 39-50

Goodfellow M., Kâmpfer P. Busse HJ. Trujillo ME. Suzuki K. Ludwig W. et Withman WB. (2012). Bergey Manuel of Systematic Bacteriology, The Actinobacteria (2èmeEds) vol. V, parts A and B, New York, Dordrecht, Heidelberg, London. P. 2083

Grant WD , Gemmel RT , McGenity TJ : Halo- philes ; in Horikoshi K , Grant W (eds): Ex- tremophiles : Microbial Life in Extreme En- vironments . New York , Wiley -Liss , 1998 , pp 93-132 .

Guedda K. et Djaber O. 2016. Evaluation du co

Halitim A., 1985. contribution à l'étude des sols des zones arides (hautes plaines steppiques d'algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la génèseetcomportement des sols. Thèse doct. D'etat, université de rennes, 383 p.

Hasegawa P. M. , Bressan R. A. , Zhu J. K. et Bohnert H. J. , 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity . Ann . Rev. Plant Physiol . Plant Mol . Biol . , 51 : 463-499 .

Heller R et al ., 1998. L'eau dans la plante .In :Physiologie végétale Dunod ,1,315p.

Jin , M. ; Gai , Y . ; Guo , X . ; Hou , Y . ; Zeng , R. Properties and from deep –sea extremozymes from deep – sea extremophilic microorganismes : A mini review.Mar.Drugs 2019, 17 ,656. [crossRef][PubMed].

Justé A et al .,2008. Genetic and physiological diversity of TetragencoccusHalophilus strains isolated from sugar –and salt-rich environments .

Kamekura M : Diversity of extremely halophilic bacteria . Extremophiles 1998 ; 2 : 289-295 .

Kushner , D. , & Kamekura , M. (1988) . Physiology of halophilic eubacteria . In Rodríguez Valera , F. (Ed .) . Halophilic Bacteria . CRC Press , Boca Raton , FL . pp . 87-103 .

Kushner , D.J. 1978. Life in high salt and solute concentration : halophilic bacteria . In Microbial life in extreme environments . Edited by D.J. Kushner . Academic Press, London , UK . pp . 317 368

Lahouel H., 2013. Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur le Rendement des céréales (cas de l'orge) dans la région de Hemadna à Relizane, pp18.

Le Borgne . S .. Paniagua , D. , and Vazquez - Duhalt , R. 2008 . Biodegradation of organic pollutants by halophilic bacteria and

Lee G et al ., 2008 . synthesis of Organic osmolytes and salte tolerance mechanisms in pasplumvaginatum. Enviromontal and Experiental Botany,vol.63.p19-27.

Legros J.P. (2009) – La salinisation des terres dans le monde. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, Séance du lundi 22/06/2009, Conférence n° 4069, Bulletin n° 40, 257- 269.

Li et al., "Utilization of Halophytes in Saline Agriculture and Restoration of Contaminated Salinized Soils from Genes to Ecosystem."

Li et al.,2023 "Phosphatidic Acid-Regulated SOS2 Controls Sodium and Potassium Homeostasis in Arabidopsis under Salt Stress."

Lippert K. et Galinski E.A. (1992). Enzyme stabilization by ectoine-type compatible solutes: protection against heating, freezing and drying, Applied Microbiology andBiotechnology, 37, 61-65

Loyer ,J.Y.,1991. Classification des sols salés : les sols salic .

Ludwig W., Schleifer K.H., Whitman W.B. (2008). Revised road map to the phylum Firmicutes. In: de Vos P., Garrity G.M., Jones D., Krieg N.R., Ludwig W., Rainey F.A., Schleifer K.H., Whitman W.B (eds) Bergey's manual of systematic bacteriology, vol 3, 2nd edn, The firmicutes. Springer, New York. Pp. 1–13

Magot M., Ollivier B. et Patel BK. (2000). Microbiology of petroleum reservoirs. Antonie Leeuwenhoek 77:103-116.

Makhdoumi-Kakhki A., Amoozegar M.A., Ventosa A. (2012). Salinibacteriranicus sp. nov. and Salinibacter luteus sp. nov., isolated from a salt lake, and emended descriptions of the genus Salinibacter and Salinibacterruber. IJSEM: 1-26 (sous presse)

Maria de C. G. Ana, M. P, Nádia. C, Mohammad. F, Maria C. P, Fernand. M. S. 2019 . Guidelines for soil salinisation risk prevention and corrective management practices.

Marlet S., Job J.O. (2006) – Processus et gestion de la salinité des sols in Tiercelin. J.R. Traité d'irrigation, seconde édition. TEC et DOC Lavoisier, 28 p.

Marschner , H. , George , E. , Römheld , V. , 1995. Preface to Second Edition , in : Mineral Nutrition of Higher Plants (Second Edition) . Academic Press , London , pp. vii - viii .

Mermoud , 2006. Cours physique du sol . Maîtrise de la salinité des sols . Encyclopediatchnique fédérale de Lausanne , 23 p .

Mesbah , N.M. , &Wiegel , J. (2012) . Life under multiple extreme conditions : Diversity and physiology of the halophilic alkalithermophiles . Applied and Environmental Microbiology . 78 (12) , 4074-4082 . DOI : 10.1128 / AEM.00050-12.

Miller et Nielsen.,2021 "Analysis of Gene Expression Changes in Plants Grown in Salty Soil in Response to Inoculation with Halophilic Bacteria."

Miranda-Tello E., Fardeau ML. Joulian C. Magot M. Thomas P. Tholozan JL. et Ollivier B. (2007). Petrotogahalophila sp. nov., a thermophilic, moderately halophilic, fermentative bacterium isolated from an offshore oil well in Congo. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 57:40-44.

Moghaddam , J.A. , Boehringer , N. , Burdziak , A. , Kunte , H.J .. Galinski , E.A. , and Schaberle , T.F. 2016. Different strategies of osmoadaptation in the closely related marine myxobacteria Enhygromyxa salina SWB007 and Plesiocystispacifica SIR - 1 . Mi crobiology , 162 : 651-661 . doi : 10.1099 / mic.0.000250 .

MOHAMMEDI , A . 2021. Détection des sols salés bassé sur les images satellitaires et les techniques d'apprentissage automatique.

mportement de trois variétés de tomate (L Lycopersicumesculentum) Sous un stress salin .p18 .

Munns R. , 2002. Comparative physiology of salt and water stress . Plant Cell Environ . 25 : 239- 250 .

Nath , A. 2016. Insights into the sequence parameters for halo philic adaptation . AminoAcids , 48 : 751-762 . doi : 10.1007 / s00726-015-2123 - x . PMID : 26520112 .

Nübel U., Garcia-Pichel F. et Muyzer G. (2000). The halotolerance and phylogeny of cyanobacteria with tightly coiled trichomes (Spirulina turpin) and the description of Halospirulinatapeticola gen. nov., sp. nov. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 50:1265-1277.

Oberwinkler TM(2011). Metabolic and Genomic Annotations in Halophilic ArchaeaausFürstenfeldbruck. Dissertation zurErlangung des Doktorgra des der FakultätfürChemieundPharmazie der Ludwig-Maximilians-UniversitätMünchen. Pp: 245.

Orcutt D.M.et Nilsen E.T .,2000. salinity stress .In physiology of plants under stress.Soil and biotic Factors Ed wiley and sons ,New York .Pp177_235.

Oren , A. 2012. Taxonomy of the family Halobacteriaceae : a par adigm for changing concepts in prokaryote systematics . Int . J. Syst . Evol . Microbiol . 62 : 263-271 . doi: 10.1099 / ijs.0.038653-0 . PMID : 22155757 .

Oren A (1999) Bioenergetics aspects of halophilism . Microbiol Mol Biol Rev 63 : 334 348 .

Oren A (2002a) Halophilic microorganisms and their environments : Kluwer Academic Publishers , Dordrecht , Netherlands , pp 575 .

Oren A (2002b) Diversity of halophilic microorganisms : environments , phylogeny, physiology , and applications . J Ind MicrobiolBiotechnol 28 : 56 63 .

Oren A. (2002a). Diversity of halophilic microorganisms: environments phylogeny, physiology, and applications. J In dMicrobiolBiotechnol 28: 56-63

Oren A. (2004). A proposal for further integration of the cyanobacteria under the Bacteriological Code. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 54:1895-1902.

Oren A. 2008. Microbial life at high salt concentrations: phylogenetic and metabolic diversity. Saline Systems, 4:2

Papke , R.T. (2015) . Preface to the proceedings of Halophiles 2013. Frontiers in Microbiology , 6 , 1-5 . DOI : 10.3389 fmicb.2015.00341 .

Pitman , M.G. , Läuchli , A. , 2002. Global Impact of Salinity and Agricultural Ecosystems , in : Läuchli , A. , Lüttge , U. (Eds .) , Salinity : Environment Plants Molecules . Springer Netherlands , pp . 3-20 .

PROMASC – Projet Partenarialt Multi-acteurs pour l'Adaptation des Populations Vulnérables à la Salinisation des sols induite par les Changements Climatiques au Sénégal (2012) – Rapport final, 18 mars 2009-31 mars 2012. Dakar, 50 p. (non publié).

Ramos - Cormenzana , A. 1989 Ecological distribution and biotech nological potential of halophilic microorganisms . In Microbiology of Extreme Environments and its Potential for Biotechnology , eds DaCosta , M.S. , Duarte , J.C. & Williams , R.A.D. pp . 289-309 . London : Elsevier .Kushner , D.J. 1985 The Halobacteriaceae . In The Bacteria , Vol . 8 , eds Woese , C.R. & Wolfe , R.S. pp . 171-214 . London : Academic Press .

Reed , R. H. , L. J. Borowitzka , M. A. Mackay , J. A. Chudek , R. Foster , S. R. C. Warr, D. J. Moore , and W. D. P. Stewart . 1986 . Organic solute accumulation in osmotically stressed cyanobacte ria . FEMS Microbiol . Rev. 39 : 51-56 .

Reistad, R. (1972). Cell wall of an extremely halophilic coccus: Investigation of ninhydrine positive compounds. Arch Microbiol 82, 24-30.

Reistad, R. (1974). 2-Amino-2-deoxyglucuronic acid: a constituent of the cell wall of Halococcus sp., strain 24. Carbohyd Res 36, 420-425.

Rengasamy , P. , 2006. World salinization with emphasis on Australia . J. Exp . Bot . 57 , 1017-1023 .

Rengasamy , P. , 2010. Soil processes affecting crop production in salt - affected soils. Funct . Plant Biol . 37 , 613-620 .

Rengasamy P (2006) World salinization with emphasis on Australia . J Exp Bot 57 : 1017-1023 Renouf M Endy S. Grant T Grundy M.

RICHARDS (L. A) . , 1954. DIAGNOSIS AND IMPROVEMENT OF SALINE AND ALKALI SOILS . USDA AGRI . AND BOOK- 60

Richards(L.A).,1954.diagnosis and improvement of saline and Alkali soils.USDAagri.and book-60.

Roebler M &Muller V .,1998. Quantitative and Physiology Analyses of Chloride Dependence of growth of Halobacillushalophilus .

Roeßler M., Müller V. (1998). Quantitative and physiological analyses of chloride dependence of growth of Halobacillushalophilus. Appl Environ Microbiol 64: 3813-3817.

Roeßler M., Müller V. (2002). Chloride, a new environmental signal molecule involved in gene regulation in a moderately halophilic bacterium, Halobacillushalophilus. J Bacteriol 184: 6207-6215.

Roland ,P.1998.Conséquences possibles sur les milieux littoraux de l'élévation du niveau de la mer prévue pour les prochaines décennies .

Rothschild Mancinelli RL : Life in extreme environments . Nature 2001 ; 409 : 1092-1101 . Roy, Negrão, et Tester.,2014 “Salt Resistant Crop Plants.”

Ruellan , A. , Blanchart , É . , Brauman , A. , Grimaldi , M. , Grünberger , O. , Barbiero , L. , Chaplot , V. , Olivier , M. , Bernoux , M. 2008. Les sols , des milieux vivants très fragiles , les dossiers thématiques de l'IRD . 21pages

Schleifer K.H. (2009). Phylum XIII. Firmicutes Gibbons and Murray 1978, 5 (Firmicutes [sic] Gibbons and Murray 1978, 5). In: Whitman WB (ed) Bergey’s manual of systematic bAntunes A., Rayney FA. Wanner G. Taborda M. Pa¨tzold J. Nobre MF. Da Costa M. et Huber R. (2008). A new lineage of halophilic, wall-less, contractile bacteria from a brinefilled deep of the Red Sea. Journal of Bacteriology, 190:3580-3587.acteriology, vol 3, 2nd edn, The Frimicutes. Springer, New York, p 19.

Shiladitya .D., Priya.A , 2001 : Halophiles.

Shiladitya DasSarma. 2006.Extrême Halophiles Are Models for Astrobiology.Shiladitya .D., Priya.A , 2001 : Halophiles.

Shiri et al.,2016 “Moderate Salinity Reduced Phenanthrene-Induced Stress in the Halophyte Plant Model Thellungiella Salsuginea Compared to Its Glycophyte Relative Arabidopsis Thaliana.”

Szabolcs , 1993 et Lahlou et al . , 2002) , touche près de 10 à

Szabolcs I. (1994) . Prospects of soil salinity for the 21st Century . Acapulco Mexique: Trans 15th World Congress of Soil Science , 1994 ; vol.1 : 123-41 .

Tardieu F,2003 . Virtual plants: modeling as a tool for the genomic of tolerance towater 63 deficit, Trends in Plant Sciences, 8: 9 -14.

Turan MA , Elkarim AHA , Taban A. Taban S. 2010. Effect of salt stress on growth and ion distribution and accumulation in shoot and root of maize plant . Afr . J. Agric. Res . , 5 (7) : 584-588 .

Van Zelm, Zhang, et Testerink.,2020 “Salt Tolerance Mechanisms of Plants.”

Vavourakis , C.D. ; Mehrshad ,M. ; Balkema , C . ; van Hall ,R. ; Andrei ,A.-S . ;Ghai , R . ;Sorokin ,D.Y. ; Muyzer ,G) :Metagenomes and metatranscriptomes shed new light on the microbial –mediated sulfur cycle in a Siberian soda lake .BMC Biol . 2019,17,69.[cross Ref].

Ventosa A , Carmen Marquez M , Garabito MJ , Arahal DR : Moderately halophilic gram positive bacterial diversity in hypersaline environments . Extremophiles 1998a ; 2 : 297

Wieland, F. (1988). The cell surfaces of halobacteria. In Halophilic Bacteria, Ed. F. Rodriguez-Valera. pp. 55-65. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Yin , J. ; Chen , J .- C. ; Wu, Q . ; Chen ,G. – Q . Halophiles , coming stars for industrial biotechnology . Biotechnol .Adv . 2015 , 33,1433-1442)[Cross Ref].

Yu et al., 2020“How Plant Hormones Mediate Salt Stress Responses.”

Zahra et al.,2022 “Regulation of Photosynthesis under Salt Stress and Associated Tolerance Mechanisms.”

Zeikus JG et al., 1984. Isolation and description of Haloanaerobiumprevalens gen . nov .and sp.nov., an obligately anaerobic halophile common to Great Salt Lake sediments.CurrMicrobiol 1983 ;9 :225_233.

Zhilina T.N., Zavarzin G.A., Rainey F., Kevrim V.V., Kostrikina N.A., Lysenko A.M. (1996). Spirochaetaalkalica sp. nov., Spirochaetaafricana sp. nov., and Spirochaeta asiatica sp. nov., alkaliphilic anaerobes from the continental soda lakes in Central Asia and the East African Rift. Int J Syst EvolMicrobiol 46: 305–312.

Zhu J .K .,2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. Annu. Rev. Plant Biol. 53: 247–273.

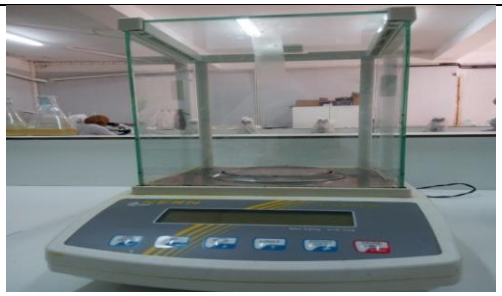
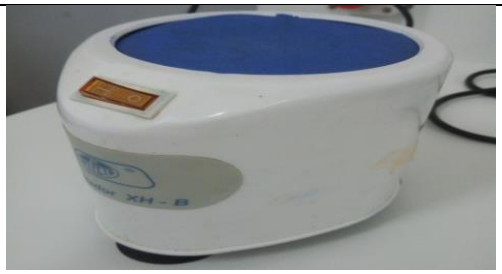
Zhu JK . 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress . Curr . Opin . Plant Biol . , 6 : 441-445 .

Annexe

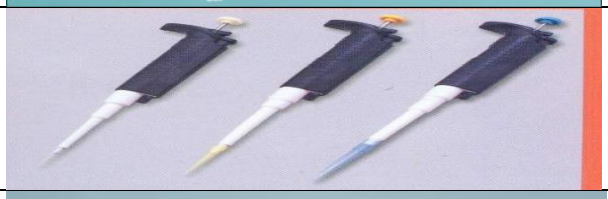
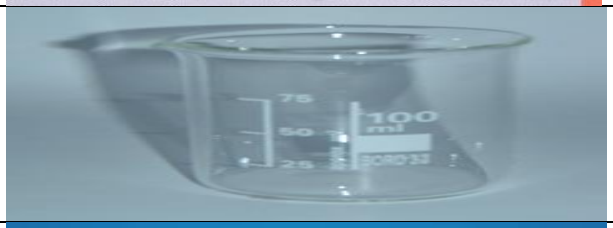
Annexe I :

1-Liste du matériel utilisé durant les étapes du traitement:

Instruments	Utilisation	Type d'appareillage
1- Bec bensène	Pour assurer une stérilisation instantanée.	
2- Bain marie	pour la transfusion des milieux de culture	
3-Autoclave	stérilisation á la vapeur	
4-Réfrigérateur	conservation des souches et des réactifs	

5-Microscope optique	Observation des micro-organismes	
6-Balance de précision	Pèse les produit et les composantes des milieux	
7-Agitateur magnétique de type vortex	Agitation et homogénéisation des solutions	
8-Incubateur	Incubation des cultures de micro-organismes	
9-Centrifugeuse	Séparation des fractions des solutions	

2-Verrerie :

1-Pipettes Pasteur et en plastique	-pour l'inoculation et l'ensemencement -coloration de Gram	
2-Micropipette	pour une prise très précise	
3-Becher á différents volumes	Contenir les solutions, les suspensions	
4-Verre á pied (200cc, 60cc)	Utilisation pendant la filtration	
5-Lames et lamelles	Faciliter l'observation microscopique	
6-Tubes à essai	Préparation des dillutions des suspensions bactériennes	
7-Boites de Pétri	Mise en culture dans des milieux nutritifs	

8-Anse de platine	Ensemencement des colonie bactériennes	
9-Portoirs	Porte les tubes à essai	
10-Poires	Aspirer les solutions	

Annexe II

Table statistique de t

La table donne la probabilité **P** pour que **t** égale ou dépasse, en valeur absolue, une valeur donnée, en fonction du nombre de degrés de liberté (**d.d.l**.).

P / ddl	0.90	0.50	0.30	0.20	0.10	***0.05*** ↓	0.02	0.01	0.001
1	0.158	1.000	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	0.142	0.816	1.386	1.886	2.920	**4.303**	6.965	9.925	31.598
3	0.137	0.765	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924
4	0.134	0.741	1.190	1.533	2.132	**2.776**	3.747	4.604	8.610
5	0.132	0.727	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869
6	0.131	0.718	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.130	0.711	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.408
8	0.130	0.706	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.129	0.703	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	0.129	0.700	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	0.129	0.697	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.128	0.695	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318

13	0.128	0.694	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	0.128	0.692	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	0.128	0.691	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.128	0.690	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	0.128	0.689	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	0.127	0.688	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	0.127	0.688	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	0.127	0.687	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	0.127	0.686	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.836	3.819
22	0.127	0.686	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	0.127	0.685	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	0.127	0.685	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	0.127	0.684	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	0.127	0.684	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	0.127	0.684	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	0.127	0.683	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	0.127	0.683	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	0.127	0.683	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
∞	0.126	0.674	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291