

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب

Université -Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib Faculté des Sciences et de
Technologie Département Sciences de la Nature et de la Vie



Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master en : Production végétale

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Production végétale

Par:

Mlle Semmar Ibtissem

Mlle Mehimda Wafaa

Thème

“Contribution à l’étude de l’inventaire de la flore halophyte spontanée
autour de la sebkha de Mouilha, région de Msaïd, Ain Témouchent”.

Soutenu le 30 Septembre 2026

Devant le jury composé de :

Président : : Mr Amara Mohamed « Professeur »

U.B.B.A.T

Examineur : Mr Merabtene Mohamed Djamel Eddine « MCB »

U.B.B.A.T

Encadrante : Mme Aïssat Amal

« MCB »

U.B.B.A.T

Année Universitaire 2025/2026

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

(وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِنَ طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِّنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ^{٣٧} انظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ^{٣٨} إِنَّ فِي ذَٰلِكُمْ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ)

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail avec respect, reconnaissance et affection.

À nos chers parents, pour leur amour, leur soutien et toutes les sacrifices consentis durant toute cette vie.

À nos chers frères et sœurs, pour leur affection, leurs encouragements et leur présence précieuse à nos côtés.

À nos amies, qui ont partagé avec nous les moments de joie, de stress et d'espoir tout au long de ce parcours.

Enfin, à toute personne qui nous a soutenue, encouragée et accompagnée, de près ou de loin, tout au long de ce parcours et dans la réalisation de ce mémoire, et qui partagent nos réussites avec bienveillance, nous exprimons notre profonde gratitude et notre sincère reconnaissance.

Mlle Semmer Ibtissem

Mlle Mehimda Wafaa

Remerciements

Nous remercions avant tout **ALLAH**, Dieu le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la santé, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrante, **Dr AISSAT Amal**, pour ses conseils, ses critiques constructives, ainsi que pour ses qualités humaines et scientifiques qui m'ont amplement aidée à réaliser ce travail.

Nous remercions sincèrement les membres du jury, **Pr Amara Mohamed** en tant que président du jury et **Dr .Merabtene Mohamed** en tant qu'examineur, pour avoir accepté d'évaluer ce travail, ainsi que pour la pertinence de leurs remarques et suggestions.

Nous adressons aussi nos remerciements à toute **l'équipe du laboratoire** pour leur aide et leurs encouragements.

Un grand merci est également adressé à **la Conservation des Forêts d'Aïn Témouchent** pour la collaboration et l'assistance durant ce projet.

Enfin, nous remercions tous nos enseignants qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours académique.

Resumé

La salinisation des sols constitue une contrainte abiotique majeure dans les régions arides et semi-arides et menace le fonctionnement des écosystèmes et la durabilité des systèmes agricoles. Dans ces conditions, les halophytes, capables de se développer sur des sols fortement salés, présentent des adaptations leur permettant de supporter ce stress et jouent un rôle important dans la stabilisation des sols, la lutte contre l'érosion et le maintien de la biodiversité. En Algérie, notamment dans l'Ouest du pays, les écosystèmes halomorphes restent cependant encore peu étudiés sur le plan floristique.

La présente étude vise à caractériser la flore halophile spontanée et certaines propriétés édaphiques de la zone humide d'El Mouilha (Sebkha de M'Sâada), située dans la commune d'El Malah, wilaya d'Aïn Témouchent. Le site présente un climat semi-aride à hiver chaud, avec une température moyenne annuelle de 18,3 °C et une pluviométrie de 375 mm. L'inventaire floristique a été réalisé selon un échantillonnage stratifié suivant trois niveaux du gradient végétal : N1, proche du plan d'eau ; N2, au cœur du groupement végétal ; et N3, à sa limite externe. Cinq relevés de 5 m × 5 m ont été effectués dans chaque niveau, soit 15 relevés au total. Des échantillons de sol ont également été analysés pour déterminer le pH, la conductivité électrique, la teneur en eau, la matière organique et la granulométrie.

Les résultats mettent en évidence des sols alcalins à très alcalins, avec un pH compris entre 8,99 et 10,32, ainsi qu'un gradient de salinité marqué. Le sol N1 présente la conductivité électrique la plus élevée (2,682 dS/m) et une texture limono-sableuse, tandis que N2 et N3 sont moins salés et présentent des textures plus fines. La teneur en matière organique atteint 11,80 % dans N2. L'inventaire floristique a permis de recenser 51 espèces appartenant à 19 familles, dominées par les *Asteraceae* (14 espèces), suivies des *Poaceae* et des *Amaranthaceae* (7 espèces chacune). Dix espèces ont été considérées comme halophytes, dont *Salicornia europaea*, *Suaeda vera* et *Tamarix gallica*. Le spectre biologique est largement dominé par les thérophytes (66,67 %), traduisant notamment l'influence des conditions sèches et de la saisonnalité du milieu. *Tamarix gallica* présente la fréquence la plus élevée, avec une présence dans 13 des 15 relevés, tandis que *Suaeda vera* et *Salicornia europaea* montrent les valeurs d'abondance-dominance les plus élevées dans les secteurs les plus salins.

Dans l'ensemble, les résultats mettent en évidence une organisation de la végétation associée aux variations de salinité, d'humidité et de texture des sols autour de la sebkha. Ils soulignent l'intérêt écologique de la zone humide d'El Mouilha et la nécessité d'assurer son suivi afin de mieux comprendre l'évolution de sa flore et de ses caractéristiques édaphiques.

Mots-clés : Halophytes ; Sebkha d'El Mouilha ; Salinité du sol ; Flore halophile ; Aïn Témouchent ; Gradient édaphique.

Abstract

Soil salinization is a major abiotic constraint in arid and semi-arid regions and threatens ecosystem functioning and the sustainability of agricultural systems. Under these conditions, halophytes, which are able to grow on highly saline soils, develop adaptations that enable them to tolerate this stress and play an important role in soil stabilization, erosion control, and biodiversity conservation. In Algeria, particularly in the western part of the country, halomorphic ecosystems remain relatively understudied from a floristic perspective.

The present study aims to characterize the spontaneous halophytic flora and selected edaphic properties of the El Mouilha wetland (M'Sâada Sebkha), located in the commune of El Malah, Aïn Témouchent Province. The site has a semi-arid climate with warm winters, with a mean annual temperature of 18.3 °C and annual precipitation of 375 mm. The floristic inventory was conducted using stratified sampling along three levels of the vegetation gradient: N1, close to the water body; N2, in the core of the plant community; and N3, at its outer limit. Five 5 m × 5 m plots were sampled at each level, giving a total of 15 plots. Soil samples were also analyzed to determine pH, electrical conductivity, water content, organic matter, and particle-size distribution.

The results revealed alkaline to highly alkaline soils, with pH values ranging from 8.99 to 10.32, as well as a marked salinity gradient. Soil N1 showed the highest electrical conductivity (2.682 dS/m) and a loamy-sandy texture, whereas N2 and N3 were less saline and had finer textures. Organic matter content reached 11.80% in N2. The floristic inventory recorded 51 species belonging to 19 families, dominated by *Asteraceae* (14 species), followed by *Poaceae* and *Amaranthaceae* (7 species each). Ten species were considered halophytes, including *Salicornia europaea*, *Suaeda vera*, and *Tamarix gallica*. The biological spectrum was largely dominated by therophytes (66.67%), reflecting in particular the influence of dry conditions and seasonal variations in the environment. *Tamarix gallica* showed the highest frequency, occurring in 13 of the 15 plots, while *Suaeda vera* and *Salicornia europaea* exhibited the highest abundance-dominance values in the most saline areas.

Overall, the results highlight a vegetation pattern associated with variations in soil salinity, moisture, and texture around the sebkha. They also emphasize the ecological importance of the El Mouilha wetland and the need for continued monitoring to better understand changes in its flora and edaphic characteristics.

Keywords: Halophytes; El Mouilha Sebkha; Soil salinity; Halophytic flora; Aïn Témouchent; Edaphic gradient.

الملخص

تُعَدّ ملوحة التربة من أهم القيود اللاأحيائية في المناطق الجافة وشبه الجافة، كما تهدد وظائف النظم البيئية واستدامة الأنظمة الزراعية. وفي هذه الظروف، تتميز النباتات الملحية بقدرتها على النمو في الترب شديدة الملوحة، حيث تطور تكيفات تمكّنها من تحمل هذا الإجهاد، كما تؤدي دورًا مهمًا في تثبيت التربة، والحد من التعرية، والحفاظ على التنوع البيولوجي. وفي الجزائر، ولا سيما في غرب البلاد، لا تزال النظم البيئية الملحية غير مدروسة بشكل كافٍ من الناحية الفلورية.

تهدف هذه الدراسة إلى توصيف النباتات الملحية التلقائية وبعض الخصائص الترابية للمنطقة الرطبة المويحة (سبخة مساعدة)، الواقعة ببلدية المالح، ولاية عين تموشنت. يتميز الموقع بمناخ شبه جاف ذي شتاء دافئ، بمتوسط درجة حرارة سنوي يبلغ 18.3 °م وتساقيات سنوية تقدر بـ375 مم. أُجري الجرد الفلوري باستخدام أخذ عينات طبقي وفق ثلاثة مستويات من التدرج النباتي N1:، بالقرب من المسطح المائي؛ N2، في قلب التجمع النباتي؛ و N3، عند حدّه الخارجي. أُنجزت خمسة مربعات مساحتها 5 م × 5 م في كل مستوى، أي ما مجموعه 15 مربعًا. كما تم تحليل عينات التربة لتحديد درجة الحموضة (pH)، والتوصيلية الكهربائية، والمحتوى المائي، والمادة العضوية، والتوزيع الحبيبي.

pH أظهرت النتائج أن الترب القاعدية إلى شديدة القاعدية، حيث تراوحت قيم بين 8.99 و10.32، مع وجود تدرج واضح في الملوحة. سجلت التربة N1 أعلى قيمة للتوصيلية الكهربائية (2.682 dS/m) وقوامًا طميًا رمليًا، في حين كانت التريتان N2 و N3 أقل ملوحة وأكثر نعومة من حيث القوام. وبلغ محتوى المادة العضوية 11.80% في N2. مكّن الجرد الفلوري من تسجيل 51 نوعًا نباتيًا تنتمي إلى 19 فصيلة، تهيمن عليها الفصيلة النجمية (*Asteraceae*) بـ14 نوعًا، تليها الفصيلتان النجيلية (*Poaceae*) والأمارانثية (*Amaranthaceae*) بـ7 أنواع لكل منهما. واعتُبرت عشرة أنواع نباتية من النباتات الملحية، من بينها *Salicornia europaea* و *Suaeda vera* و *Tamarix gallica*. وقد هيمنت النباتات الحولية (Therophytes) على الطيف البيولوجي بنسبة 66.67%، مما يعكس خصوصًا تأثير الظروف الجافة والتغيرات الموسمية في الوسط. وسجل النوع *Tamarix gallica* أعلى تردد، حيث وُجد في 13 من أصل 15 مربعًا، بينما أظهرت *Suaeda vera* و *Salicornia europaea* أعلى قيم الوفرة-السيادة في المناطق الأكثر ملوحة.

وبصفة عامة، تُبرز النتائج وجود تنظيم للغطاء النباتي يرتبط بالتغيرات في ملوحة التربة ورطوبتها وقوامها حول السبخة. كما تؤكد الأهمية البيئية للمنطقة الرطبة المويحة وضرورة متابعتها لفهم تطور نباتاتها وخصائصها الإديفية بشكل أفضل.

المفتاحية الكلمات: النباتات الملحية، سبخة المويحة، ملوحة التربة، الفلورا الملحية، عين تموشنت، التدرج الترابي .

Liste des figures

Figure 01 : Carte mondiale de distribution des halophytes (d'après Monika Shukla, 2023).

Figure 02 : Schéma comparatif des trois stratégies de résistance à la salinité (exclusion, sécrétion, accumulation).

Figure 03 : Situation géographique et limites du site d'étude

Figure 04 : Diagramme ombrothermique de Gaussen.

Figure 05 : Carte de localisation des relevés floristiques au sein du groupement végétal de la zone humide de Mouilha (Aïn Témouchent).

Figure 06 : Exemple de dispositif de terrain (cliché personnel).

Figure 07 : Appareil de mesure du pH.

Figure 08 : Échantillons de sol la conductivité électrique du sol.

Figure 09 : Opération de tamisage sec.

Figure 10 : Opération de tamisage humide.

Figure 11 : Position des échantillons de sol (N1, N2, N3) sur le triangle de texture (classification USDA).

Figure 12 : Répartition des espèces inventoriées par familles.

Liste des tableaux

Tableau 01 : Principales espèces halophytes, répartition et intérêt (monde et Algérie).

Tableau 02 : Données climatiques mensuelles de la zone d'étude (station de Béni Saf, ONM Algérie).

Tableau 03 : Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés.

Tableau 04 : Résultats des analyses granulométriques des sols étudiés (%).

Tableau 05 : Liste des espèces inventoriées réparties par famille, type biologique et type morphologique.

Tableau 06 : Présence (%) et fréquence relative (%) des espèces inventoriées.

Tableau 07 : Présence (%) et fréquence relative (%) des espèces rares.

Tableau 08 : Richesse spécifique et coefficients d'abondance-dominance des espèces inventoriées.

Liste des abréviations

CE : conductivité électrique

ESP : taux de sodium échangeable

CEC : capacité d'échange cationique

MB : valeur de bleu de méthylène (g de colorant/kg de fraction 0/2 mm)

Mm : millimètre

M : mètre

Km : kilomètre

MO: Matière Organique

Sommaire

Remerciements	4
Résumé	5
Liste des figures	8
Liste des tableaux	10
Liste des abréviations	11
Chapitre I : Généralités sur les plantes halophytes	18
Introduction	18
I.1. Définition et concept des plantes halophytes	19
I.2. Types des halophytes	19
I.2.1. Halophytes obligatoires (vraies halophytes)	19
I.2.2. Halophytes facultatives	20
I.3. Notion de salinité et stress salin	20
I.3.1. Définition de la salinité du sol	20
I.3.2. Stress salin chez les plantes	21
I.4. Adaptations des plantes halophytes au stress salin	22
I.4.1. Adaptations morphologiques et anatomiques	22
I.4.2. Adaptations physiologiques	23
I.5. Principales espèces halophytes dans le monde et en Algérie.....	24
I.6. Importance écologique et environnementale des halophytes.....	25
Conclusion du chapitre I	26
Chapitre II : Étude du site	33
II.1. Localisation administrative et géographique	33
II.2. Intérêt du site	34
II.3. Géologie et géomorphologie	34
II.4. Types de sols	35
II.5. Hydrologie et fonctionnement de la sebkha	36
II.6. Climatologie	37
II.6.1. Données climatiques	37

II.6.2. Diagramme ombrothermique de Gaussen	38
II.6.3. Indice d'aridité de De Martonne	39
II.6.4. Quotient pluviométrique d'Emberger et étage bioclimatique.....	39
Chapitre III : Matériels et Méthodes	41
III.1. Choix des stations d'échantillonnage	41
III.2. Matériel et équipement de terrain	42
III.3. Réalisation des relevés floristiques	43
III.6. Exploitation des relevés	44
III.6.1. Nombre et identification des espèces	44
III.6.2. Répartition des espèces par famille	44
III.6.3. Type biologique	45
III.6.4. Fréquence d'apparition des espèces	45
III.6.5. Abondance-dominance	46
III.7. Analyse de sol	46
III.7.1. Prélèvement	46
III.7.2. pH et conductivité électrique	47
III.7.3. Analyse granulométrique	48
III.7.4. Teneur en matière organique	49
III.7.5. Traitement des données	49
Chapitre IV : Résultats et discussion	51
IV.1. Analyses des sols	51
IV.1.1. Analyses physico-chimiques	51
IV.1.2. Analyse granulométrique	53
IV.1.3. Position des échantillons sur le triangle de texture.....	54
IV.2. Analyse et identification de la flore totale	55
IV.2.1. Composition et diversité floristique	55
IV.2.2. Spectre biologique et morphologique	56
IV.2.3. Présence (%) et Fréquence relative (%) des espèces inventoriées.....	58
IV.2.4. Richesse spécifique et abondance-dominance des espèces	60

Conclusion générale	63
Références bibliographiques	65

Introduction générale

L'Algérie se caractérise par une importante diversité écologique, liée à la variété de ses conditions climatiques et de ses reliefs. Son territoire comprend différents étages bioclimatiques, des régions humides aux zones sahariennes, ainsi que trois grands ensembles naturels : le système tellien, les hautes plaines steppiques et le Sahara (Pache, 2016-2018). Cette diversité contribue à la richesse de la flore et de la faune algériennes.

Cette richesse concerne également les milieux marins, côtiers et les zones humides, qui regroupent des écosystèmes variés tels que les chotts, les sebkhas, les lagunes et les marais. Ces milieux jouent un rôle important dans la conservation de la biodiversité et le maintien des équilibres écologiques, hydriques et socio-économiques. Cependant, ils sont soumis à diverses pressions, notamment l'urbanisation, l'assèchement, le pompage et la dégradation du couvert végétal (Chalabi, 2021 ; Journée mondiale des zones humides, 2016).

Parmi ces zones humides, les sebkhas constituent des milieux caractéristiques des régions arides et semi-arides. Il s'agit de dépressions naturelles temporairement occupées par des eaux salées, où l'évaporation favorise une forte concentration de sels en surface. Ces conditions écologiques limitent le développement de nombreuses espèces et favorisent l'installation d'une flore spécialisée, notamment les plantes halophytes (Chamekh et al., 2019).

La salinité des sols résulte de l'accumulation de sels solubles, d'origine naturelle ou liée à certaines activités humaines telles qu'une irrigation inadéquate et un drainage insuffisant (Hasanuzzaman, 2020). Dans les régions arides et semi-arides, les faibles précipitations et la forte évapotranspiration accentuent ce phénomène (Omami, 2005). La salinité constitue ainsi une contrainte majeure pour les végétaux, en réduisant la disponibilité de l'eau et en provoquant notamment un stress osmotique et une toxicité ionique, pouvant perturber l'absorption minérale, la croissance et la photosynthèse (Omami, 2005 ; Najmaldin, 2024).

Face à ces contraintes, certaines espèces végétales ont développé des mécanismes leur permettant de survivre et de se développer dans des milieux salés. Ces plantes, appelées halophytes, présentent une grande diversité écologique, morphologique, physiologique et taxonomique (Lombardi et al., 2020). La majorité appartient aux angiospermes, tandis que le genre de fougères *Acrostichum* constitue une exception notable. Leur diversification s'est

opérée sur de longues périodes, en réponse aux changements du climat, de la géographie et des conditions environnementales (Cheeseman, 2015).

Dans ce contexte, l'inventaire floristique constitue un outil essentiel pour caractériser la composition et la diversité végétales d'un milieu donné. Il permet de recenser les espèces présentes, d'étudier leur répartition et de fournir des données utiles au suivi et à la conservation de la biodiversité. La réalisation de tels inventaires nécessite généralement un échantillonnage adapté aux objectifs de l'étude et aux caractéristiques du milieu (Gherbi-Salmi).

Plusieurs travaux ont porté sur les sebkhas et les milieux salés en Algérie et au Maghreb. Dans l'Ouest algérien, la grande sebkha d'Oran a fait l'objet d'études hydrogéologiques, sédimentologiques, pédologiques et floristiques (Boualla et al., 2018 ; Hachemi et al., 2020). D'autres travaux ont étudié les formes géomorphologiques et les phénomènes de salinisation associés aux sebkhas dans le Nord-Est algérien (Bousba et al., 2024).

Ces travaux soulignent l'intérêt écologique des sebkhas et l'importance des études consacrées à leur flore et à leurs caractéristiques environnementales. Toutefois, les sebkhas de la wilaya d'Aïn Témouchent restent peu documentées et, à notre connaissance, aucune étude floristique et édaphique systématique n'a été consacrée à la sebkha de Msaâid. Il apparaît donc nécessaire de caractériser la flore halophyte présente autour de cette sebkha et d'examiner son lien avec certaines caractéristiques du sol.

La présente étude porte sur la caractérisation de la composition et de la diversité de la flore halophyte spontanée présente autour de la sebkha de Msaâid à Aïn Témouchent, ainsi que sur l'étude de l'influence de certaines caractéristiques physico-chimiques du sol sur sa répartition.

Les objectifs de cet inventaire floristique sont les suivants :

- Réaliser l'inventaire floristique des espèces halophytes spontanées autour de la sebkha ;
- Identifier les espèces végétales et préciser leur position taxonomique ;
- Analyser leur répartition selon les familles botaniques ;
- Déterminer les types biologiques, la fréquence d'apparition et l'abondance-dominance ;
- Caractériser certaines propriétés physico-chimiques du sol de la zone d'étude

Chapitre I :

Généralités sur les plantes halophytes

La salinisation des sols représente une contrainte abiotique majeure qui réduit la productivité des écosystèmes terrestres, notamment dans les zones arides et semi-arides (Grünberger, 2015). Ce phénomène, d'origine naturelle (salinisation primaire) ou anthropique (salinisation secondaire), se traduit par une accumulation excessive de sels solubles dans le sol, altérant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques (Corwin, 2021). Observée dans de nombreuses régions du monde sous des conditions climatiques et topographiques variées, la salinisation constitue aujourd'hui l'un des principaux défis de l'agriculture moderne, menaçant à la fois la sécurité alimentaire et la durabilité des systèmes agricoles (Shrivastava, 2015 ; Bouabdallah, 1992).

Face à cette contrainte, certaines plantes, nommées les halophytes, ont développé des stratégies morphologiques, physiologiques et anatomiques leur permettant de croître dans des milieux fortement salés. Ce chapitre présente des notions générales relatives aux halophytes : leur définition et les concepts associés, leurs types, les notions de salinité et de stress salin qui conditionnent leur écologie, leurs principales adaptations au stress salin, ainsi que l'importance écologique et environnementale qu'elles représentent.

I.1. Définition et concept des plantes halophytes

Les halophytes sont des plantes naturellement adaptées aux milieux salés. Elles sont capables de croître, de se développer et d'accomplir l'ensemble de leur cycle de vie dans des sols ou des eaux présentant des concentrations élevées en sels dissous, principalement du chlorure de sodium (NaCl). Contrairement aux plantes sensibles à la salinité, appelées glycophytes, les halophytes possèdent des mécanismes morphologiques, physiologiques et biochimiques qui leur permettent de tolérer, d'exclure ou d'accumuler les sels sans subir de dommages majeurs. Elles colonisent principalement les marais salants, les sebkhas, les estuaires, les mangroves et d'autres écosystèmes soumis à une forte salinité (Daniel Dîté, 2023).

Sur le plan quantitatif, les halophytes sont généralement définies comme des plantes capables de survivre et de se reproduire dans des milieux dont la concentration dépasse 200 mM de NaCl. Elles représentent moins de 2 % de la flore mondiale et se rencontrent principalement dans les régions arides, semi-arides et les zones côtières salées. On estime qu'il existe entre 2 000 et 3 000 espèces d'halophytes dans le monde, majoritairement des angiospermes ; les halophytes dicotylédones présentent en général une tolérance au sel plus élevée que les monocotylédones (Shukla et al., 2023).

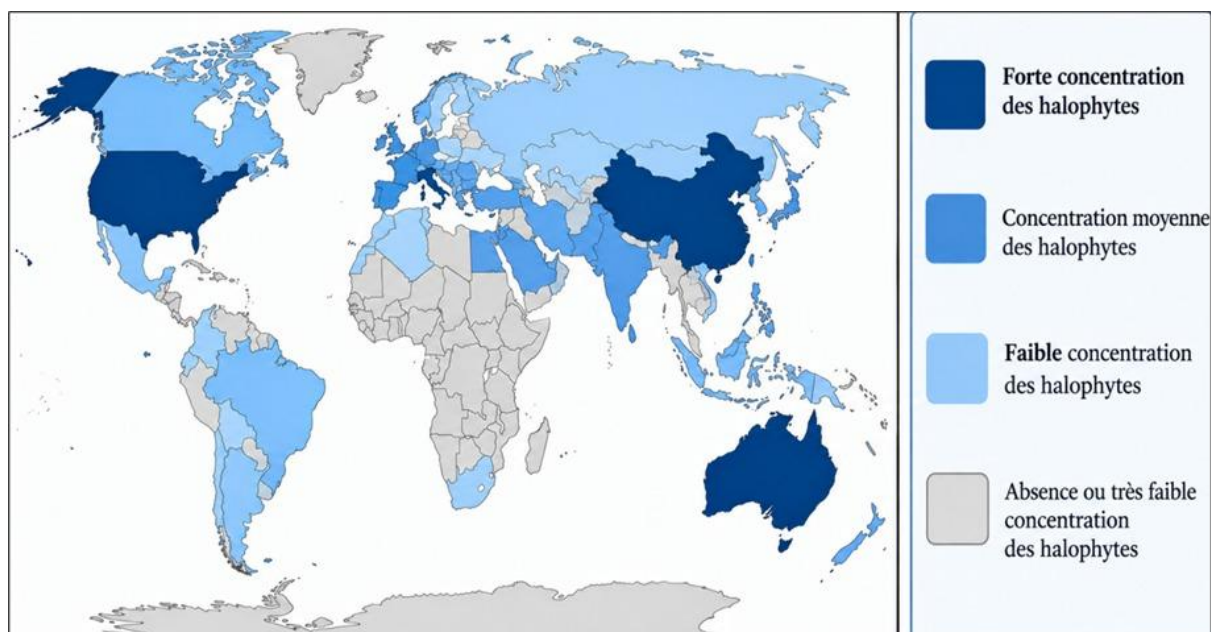


Figure 01: Carte mondiale de distribution des halophytes (d'après Monika Shukla, 2023).

I.2. Types des halophytes

Selon leur comportement écophysologique vis-à-vis de la salinité, les halophytes peuvent notamment être distinguées en halophytes obligatoires et halophytes facultatives. Cette distinction repose sur leur degré de dépendance au sel et sur leurs performances de croissance en conditions salines ou non salines (Aslam et al., 2011).

I.2.1. Halophytes obligatoires (vraies halophytes)

Ces halophytes nécessitent une certaine quantité de sel pour leur croissance ; on les qualifie aussi d'halophytes strictes. Elles prospèrent lorsque le milieu contient de 0,5 à 1 % de chlorure de sodium et présentent une nette optimisation de leur croissance lorsque la concentration en sel du milieu de culture augmente. Les membres de la famille des Chénopodiacées appartiennent notamment à cette catégorie.

I.2.2. Halophytes facultatives

Elles peuvent croître en conditions de stress salin, mais également en l'absence de sel ou dans un environnement faiblement salé. Les Graminées, les Cypéracées, les Joncacées, ainsi qu'un grand nombre de dicotylédones, appartiennent à cette catégorie.

I.3. Notion de salinité et stress salin

I.3.1. Définition de la salinité du sol

La salinisation des sols constitue un obstacle majeur, notamment dans les régions arides et semi-arides. Ce phénomène peut résulter de facteurs naturels ou être exacerbé par des pratiques d'irrigation inappropriées. L'accumulation excessive de sel dans le sol détériore ses propriétés physico-chimiques, affecte sa fertilité et entraîne une baisse des rendements agricoles (Shrivastava & Kumar, 2015).

La salinité du sol correspond à la présence et à l'accumulation de sels solubles dans la solution du sol, à des concentrations susceptibles d'affecter ses propriétés physico-chimiques et le développement des plantes. Elle résulte de processus hydro-géochimiques tels que les transferts d'eau et de solutés, les échanges cationiques et la dissolution-précipitation des minéraux (Condom, 2000). Selon AfricaRice, la salinisation correspond à l'augmentation excessive de la concentration des sels solubles dans le sol ou dans l'eau ; les sels sont des composés chimiques constitués d'ions chargés positivement et négativement, que l'on trouve sous forme solide ou dissoute.

I.3.2. Stress salin chez les plantes

La salinité exerce sur les végétaux une action multiple. On distingue généralement trois grandes phases de stress salin.

a) Stress osmotique (phase rapide)

La salinité provoque un stress osmotique qui perturbe l'équilibre hydrique des plantes. Pour s'y adapter, celles-ci mettent en œuvre deux mécanismes : une réponse rapide, consistant à réduire l'absorption d'eau par l'inhibition des aquaporines racinaires, puis une réponse plus durable, basée sur l'accumulation de solutés compatibles (proline, saccharose, glycine bêtaïne) permettant de rétablir l'équilibre osmotique cellulaire (Luu et al., 2022).

b) Stress ionique (phase lente)

Ce stress est lié à la toxicité des ions tels que le sodium et le chlore, et se manifeste selon deux aspects :

- Toxicité directe : l'accumulation excessive de Na^+ et de Cl^- dans les cellules provoque un déséquilibre ionique, une inhibition enzymatique et des dommages métaboliques entraînant une baisse de croissance.
- Carence nutritionnelle : la compétition des ions Na^+ avec les nutriments essentiels (K^+ , Ca^{2+} ...) réduit leur absorption et provoque des déséquilibres nutritionnels et physiologiques chez la plante (Flowers & Colmer, 2008).

c) Stress oxydatif

La salinité du sol provoque également un stress chez les plantes en augmentant la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO), normalement contrôlées par les systèmes antioxydants, ce qui perturbe l'équilibre pro-oxydants/antioxydants et conduit à un stress oxydatif.

Si la salinité est modérée, les plantes activent leurs systèmes antioxydants pour neutraliser une partie des ERO ; l'équilibre redox, bien que perturbé, est rapidement rétabli et les dommages cellulaires restent limités et réversibles. En revanche, si la salinité est forte ou prolongée, la production d'ERO devient excessive et continue, les systèmes antioxydants deviennent insuffisants pour les neutraliser, et le stress oxydatif s'installe durablement. Il en résulte des lésions importantes au niveau des membranes cellulaires, ainsi que des dommages aux protéines et à l'ADN, perturbant le fonctionnement cellulaire (Migdal & Serres, 2011).

I.4. Adaptations des plantes halophytes au stress salin

Pour faire face aux contraintes liées à la salinité, les halophytes mettent en œuvre différents mécanismes d'adaptation qui leur permettent de maintenir leur croissance et leur fonctionnement dans des environnements salins. Ces adaptations peuvent être regroupées principalement en adaptations morphologiques et physiologiques (Flowers & Colmer, 2008).

I.4.1. Adaptations morphologiques et anatomiques

Les halophytes présentent généralement des feuilles et des tiges charnues favorisant le stockage de l'eau. Elles peuvent également présenter une surface foliaire réduite et un système racinaire développé, ce qui améliore leur adaptation aux conditions salines (G. M. Samaha, 2024).

Sur le plan anatomique, les halophytes possèdent diverses adaptations qui leur permettent de limiter les effets toxiques de la salinité au niveau des feuilles, des tiges et des racines. Elles se traduisent notamment par une réduction de la densité stomatique et une augmentation de l'épaisseur des feuilles, contribuant à limiter les pertes d'eau. Certaines espèces sont également capables d'éliminer l'excès de sels grâce à des glandes salines ou à des trichomes sécréteurs spécialisés. Au niveau des tiges, des tissus de stockage de l'eau peuvent se développer dans le cortex et la moelle, tandis qu'une cuticule cireuse épaisse et des cellules parenchymateuses modifiées favorisent la conservation de l'eau dans les tissus végétaux (Mohammed Hassan, 2020).

I.4.2. Adaptations physiologiques

Les halophytes possèdent plusieurs caractéristiques physiologiques leur permettant de survivre et de se développer dans des milieux fortement salés (Binet, 1978) :

- **Régulation ionique (homéostasie ionique)** : les halophytes contrôlent l'absorption et l'accumulation des ions sodium et chlorure afin d'éviter leur toxicité. Certaines espèces excrètent le sel, tandis que d'autres le stockent dans leurs tissus ou le libèrent par des glandes sécrétrices.

- **Compartimentation vacuolaire des sels** : les ions salins sont principalement accumulés dans les vacuoles, ce qui protège le cytoplasme et les enzymes des effets toxiques du sel.

- **Adaptation osmotique** : les plantes halophiles maintiennent leur pression de turgescence en accumulant des ions compatibles et des composés organiques tels que la proline, la bétaine, certains glucides et des acides organiques.

- **Succulence** : l'augmentation de la teneur en eau des tissus contribue à diluer les sels accumulés et à réduire leurs effets toxiques.

- **Sélectivité minérale élevée** : la plante absorbe préférentiellement les éléments essentiels tels que le potassium (K^+) et le calcium (Ca^{2+}), malgré les fortes concentrations de sodium (Na^+) dans l'environnement.

- **Gestion efficace de l'eau** : grâce à un faible potentiel hydrique, les halophytes peuvent absorber l'eau dans des milieux très salés et maintenir leur équilibre hydrique.

- **Adaptations photosynthétiques** : certaines plantes halophytes possèdent une photosynthèse en C4 ou de type CAM. Ces mécanismes améliorent l'efficacité de l'utilisation de l'eau en réduisant les pertes par transpiration, ce qui accroît leur tolérance à la salinité et à la sécheresse.

Au-delà de ces caractéristiques, les halophytes mettent en œuvre trois grandes stratégies complémentaires de résistance à la salinité :

- **Exclusion du sel** : ce mécanisme adaptatif permet aux halophytes de limiter l'accumulation des ions Na^+ et Cl^- dans les tissus photosynthétiques. Il repose sur une absorption sélective au niveau des racines et, chez certaines espèces, sur l'excrétion active des sels par des glandes spécialisées, contribuant ainsi au maintien de l'homéostasie ionique et à la tolérance à la salinité (Zouaoui Ahmed, 2019).

- **Sécrétion du sel** : des groupes de cellules spécialisées, présents dans les feuilles de certaines plantes halophytes (comme les mangroves), près des nervures, permettent à la plante d'éliminer l'excès de sel absorbé en l'expulsant vers l'extérieur (Nathalie Chen, 2017).

- **Accumulation du sel** : ce mécanisme est lié au stockage des ions sodium (Na^+) dans les vacuoles cellulaires, via l'action du transporteur NHX1. Cette distribution vacuolaire empêche l'accumulation de sodium toxique dans le cytoplasme et contribue à l'adaptation des plantes aux conditions de forte salinité (Trung, 2020).

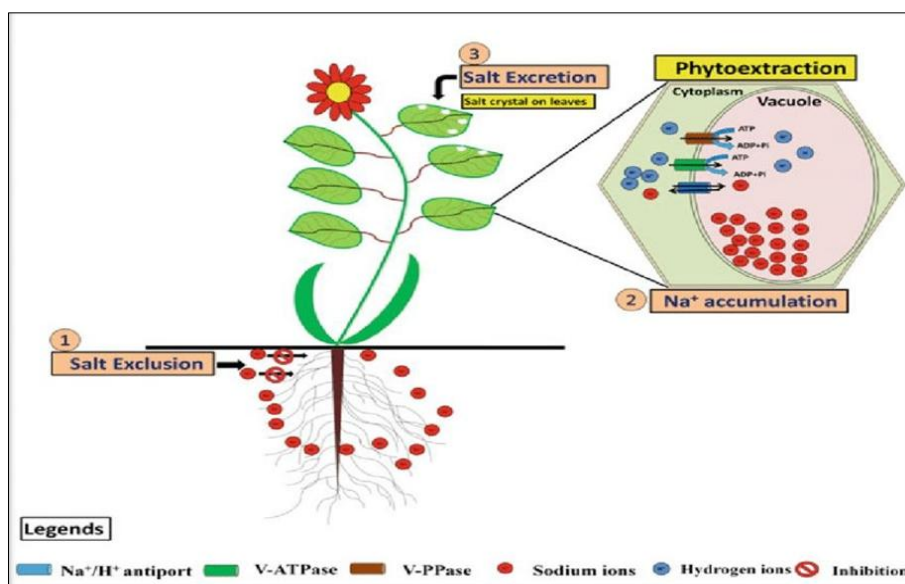


Figure 02 : Schéma comparatif des trois stratégies de résistance à la salinité (exclusion, sécrétion, accumulation).

I.5. Principales espèces halophytes dans le monde et en Algérie

À l'échelle mondiale, quelques genres reviennent de façon récurrente dans la description des communautés halophiles : *Salicornia* et *Sarcocornia*, plantes crassulescentes des marais salants et des lagunes côtières, jouent un rôle reconnu dans la stabilisation des sols et la restauration des écosystèmes littoraux (Guitton, 2023 ; Guilló, 2014) ; *Suaeda* spp. et *Atriplex halimus*, largement répandus sur le pourtour méditerranéen, se distinguent par leur capacité à compartimenter le sodium et le chlore dans leurs tissus (Fried, 2015 ; Gunkel-Grillon, 2021) ; *Spartina alterniflora* colonise activement les schorres et les slikkes des zones estuariennes, parfois au point de devenir invasive hors de son aire d'origine (Sparfel, 2005) ; *Limonium* spp. et *Halocnemum strobilaceum* occupent respectivement les vasières côtières et les sebkhas désertiques, la seconde espèce présentant en outre un intérêt pharmacologique avéré (Quéré, 2010 ; Nasernakhaei, 2021) ; enfin, *Tamarix gallica* illustre la capacité de certains ligneux à coloniser durablement les milieux arides fortement salins (Maldonado et al., 2016).

En Algérie, la flore halophile compte 175 taxons pour la plupart halophiles (halophytes vraies et facultatives), répartis en 127 genres et 39 familles botaniques (Bahi et al., 2020), avec une nette dominance des *Amaranthaceae* dans les chotts et sebkhas de l'intérieur ainsi que dans les zones humides littorales de l'Oranie, telles que la Grande Sebkhah d'Oran et la Macta, classées sites Ramsar. *Atriplex halimus* y constitue l'espèce halophyte la mieux étudiée, reconnue pour sa forte production de biomasse et son rôle dans la lutte contre l'érosion (Nedjimi, 2012 ; Ghezlaoui, Benabadji, Benmansour, & Merzouk, 2011), aux côtés de *Salicornia fruticosa*, *Suaeda fruticosa* et *Salsola vermiculata* (Yerou et al., 2025). Les sebkhas sahariennes hébergent des peuplements hyper-halophiles de *Halocnemum strobilaceum*, tandis que les zones humides de l'Oranie abritent des taxons endémiques du genre *Limonium* (*L. cossonianum*, *L. cymuliferum*) (Bahi et al., 2020). *Atriplex halimus* et *Salicornia fruticosa* sont par ailleurs valorisées comme ressources fourragères non conventionnelles pour les petits ruminants dans les parcours salins marginaux (Yerou et al., 2025).

Le tableau ci-dessous résume les principales espèces halophytes, leur répartition et leur intérêt.

Tableau 01 : Principales espèces halophytes, répartition et intérêt (monde et Algérie).

Espèce	Famille	Répartition	Intérêt principal
<i>Salicornia spp.</i>	<i>Amaranthaceae</i>	Marais salants (monde ; Algérie : Macta)	Restauration côtière, alimentaire
<i>Suaeda spp.</i>	<i>Amaranthaceae</i>	Côtes et sebkhas (monde, Algérie)	Phytoremédiation, médicinal
<i>Atriplex halimus</i>	<i>Amaranthaceae</i>	Steppes salées méditerranéennes (Algérie)	Fourrager, lutte contre l'érosion
<i>Spartina alterniflora</i>	<i>Poaceae</i>	Schorres et slikkes (côte est des É.-U. ; Europe)	Stabilisation des vasières
<i>Sarcocornia fruticosa</i>	<i>Amaranthaceae</i>	Marais salants côtiers (bassin méditerranéen)	Stabilisation des sols salés
<i>Limonium spp.</i>	<i>Plumbaginaceae</i>	Vasières côtières ; endémique en Oranie	Valeur patrimoniale, espèce rare
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	<i>Amaranthaceae</i>	Sebkhas désertiques (Afrique du Nord)	Médicinal, restauration des sols
<i>Tamarix gallica</i>	<i>Tamaricaceae</i>	Zones arides et semi-arides (monde, Algérie)	Résistance à la sécheresse et au sel
<i>Salsola vermiculata</i>	<i>Amaranthaceae</i>	Steppes et sebkhas (Algérie : Oranie)	Composante de la flore halophile locale

I.6. Importance écologique et environnementale des halophytes

Les halophytes constituent un élément essentiel de la végétation des écosystèmes salins, notamment des sebkhas, marais salés, lagunes et estuaires. Grâce à leurs adaptations à la salinité, elles contribuent au maintien de la structure et du fonctionnement de ces milieux et participent à la stabilisation des substrats. Dans les zones humides salées, la végétation peut notamment réduire l'érosion et favoriser la rétention des sédiments, contribuant ainsi à la stabilité des sols et des surfaces littorales (Shepard et al., 2011).

Les communautés halophytes jouent également un rôle important dans le maintien de la biodiversité. Elles constituent des habitats et des sources de nourriture pour différents organismes, notamment les invertébrés et les oiseaux fréquentant les zones humides. Par leur production de biomasse et leurs interactions avec le sol, elles participent également aux cycles de la matière organique et des éléments nutritifs.

Par ailleurs, certaines halophytes présentent un intérêt dans la restauration et la valorisation des sols salés. Leur capacité à absorber, accumuler ou réguler les ions, notamment Na^+ et Cl^- , est exploitée dans des approches de phytoremédiation et de phytodessalement des sols affectés par la salinité. Toutefois, l'efficacité de ces procédés dépend de l'espèce utilisée, de sa production de biomasse et des caractéristiques physicochimiques du sol (Nouri et al., 2017).

Enfin, les halophytes représentent une ressource biologique potentiellement valorisable dans différents domaines, notamment l'alimentation, l'agriculture, la production fourragère et l'extraction de composés d'intérêt. Leur capacité à se développer dans des environnements impropres à de nombreuses espèces cultivées leur confère un intérêt particulier dans le contexte de l'augmentation des surfaces affectées par la salinité (Flowers & Colmer, 2008).

Les halophytes constituent un groupe de plantes particulièrement adaptées aux milieux salins grâce à des mécanismes physiologiques et morphologiques spécifiques. Leur capacité à tolérer, accumuler ou excréter les sels leur permet de survivre et de se développer dans des environnements où la plupart des plantes ne peuvent pas croître. Au-delà de leur intérêt scientifique pour la compréhension des mécanismes de tolérance à la salinité, ces plantes jouent un rôle écologique important dans la stabilisation des sols, la lutte contre l'érosion et le maintien de la biodiversité des écosystèmes salés. Elles constituent ainsi une ressource précieuse pour la valorisation des terres salées face à l'augmentation de la salinisation.

Chapitre II : Étude du site

II.1. Localisation administrative et géographique

La wilaya d'Aïn Témouchent (code 46) est située dans l'Oranie, à l'extrémité nord-ouest de l'Algérie. Elle est limitée au nord-ouest par la mer Méditerranée, au nord-est par la wilaya d'Oran, au sud-est par la wilaya de Sidi Bel Abbès et au sud-ouest par la wilaya de Tlemcen.

Elle couvre une superficie de 2 376,89 km² et est subdivisée en 8 daïras et 28 communes. Sa population est estimée à 372 221 habitants, avec une densité moyenne d'environ 157 habitants par km². Grâce à sa situation géographique, la wilaya se caractérise par une diversité de paysages et d'un climat favorable au développement des activités agricoles. Elle abrite également plusieurs zones humides d'intérêt écologique qui contribuent à la conservation de la biodiversité locale.

La zone humide d'El Mouilha (Sebkha Serhani, lac de M'Saâda) se situe sur le territoire de la commune d'El Malah, à environ 11 km au nord-ouest de la ville d'Aïn Témouchent. Elle est bordée au nord par le douar El Msaâda, au sud par une exploitation agricole, à l'est par le site de Sidi Raho et à l'ouest par le Djebel Aïcha Touila, qui forme une barrière naturelle limitant son extension.

Les repères géographiques du site, relevés au GPS lors des sorties de terrain, sont :

- Latitude : 35°25'37,38" N
- Longitude : 1°07'34,73" O
- Altitude : 38 m
- Superficie estimée : environ 20 ha

Le site appartient à la haute plaine du Sahel oranais, région où le gradient pluviométrique décroît du nord (littoral de Béni Saf) vers le sud, ce qui conditionne directement la composition floristique des formations végétales. Comme les autres dépressions de cette région, la sebkha d'El Mouilha constitue un point bas fermé où convergent les écoulements, ce qui explique l'accumulation saisonnière des eaux et des sels.

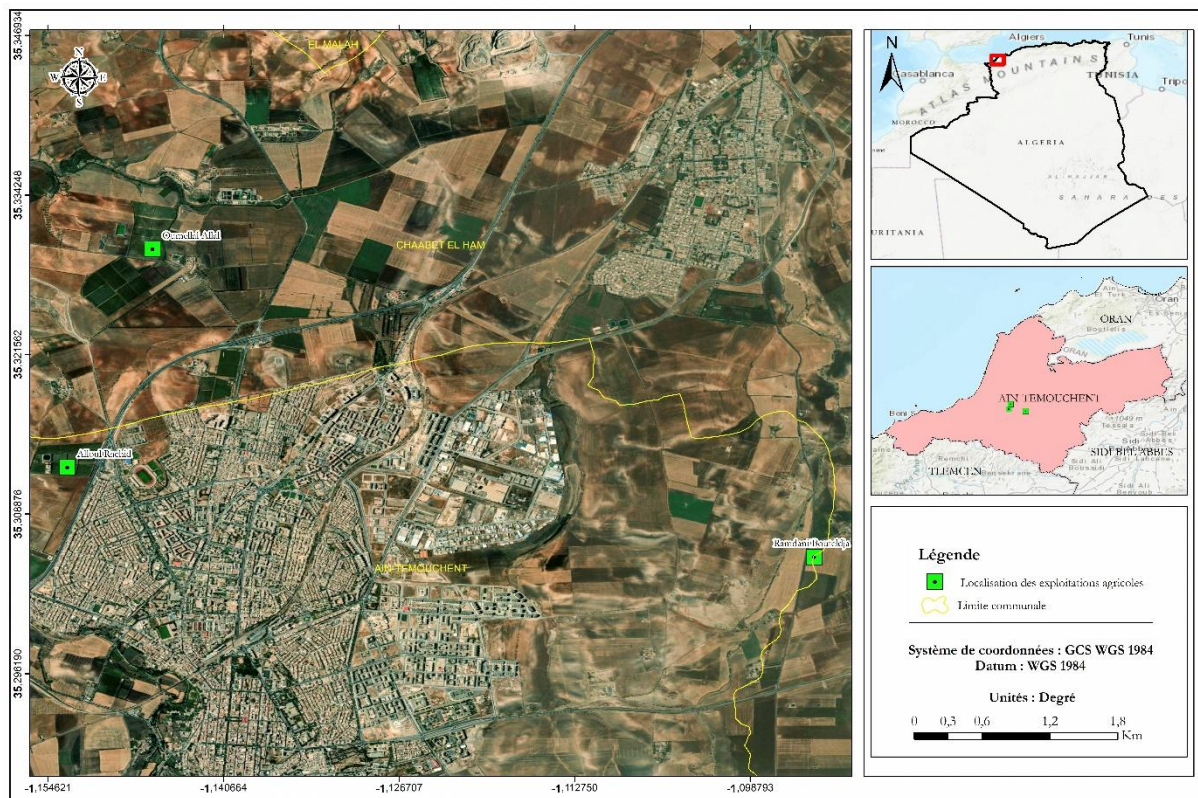


Figure 03 : Situation géographique et limites du site d'étude.

II.2. Intérêt du site

Les bassins fermés halomorphes (sebkhas, chotts, dayas) de l'Oranie abritent une flore halophile originale, encore mal inventoriée, et subissent une anthropisation croissante. La zone humide d'El Mouilha, qui ne bénéficie à notre connaissance d'aucune protection réglementaire, s'inscrit dans ce contexte : son inventaire floristique participe à la connaissance de ces écosystèmes dans la wilaya d'Aïn Témouchent.

II.3. Géologie et géomorphologie

Le site se présente comme une dépression fermée à fond plat, occupée par une étendue d'eau peu profonde entourée de terres agricoles, alimentée par les pluies et par des écoulements venus de l'amont ; au nord, la montagne d'Aïcha Touila forme un obstacle à son extension.

Les sebkhas de l'Ouest algérien partagent des caractéristiques communes, liées à leur position en fond de cuvette semi-aride : substrat salé, nappe proche de la surface, évaporation intense. La faible profondeur du plan d'eau favorise, en saison chaude, une évaporation intense et la formation d'une croûte saline en surface.

II.4. Types de sols

Les sols du pourtour de la sebkha montrent une zonation nette observée sur le terrain : au voisinage du marais salant, le sol est gris à noir et humide (sols hydromorphes salés) ; derrière la ceinture boisée, on passe à un sol sec, puis à un sol sableux ; la texture est en général sableuse avec une faible proportion d'argile et de limon. Cette description s'accorde avec les données édaphiques de l'Oranie : les stations halophiles y présentent des textures sablo-limoneuses à limoneuses, avec des salinités variables d'une station à l'autre, et les plaines halomorphes de la région sont rattachées aux solontchaks. La remontée capillaire des eaux chargées en sels, combinée à l'évaporation estivale, provoque l'accumulation des sels dans les horizons superficiels.

D'après les valeurs de pH, de conductivité électrique et de matière organique calculées sur les trois sols étudiés:

$$\text{Ph} : (8,99 + 10,13 + 10,32) / 3 = 9,81$$

**Conductivité électrique
(CE) :**

$$\text{Moyenne} = (2,682 + 0,434 + 0,369) / 3 = 1,162 \text{ dS/m}$$

$$\text{MO} : (7 + 11,80 + 3,64) / 3$$

$$\text{MO} = 7,48$$

Interprétation des résultats :

Ph(9,81) : le sol de l'ensemble de la région présente un caractère fortement alcalin/basique

Conductivité électrique(1,162ds/m) : la valeur moyenne reflète une salinité globale modérée sur le site, bien que la zone 1 présente une concentration en sel élevée (2,682ds/m) par rapporte aux zones 2 et 3

Matière organique (7,48 %) : La teneur moyenne en matière organique des trois échantillons de sol est de 7,48 %. Cette valeur indique une teneur relativement élevée en matière organique, pouvant contribuer à l'amélioration de la structure du sol, à la rétention de l'eau et à la disponibilité des éléments nutritifs. Cependant, son interprétation doit tenir compte des caractéristiques physico-chimiques du sol et des conditions écologiques de la sebkha étudiée. La texture de la zone est limon sableux et limon selon tes résultats granulométriques.

Trois échantillons ont été prélevés dans différentes zones du site de travail afin d'offrir un balayage général de cette région et d'obtenir une représentation globale des caractéristiques du sol.

II.5. Hydrologie et fonctionnement de la sebkha

La zone est alimentée par les précipitations directes et par des écoulements venus de l'amont. Le fonctionnement saisonnier suit le schéma classique des sebkhas de l'Ouest algérien : mise en eau pendant la saison pluvieuse (automne-hiver), puis concentration des eaux par évaporation au printemps, assèchement estival et précipitation des sels qui forment une croûte blanche en surface. Sur les vases salées ainsi dénudées s'installent en général des halophytes pionnières annuelles, qui améliorent les caractéristiques physico-chimiques du sol avant de laisser place à une végétation halophile vivace, souvent exploitée en pâturage. Ce gradient concentrique, de la rive nue vers les ceintures vivaces, contrôle directement la répartition des groupements végétaux autour du plan d'eau.

II.6. Climatologie

II.6.1. Données climatiques

Les données climatiques utilisées dans cette étude comprennent les températures moyennes, minimales et maximales ainsi que les précipitations mensuelles de la région d'étude. Elles permettent de caractériser les conditions thermiques et pluviométriques de la zone humide d'El Mouilha et de déterminer son étage bioclimatique.

La température moyenne annuelle est de 18,3 °C, tandis que le cumul annuel des précipitations atteint 375 mm. Les températures moyennes mensuelles varient de 12,1 °C en janvier à 26,1 °C en août. Les précipitations sont principalement concentrées entre l'automne et le printemps, avec un maximum en décembre (59 mm). En revanche, juillet et août sont les mois les plus secs, avec respectivement 2 mm et 3 mm..

Tableau 02 : Données climatiques mensuelles de la zone d'étude (station de Béni Saf, ONM Algérie).

Mois	T moy (°C)	T min (°C)	T max (°C)	Précip. (mm)
Janvier	12,1	7,8	16,4	56,0
Février	12,4	8,2	16,7	47,0
Mars	14,3	9,8	18,8	41,0
Avril	16,1	11,4	20,8	34,0
Mai	19,0	14,2	23,8	21,0
Juin	22,7	17,9	27,4	7,0
Juillet	25,2	20,4	30,1	2,0
Août	26,1	21,3	30,8	3,0
Septembre	23,6	18,6	28,5	14,0
Octobre	19,9	15,1	24,7	37,0
Novembre	15,6	11,2	20,1	54,0
Décembre	13,0	8,8	17,2	59,0
Année	18,3	13,7	22,9	375,0

Le régime pluviométrique est marqué par une forte irrégularité saisonnière. La période comprise entre octobre et avril reçoit l'essentiel des précipitations, tandis que les mois de mai à septembre se caractérisent par une sécheresse plus prononcée. Cette période sèche coïncide avec l'augmentation des températures, dont la moyenne atteint 26,1 °C en août. Ces conditions chaudes et sèches favorisent l'évaporation du plan d'eau, la remontée capillaire et l'accumulation des sels à la surface du sol. Elles expliquent également la présence d'une végétation spécialisée, adaptée à la salinité et au déficit hydrique.

II.6.2. Diagramme ombrothermique de Gaussen

Le diagramme ombrothermique de Gaussen permet de déterminer la durée de la période sèche. Selon ce diagramme, un mois est considéré comme sec lorsque les précipitations mensuelles P sont inférieures au double de la température moyenne mensuelle T , soit :

$$P < 2T$$

D'après les données climatiques recueillies, la période sèche s'étend de mai à octobre. Elle dure environ six mois. Le mois d'octobre est également considéré comme sec, car :

$$P = 37,0 \text{ mm} < 2T = 39,8$$

Les mois de juin, juillet et août sont les plus secs. Cette longue période sèche, associée à des températures estivales élevées, favorise une forte évaporation et contribue à la concentration des sels dans les sols de la sebkha.

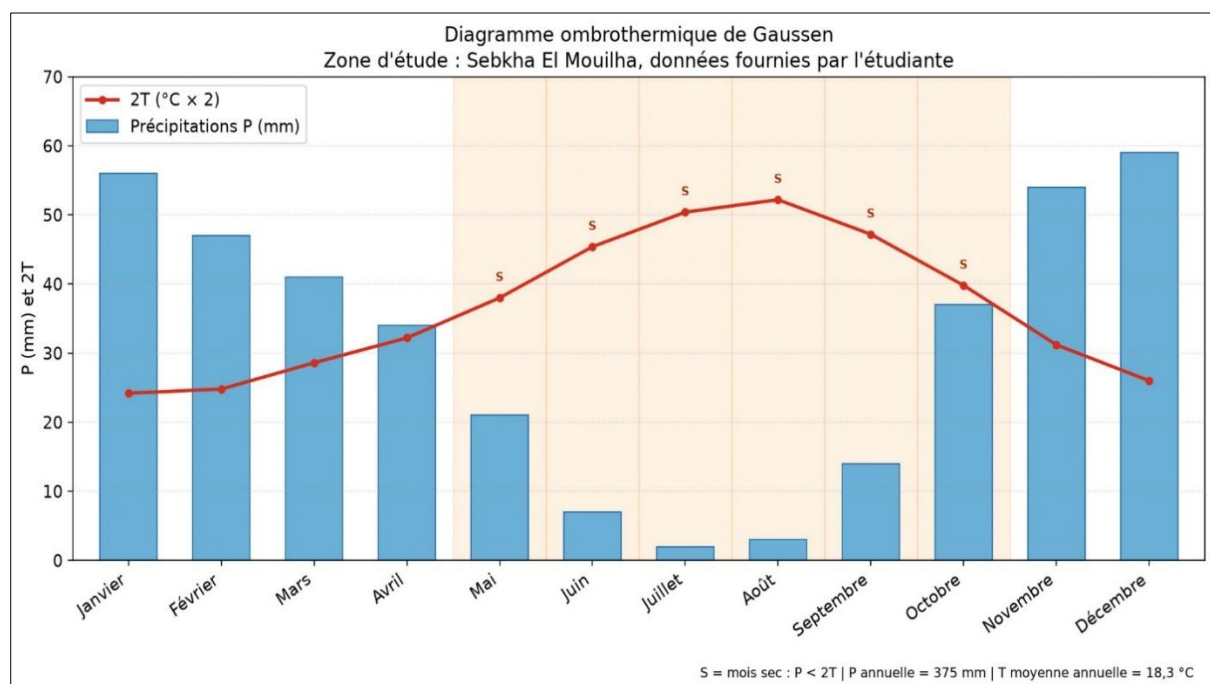


Figure 04 : Diagramme ombrothermique de Gaussen (1992-2021).

II.6.3. Indice d'aridité de De Martonne

L'indice d'aridité de De Martonne permet d'évaluer le degré d'aridité d'une région à partir des précipitations et de la température moyenne annuelle. Il est calculé selon la formule suivante :

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

où P = précipitation moyenne annuelle (mm),

T = température moyenne annuelle (°C).

Pour la zone d'étude, la précipitation annuelle est de 375 mm et la température moyenne annuelle est de 18,3 °C Ainsi :

$$I = \frac{375}{18,3+10} = 13,25$$

La valeur obtenue, égale à 13,25 caractérise un climat semi-aride selon la classification de De Martonne.

II.6.4. Quotient pluviométrique d'Emberger et étage bioclimatique

Le quotient pluviométrique d'Emberger permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une région méditerranéenne. Dans sa forme simplifiée proposée par Stewart, il est exprimé par par

la formule suivante : $Q2 = \frac{3,43P}{M-m}$

Où P : précipitation moyenne annuelle,

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud,

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid.

Dans la zone d'étude, les valeurs utilisées sont **P=375 mm** , **M(max)=30,8 °C** et **m(min)=7,8 °C**.

Le calcul donne :

$$Q2 = \frac{3,43 \times 375}{30,8 - 7,8} = 55,92$$

Le quotient pluviométrique obtenu est donc égal à 55,92, associée à une température minimale moyenne de 7,8 °C, cette valeur situe la zone d'étude dans **l'étage bioclimatique semi-aride à hiver chaud**. Cet étage combiné à la salinité du substrat, explique la dominance des plantes halophytes dans la flore du site.

A la fin, Le zone humide El Mouilha se caractérise par des particularités environnementales et écologiques uniques, notamment un sol salin, des halophytes adaptées et un climat semi-

aride. Ces conditions naturelles confèrent à ce site une importance scientifique considérable pour l'étude des plantes halophytes spontanées et de leur adaptation aux conditions environnementales.

Chapitre III:

Matériels et Méthodes

L'étude de la flore halophile spontanée de la zone humide de Mouilha (sebkha d'El Malah, wilaya d'Aïn Témouchent) repose sur un protocole combinant des relevés floristiques de terrain, des prélèvements de sol et des traitements statistiques descriptifs. Cette section présente successivement le dispositif d'échantillonnage, les relevés floristiques, les analyses de sol, les traitements statistiques et les limites de l'étude.

III.1. Choix des stations d'échantillonnage

Pour réaliser un inventaire de la flore halophile, les stations d'échantillonnage ont été sélectionnées de manière à représenter les différents habitats et la structure du couvert végétal de la zone d'étude. Les stations retenues répondaient aux critères suivants :

- **Représentativité de l'habitat** : chaque station devait représenter les caractéristiques générales du milieu étudié ;

- **Homogénéité floristique** : la composition floristique devait être relativement uniforme sur l'ensemble de la surface du relevé, en évitant les zones de transition et les secteurs fortement perturbés ;

- **Homogénéité écologique** : les principaux facteurs écologiques (topographie, texture du sol, humidité, degré de salinité) devaient être relativement homogènes au sein de la station ;

- **Homogénéité physionomique** : la structure, la hauteur et l'aspect général de la végétation devaient être homogènes afin de faciliter les observations et les comparaisons entre stations.

L'échantillonnage adopté est un échantillonnage stratifié, fondé sur le gradient de structure de la végétation. La zone d'étude a été subdivisée en trois niveaux correspondant à différentes positions au sein du groupement végétal :

- **N1** : bordure du groupement végétal, proche de l'eau ;

- **N2** : cœur du groupement végétal ;

- **N3** : limite externe du groupement végétal.

Cinq relevés floristiques ont été réalisés dans chaque strate, soit un total de quinze relevés.



Figure 05: Carte de localisation des relevés floristiques au sein du groupement végétal de la zone humide de Mouilha (Aïn Témouchent).

III.2. Matériel et équipement de terrain

Pour la réalisation des relevés floristiques et la collecte des échantillons de sol, le matériel suivant a été mobilisé :

- Un récepteur GPS pour la localisation des stations ;
- Un appareil photo numérique pour documenter les stations, les espèces et les éventuelles pressions anthropiques visibles ;
- Des piquets, un mètre ruban (50 m) et une corde graduée pour matérialiser les quadrats ;
- Des sachets plastiques étanches et des étiquettes pour le conditionnement des échantillons de sol ;
- Un bloc-notes et un crayon pour les notes de terrain ;
- Une tarière manuelle et un couteau de sol pour le prélèvement du sol (horizon superficiel, 20 cm) ;

- Une flore de référence : Nouvelle flore de l'Algérie (Quézel et Santa, 1962-1963) et Guide photo de la flore de Méditerranée (1990).

III.3. Réalisation des relevés floristiques

Le relevé floristique, ou inventaire botanique, constitue une méthode d'étude de la végétation permettant de recenser les espèces végétales présentes dans une surface délimitée. Dans le cadre de cette étude, cette méthode a été utilisée pour inventorier la végétation halophile spontanée de la zone humide de Mouilha et pour caractériser sa composition floristique.

Dans chaque station, un quadrat unique de 5 m × 5 m a été formé pour réaliser le relevé. Le positionnement du quadrat a été choisi de manière à représenter la végétation la plus typique de la station. Les quadrats ont été matérialisés par des piquets et une corde.

Les informations notées lors de chaque relevé étaient les suivantes :

- La date.
- Les coordonnées géographiques et l'altitude.
- La texture du sol, le pH et la conductivité électrique (CE).
- Le nombre d'espèces.
- Liste des espèces.
- Le coefficient d'abondance-dominance (A/D).

Pour chaque espèce, le type biologique et la fréquence d'apparition ont également été relevés. Ces relevés ont permis de recueillir les données nécessaires à l'étude de la richesse spécifique, de la répartition des espèces par famille et par type biologique, ainsi que des mesures d'abondance et de dominance.

III.6. Exploitation des relevés

III.6.1. Nombre et identification des espèces :

Pour chaque relevé floristique, les espèces végétales présentes ont été recensées et les individus (pieds) de chaque espèce ont été comptés. Le nombre total d'espèces a ensuite été déterminé à partir de la liste des espèces observées lors de chaque relevé. L'identification des espèces a été effectuée en s'appuyant sur l'ouvrage de référence « **Nouvelle flore de l'Algérie** » de Quézel et Santa (1962–1963), et le guide photo de la flore de Méditerranée.

III.6.2. Répartition des espèces par famille :

Une fois identifiées les espèces végétales recensées lors des différents inventaires botaniques, celles-ci ont été regroupées par famille botanique ; ce classement a permis de déterminer la répartition taxonomique des plantes halophytes incluses dans l'inventaire et de faciliter l'analyse de la diversité végétale dans la zone d'étude.

III.6.3. Type biologique

Le spectre biologique, exprimé en pourcentage des différents types biologiques (Gaussen et al., 1982), constitue un outil privilégié pour décrire la physionomie et la structure de la végétation ; il est considéré par Raunkiaer (1934) comme l'expression de la stratégie d'adaptation de la flore aux conditions du milieu. Chaque espèce a été affectée à son type biologique selon la classification de Raunkiaer, fondée sur la morphologie de la plante et la position des bourgeons de rénovation par rapport au sol. Cette classification distingue cinq types :

- **Les phanérophytes (Ph)** : arbres, arbustes et végétaux ligneux dont les bourgeons sont portés par des tiges aériennes dépassant 50 cm de hauteur ;
- **Les chamaephytes (Ch)** : herbacées vivaces et sous-arbrisseaux dont les bourgeons persistent à moins de 25 cm au-dessus du sol ;
- **Les hémicryptophytes (He)** : herbacées dont les bourgeons sont situés à la surface du sol, la partie aérienne disparaissant à la mauvaise saison ;
- **Les géophytes (Ge)** : herbacées à organes vivaces souterrains (bulbes, tubercules ou rhizomes), protégés des saisons défavorables ;
- **Les thérophytes (Th)** : herbacées annuelles dont le cycle végétatif complet, de la germination à la graine mûre, s'achève en une seule saison, la mauvaise saison étant passée sous forme de graines.

III.6.4. Fréquence d'apparition des espèces

La fréquence d'apparition de chaque espèce a été déterminée en fonction du nombre de relevés dans lesquels l'espèce est présente. Elle est exprimée en pourcentage et calculée selon la formule suivante :

$$F (\%) = (\text{Nombre de relevés où l'espèce est présente} / \text{Nombre total de relevés}) \times 100$$

Indice de présence ou fréquence d'apparition des espèces

III.6.5. Abondance-dominance

Braun-Blanquet (1952) a créé le coefficient qui associe les concepts d'abondance et de dominance. L'abondance exprime le nombre d'individus qui forment la population de l'espèce présente dans le relevé. La dominance représente le recouvrement de l'ensemble des individus d'une espèce donnée. Ce coefficient est estimé visuellement selon une échelle variant de 5 à +:

- **Coefficient 5** : individus recouvrant plus de 3/4 de la surface (>75 %) ;
- **Coefficient 4** : individus recouvrant de 1/2 à 3/4 de la surface (50 -75 %) ;
- **Coefficient 3** : individus recouvrant de 1/4 à 1/2 de la surface (25-50 %) ;
- **Coefficient 2** : individus nombreux mais recouvrant de 1/20 à 1/4 de la surface (5-25 %) ;
- **Coefficient 1** : individus très peu nombreux avec un degré de recouvrement faible, moins de 1/20 de la surface (< 5%),
- **Coefficient +** : individus très peu nombreux avec un degré de recouvrement très faible ou insignifiant.



Figure 06 : Exemple de dispositif de terrain (cliché personnel).

III.7. Analyse de sol

III.7.1. Prélèvement

Des échantillons de sol ont été prélevés à 20 cm de profondeur (horizon superficiel). Pour des raisons logistiques et analytiques, trois échantillons composites ont été constitués, correspondant aux trois strates de végétation (N1, N2, N3). Les échantillons ont été conservés dans des sachets plastiques étanches, étiquetés, puis acheminés au laboratoire de l'Université d'Aïn Témouchent, où ils ont été séchés à l'air libre, broyés et tamisés à 2 mm avant analyse.

III.7.2. pH et conductivité électrique

Les mesures ont été effectuées sur une suspension sol/eau (1/2,5), conformément aux normes AFNOR (1994) et USDA (1954). Une prise d'essai de 50 g de sol sec et tamisé a été introduite dans un bécher, à laquelle ont été ajoutés 125 mL d'eau distillée. Le mélange a été agité à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 30 minutes afin d'homogénéiser la suspension et de favoriser la mise en solution des ions solubles, puis laissé au repos pendant une heure pour permettre la sédimentation des particules grossières. Les mesures du pH et de la conductivité électrique ont ensuite été réalisées sur le surnageant à l'aide d'un pH-mètre et d'un conductimètre préalablement étalonnés.

Matériel utilisé : pH-mètre/conductimètre (appareil multi-paramètre), balance de précision, bécher (100 ou 250 mL), éprouvette graduée, agitateur magnétique, spatule, eau distillée.



Figure 07 : Appareil de mesure du pH



Figure 08 : Échantillons de sol
la conductivité électrique du sol.

III.7.3. Analyse granulométrique

Avant l'analyse granulométrique, le pourcentage de fines a été déterminé afin de choisir la méthode appropriée : tamisage à sec lorsque ce pourcentage est inférieur à 50 %, sédimentométrie lorsqu'il est supérieur (NF P 18-540).

Dans un premier temps, la teneur en eau du sol a été évaluée : des échantillons de sol frais ont été pesés, puis séchés à l'étuve à 105 °C jusqu'à obtention d'une masse constante. La différence de masse avant et après séchage a permis de calculer le pourcentage d'humidité.

Une prise d'essai de 500 g de sol sec (m_0) a ensuite été soumise à un tamisage humide au-dessus d'un tamis de maille 80 μm afin d'éliminer les éléments fins (argiles et limons). Le refus restant sur le tamis a été séché puis pesé (m_1). Le pourcentage d'éléments fins a été calculé selon la formule :

$$\text{Pourcentage d'éléments fins (\%)} = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100$$

Où :

m_0 : sol sec

m_1 : la masse après tamisage humide



Figure 09 : Tamisage sec



Figure 10 : Tamisage humide

III.7.4. Teneur en matière organique

La teneur en matière organique (MO) des sols a été déterminée par la méthode de calcination, fondée sur la destruction par combustion de la matière organique à haute température. Le protocole a été le suivant : (1) trois creusets vides et propres ont été pesés (m_0), puis une prise d'essai de sol sec a été introduite dans chaque creuset et l'ensemble a été pesé (m_1) ; (2) les creusets ont été placés dans un four à moufle réglé à 400 °C pendant 24 heures afin d'assurer une combustion complète de la matière organique ; (3) après refroidissement, les creusets contenant le résidu minéral ont été pesés une dernière fois (m_2). Le pourcentage de matière organique a été calculé selon la formule :

$$\% \text{ MO} = (m_1 - m_2) / (m_1 - m_0) \times 100$$

où m_0 : masse du creuset vide (g).

m_1 : masse du creuset + sol sec avant calcination (g).

m_2 : masse du creuset + résidu après calcination à 400 °C (g).

III.7.5. Traitement des données

Les données floristiques issues des relevés ainsi que les données édaphiques relatives au pH, à la conductivité électrique, à la granulométrie et à la matière organique ont été saisies et organisées à l'aide du logiciel Microsoft Excel afin de faciliter leur traitement et leur présentation.

Chapitre IV :

Résultats et discussion

IV.1. Analyses des sols

Les analyses physico-chimiques et granulométriques réalisées sur les trois échantillons de sol (Sol N1, Sol N2 et Sol N3) permettent de caractériser la salinité, la fertilité et la texture des sols de la zone d'étude, et d'établir les relations entre les propriétés édaphiques et la distribution de la flore halophile autour de la sebkha de Mouilha.

IV.1.1. Analyses physico-chimiques

Ces analyses constituent une étape déterminante dans l'étude des milieux salés. Dans les sebkhas, les propriétés du sol telles que le pH, la conductivité électrique, la teneur en eau et la matière organique sont parmi les principaux facteurs qui structurent les communautés végétales des sebkhas : la ceinture périphérique, moins salée, accueille la végétation halophyte tandis que le centre hypersalé en est dépourvu (Chamekh et al., 2019).

Le pH, la conductivité électrique (CE), la teneur en eau et la matière organique comptent

Tableau 03 : Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés.

Paramètre	Sol N1 (S1-S5)	Sol N2 (S6-S10)	Sol N3 (S11-S15)
pH (H ₂ O)	8,99	10,13	10,32
CE (dS/m)	2,682	0,434	0,369
Teneur en eau (%)	12,56	7,07	5,49
Matière organique (%)	7,00	11,80	3,64

Les données du tableau n° 03 relatives aux pH montrent que les trois sols sont alcalins à très alcalins, avec des valeurs qui s'élèvent de 8,99 (sol N1) à 10,32 (sol N3). Ces valeurs dépassent nettement celles généralement rapportées pour les sols salés algériens, comprises entre 7,0 et 8,2 (Nedjimi, 2011) ou entre 7,97 et 8,20 dans sept sebkhas du pays (Rabhi et al., 2022) ; elles suggèrent une alcalinisation sodique, processus bien décrit dans les dépressions fermées de l'Ouest algérien (Bellaredj, 2016).

Pour ce qui est de la conductivité électrique, le sol N1 présente la valeur la plus élevée (2,682 dS/m), nettement supérieure à celles de N2 (0,434 dS/m) et N3 (0,369 dS/m), traduisant une plus forte teneur en sels solubles et peut être classé légèrement salé (2–4 dS/m selon l'USDA), les deux autres demeurant non salés (< 2 dS/m). Ces valeurs se rapprochent de celles enregistrées aux marges des sebkhas du nord-ouest autour d'El Amria, de l'ordre de 1,21 à 1,35 mS/cm (Hassaine et al., 2014).

La teneur en eau décroît régulièrement du sol N1 (12,56 %) au sol N3 (5,49 %) et traduit des conditions d'humidité différenciées. L'humidité plus élevée du sol N1, conjuguée à sa salinité, évoque une station proche du plan d'eau ou à drainage imparfait (Nedjimi, 2011).

Le tableau présente ainsi une grande valeur de la matière organique dans le sol N2 (11,80 %), supérieure à celles du sol N1 (7,00 %) et du sol N3 (3,64 %). De telles teneurs élevées en milieu aride s'expliquent par l'apport de litière halophyte combiné à une minéralisation ralentie par la salinité. Le contraste entre les sols N2 et N3 pourrait refléter des différences de couverture végétale.

IV.1.2. Analyse granulométrique

Les analyses de la granulométrie des sols des 15 stations sont représentées dans le tableau suivant.

Tableau 04 : Résultats des analyses granulométriques des sols étudiés (%).

Échantillon	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Classe texturale (USDA)
Sol N1	49,5	39,0	11,5	Limono-sableux
Sol N2	38,0	37,0	25,0	Limoneux
Sol N3	35,0	36,0	29,0	Limono-argileux

Il ressort à partir du tableau n° 04 que le sol N1, dominé par la fraction sableuse (49,5 %) avec peu d'argile (11,5 %), a une texture limono-sableuse. Le sol N2 montre une répartition équilibrée des trois fractions (38,0 % de sable, 37,0 % de limon, 25,0 % d'argile), correspondant à une texture limoneuse. Le sol N3, le plus riche en argile (29,0 %) pour des proportions quasi égales de sable et de limon, se classe en limono-argileux.

Ces résultats mettent en évidence un gradient textural vers des textures de plus en plus fines, cohérents avec les travaux de Bekkouche et al. (2024) dans les formations halophytes de l'Oranie.

IV.1.3. Position des échantillons sur le triangle de texture

Les données de l'analyse granulométrique des échantillons de sols ont été traduites en une classification texturale normalisée appelée **le triangle de texture**, ou diagramme ternaire des textures, qui constitue l'outil de référence pour cette opération (USDA 2011). Il permet de positionner chaque échantillon de sol en fonction de ses trois fractions minérales et de déterminer sa classe texturale selon la classification internationale USDA.

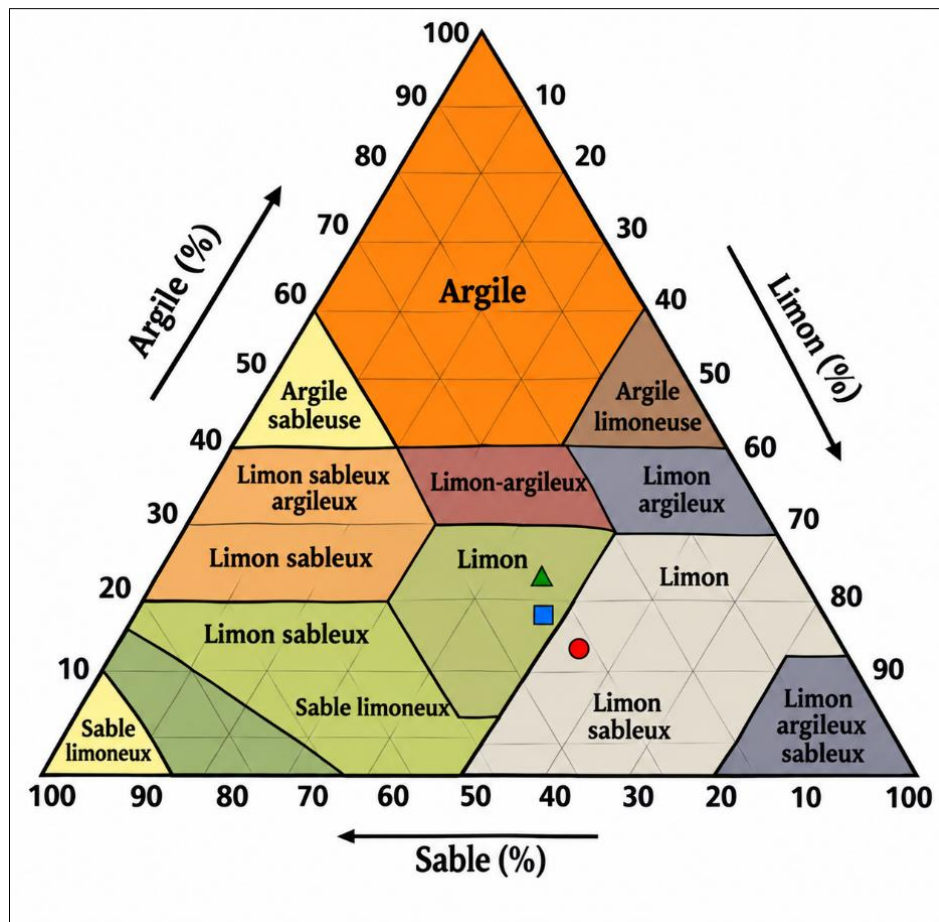


Figure 11 : Position des échantillons de sol (N1, N2, N3) sur le triangle de texture (classification USDA).

La figure n° 11 du triangle de texture montre que le sol N1 et N2 se situent dans le domaine limoneux, et le sol N3 en limite du domaine limon, vers la classe limono-argileuse. Cette répartition confirme le gradient textural mis en évidence à l'échelle de la zone d'étude.

Ce schéma s'accorde avec le fonctionnement **classique** des sebkhas, où la concentration en sels est maximale au centre de la dépression et décroît vers la périphérie, organisant la végétation en ceintures selon la tolérance des espèces (Khelfaoui et al., 2022).

IV.2. Analyse et identification de la flore totale

IV.2.1. Composition et diversité floristique

Les relevés floristiques effectués dans le cadre de cette étude ont permis d'inventorier 51 espèces végétales appartenant à 19 familles botaniques. La figure ci-dessous montre leur répartition par familles.

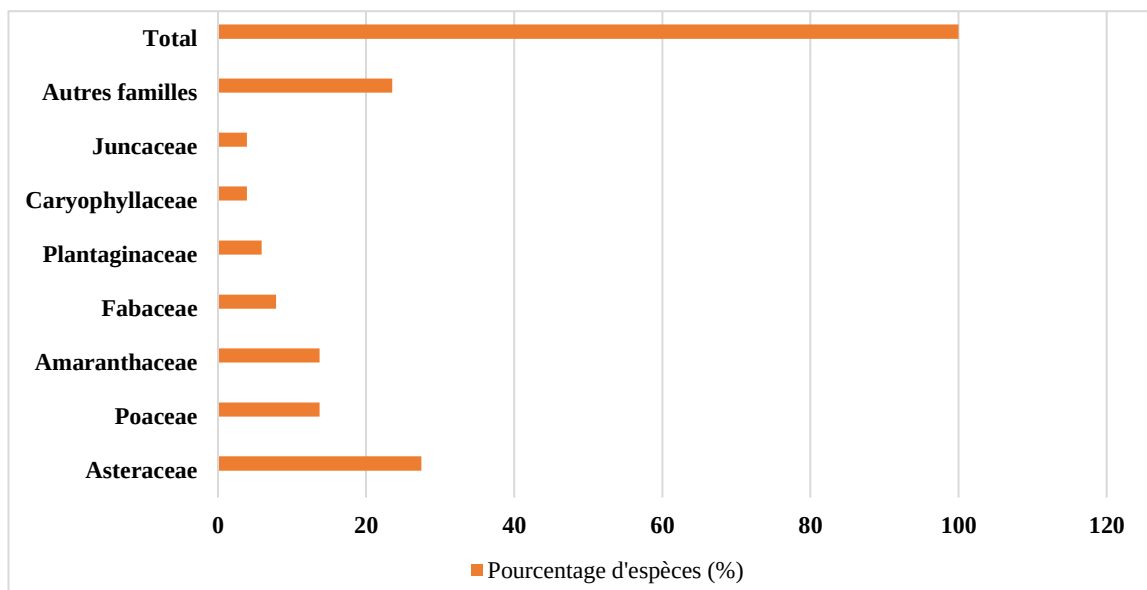


Figure 12 : Répartition des espèces inventoriées par familles.

La flore recensée comprend 51 espèces réparties entre 19 familles botaniques. Les Asteraceae sont les plus représentées (14 espèces, 27,45 %) suivies des Poaceae et des Amaranthaceae (7 espèces chacune, 13,73 %). Cette dominance de quelques familles, accompagnée d'un nombre important de familles faiblement représentées, traduit une répartition inégale de la richesse floristique. Une prédominance des Asteraceae, Poaceae et Amaranthaceae a également été rapportée dans différents milieux méditerranéens et salins, où la composition floristique est notamment influencée par les conditions édaphiques et la tolérance des espèces aux contraintes environnementales (Ghezlaoui et al., 2019).

D'autres familles telles que les Tamaricaceae, Plumbaginaceae, Phyllanthaceae, Geraniaceae, Apiaceae, Brassicaceae, Malvaceae, Portulacaceae, Aizoaceae, Ephedraceae, Boraginaceae et Primulaceae sont représentées chacune par une seule espèce.

Parmi la flore inventoriée, 10 espèces sont considérées comme halophytes, soit 19,61 % de la richesse floristique totale. Ces espèces, notamment *Salicornia europaea*, *Suaeda vera*, *Tamarix gallica*, *Limonium delicatulum*, *Spergularia marina* et *Juncus acutus*, appartiennent aux familles Amaranthaceae, Tamaricaceae, Plumbaginaceae, Caryophyllaceae, Juncaceae, Plantaginaceae et Aizoaceae.

Ces halophytes sont caractéristiques des milieux salés et témoignent de la composante halophile de la végétation étudiée. Cette présence peut être liée aux conditions édaphiques de la sebkha, notamment à la salinité du sol, qui constitue un facteur important dans la distribution des halophytes (Chenchouni, 2017 ; Ghezlaoui et al., 2019).

IV.2.2. Spectre biologique et morphologique

Les plantes inventoriées sont groupées dans la liste floristique du Tableau 05 et présentées par espèce, famille, type biologique et morphologique.

Tableau 05 : Liste des espèces inventoriées réparties par famille, type biologique et type morphologique.

Espèce	Famille	Type biologique	Type morphologique
<i>Salicornia europaea</i>	Amaranthaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Suaeda vera</i>	Amaranthaceae	Chamaephyte	Ligneuse
<i>Tamarix gallica</i>	Tamaricaceae	Phanérophyte	Arborescente
<i>Limonium delicatulum</i>	Plumbaginaceae	Chamaephyte	Herbacée vivace
<i>Spergularia marina</i>	Caryophyllaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Phyllanthus pentandrus</i>	Phyllanthaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Beta vulgaris subsp. maritima</i>	Amaranthaceae	Hémicryptophyte	Herbacée bisannuelle
<i>Juncus acutus</i>	Juncaceae	Hémicryptophyte	Herbacée vivace
<i>Juncus bufonius</i>	Juncaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Chenopodium album</i>	Amaranthaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Amaranthus graecizans</i>	Amaranthaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Amaranthus blitum</i>	Amaranthaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Amaranthaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Plantago coronopus</i>	Plantaginaceae	Hémicryptophyte	Herbacée vivace
<i>Plantago lanceolata</i>	Plantaginaceae	Hémicryptophyte	Herbacée vivace
<i>Plantago rugelii</i>	Plantaginaceae	Hémicryptophyte	Herbacée vivace
<i>Anacyclus valentinus</i>	Asteraceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Anacyclus officinalis</i>	Asteraceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Senecio vulgaris</i>	Asteraceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Sonchus asper</i>	Asteraceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Scolymushis panicus</i>	Asteraceae	Hémicryptophyte	Herbacée bisannuelle
<i>Silybum marianum</i>	Asteraceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Taraxacum officinale</i>	Asteraceae	Hémicryptophyte	Herbacée vivace
<i>Echinops spinosissimus</i>	Asteraceae	Hémicryptophyte	Herbacée vivace
<i>Matricaria odorata</i>	Asteraceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Lactuca virosa</i>	Asteraceae	Hémicryptophyte	Herbacée bisannuelle
<i>Echinops ritro</i>	Asteraceae	Hémicryptophyte	Herbacée vivace

<i>Catananche caerulea</i>	Asteraceae	Hémicryptophyte	Herbacée vivace
<i>Centaurea sp.</i>	Asteraceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Andryala integrifolia</i>	Asteraceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Bromus rubens</i>	Poaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Bromus hordeaceus</i>	Poaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Hordeum murinum</i>	Poaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Vulpia fasciculata</i>	Poaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Lagurus ovatus</i>	Poaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Poa annua</i>	Poaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Avena fatua</i>	Poaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Geranium robertianum</i>	Geraniaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Melilotus indica</i>	Fabaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Astragalus cicer</i>	Fabaceae	Hémicryptophyte	Herbacée vivace
<i>Medicago polymorpha</i>	Fabaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Ononis viscosa</i>	Fabaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Caucalis platycarpus</i>	Apiaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Diplotaxis erucoides</i>	Brassicaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Malva pusilla</i>	Malvaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Mesembryanthemum nodiflorum</i>	Aizoaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Ephedra sp.</i>	Ephedraceae	Phanérophyte	Ligneuse
<i>Heliotropium europaeum</i>	Boraginaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Anagallis arvensis</i>	Primulaceae	Thérophyte	Herbacée annuelle
<i>Paronychia argentea</i>	Caryophyllaceae	Hémicryptophyte	Herbacée vivace

Le spectre biologique de la flore étudiée est nettement dominé par les thérophytes, avec 34 espèces, soit 66,67 % de la richesse floristique. Ils sont suivis par les hémicryptophytes avec

13 espèces (25,49 %), tandis que les chaméphytes et les phanérophytes ne représentent chacun que deux espèces (3,92 %). Aucune géophyte n'a été recensé.

La forte proportion des thérophytes peut être mise en relation avec les conditions climatiques et édaphiques contraignantes du milieu, notamment la sécheresse saisonnière et la salinité. Ces espèces accomplissent leur cycle durant la période favorable et persistent durant la période défavorable principalement sous forme de graines. Cela a été également observée dans plusieurs milieux salés et steppiques d'Algérie, notamment dans les formations halophiles du Chott El-Gharbi (Ghezlaoui et al., 2011).

La faible représentation des chaméphytes et des phanérophytes ne signifie toutefois pas nécessairement qu'ils ont une faible importance dans la structure de la végétation. En effet, certaines espèces pérennes peuvent contribuer fortement au recouvrement et à la physionomie du couvert végétal. Dans les relevés étudiés, *Tamarix gallica* présente notamment une forte contribution au couvert végétal, tandis que *Suaeda vera* participe également à la structure de la végétation. Cette distinction entre richesse spécifique et importance structurale est particulièrement importante dans l'interprétation des communautés végétales de milieux salés.

Le spectre morphologique est également dominé par les herbacées annuelles, qui représentent 68,6 % des espèces recensées, suivies des herbacées vivaces. Les espèces ligneuses sont peu nombreuses et principalement représentées par *Tamarix gallica*, *Suaeda vera* et *Ephedra* sp. Cette composition traduit une végétation principalement herbacée et relativement ouverte, caractérisée par une forte représentation des espèces annuelles à cycle de développement court (Hamed et al., 2016).

IV.2.3. Présence (%) et Fréquence relative (%) des espèces inventoriées

La présence et la fréquence relative des espèces inventoriées ont été déterminées à partir des 15 relevés réalisés dans la sebkha, afin d'apprécier leur répartition et leur régularité au sein de la Sebkha de Mouilha.

Tableau 06 : Présence (%) et fréquence relative (%) des espèces inventoriées.

Espèce	Fréquence (nb de stations)	Fréquence d'occurrence (%)	Fréquence relative (%)	Catégories des espèces
<i>Tamarix gallica</i>	13/15	86.7	8.97	Constante
<i>Plantago coronopus</i>	11/15	73.3	7.59	Régulière
<i>Suaeda vera</i>	10/15	66.7	6.90	Régulière
<i>Chenopodium album</i>	9/15	60.0	6.21	Régulière
<i>Salicornia europaea</i>	8/15	53.3	5.52	Régulière
<i>Hordeum murinum</i>	6/15	40.0	4.14	Accessoire
<i>Juncus acutus</i>	6/15	40.0	4.14	Accessoire
<i>Limonium delicatulum</i>	5/15	33.3	3.45	Accessoire
<i>Plantago lanceolata</i>	5/15	33.3	3.45	Accessoire
<i>Anacyclus valentinus</i>	4/15	26.7	2.76	Accessoire
<i>Bromus rubens</i>	4/15	26.7	2.76	Accessoire
<i>Malva pusilla</i>	4/15	26.7	2.76	Accessoire
<i>Taraxacum officinale</i>	4/15	26.7	2.76	Accessoire

Tableau 07 : Présence (%) et fréquence relative (%) des espèces rares.

Espèce	Fréquence (nb de stations)	Fréquence d'occurrence (%)	Fréquence relative (%)	Catégories des espèces
<i>Anacyclus officinalis</i>	3/15	20.0	2.07	Rare
<i>Beta vulgaris subsp. maritima</i>	3/15	20.0	2.07	Rare
<i>Centaurea sp.</i>	3/15	20.0	2.07	Rare
<i>Medicago polymorpha</i>	3/15	20.0	2.07	Rare
<i>Senecio vulgaris</i>	3/15	20.0	2.07	Rare
<i>Silybum marianum</i>	3/15	20.0	2.07	Rare

<i>Amaranthus retroflexus</i>	2/15	13.3	1.38	Rare
<i>Bromus hordeaceus</i>	2/15	13.3	1.38	Rare
<i>Echinops spinosissimus</i>	2/15	13.3	1.38	Rare
<i>Geranium robertianum</i>	2/15	13.3	1.38	Rare
<i>Scolymus hispanicus</i>	2/15	13.3	1.38	Rare
<i>Sonchus asper</i>	2/15	13.3	1.38	Rare
<i>Spergularia marina</i>	2/15	13.3	1.38	Rare
<i>Amaranthus blitum</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Amaranthus graecizans</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Anagallis arvensis</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Andryala integrifolia</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Astragalus cicer</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Avena fatua</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Catananche caerulea</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Caucalis platycarpus</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Diplotaxis erucoides</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Ephedra sp.</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Heliotropium europaeum</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Juncus bufonius</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Lactuca virosa</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Lagurus ovatus</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Matricaria odorata</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Melilotus indica</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Mesembryanthemum nodiflorum</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Ononis viscosa</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Paronychia argentea</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Phyllanthus pentandrus</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Plantago rugelii</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Poa annua</i>	1/15	6.7	0.69	Rare

<i>Portulaca oleracea</i>	1/15	6.7	0.69	Rare
<i>Vulpia fasciculata</i>	1/15	6.7	0.69	Rare

Interprétation : ces espèces sont rares et en voie d’extinction

L'analyse des 15 relevés montre une nette prédominance de *Tamarix gallica*, recensée dans 13 relevés (Fo = 86,7 % ; Fr = 8,97 %). Cette fréquence élevée confirme son importance dans la végétation étudiée, en cohérence avec le caractère halotolérant du genre *Tamarix*, largement associé aux milieux salés et arides méditerranéens (Juan et al., 2023 ; Rahimi et al., 2024).

Plantago coronopus, *Suaeda vera*, *Chenopodium album* et *Salicornia europaea* présentent également des fréquences élevées (53,3 à 73,3 %). La présence conjointe de *Suaeda* et *Salicornia*, reconnues comme des taxons caractéristiques des habitats salins, souligne l'influence de la salinité sur la composition floristique. Toutefois, la distribution des espèces halophytes dépend également de l'humidité, de la topographie et des caractéristiques du substrat, ce qui peut expliquer leur répartition différenciée au sein de la sebkha.

Les espèces de fréquence intermédiaire, telles que *Juncus acutus*, *Limonium delicatulum*, *Plantago lanceolata* et plusieurs graminées, témoignent d'une **hétérogénéité des conditions écologiques** entre les différents relevés. Cette organisation en mosaïque est caractéristique des milieux salins, où les gradients de salinité et d'humidité influencent fortement la distribution des espèces.

Enfin, la présence de nombreuses espèces à faible fréquence traduit une **diversité floristique ponctuelle liée à l'hétérogénéité des microhabitats**. Certaines espèces rudérales peuvent également refléter l'influence des activités humaines sur les secteurs périphériques.

Certaines espèces rudérales ou messicoles peuvent également refléter l'influence des activités humaines sur les secteurs périphériques. Des travaux récents réalisés dans des écosystèmes méditerranéens montrent effectivement que le pâturage, le piétinement et d'autres perturbations anthropiques peuvent modifier la composition et la distribution de la végétation (Younsi et Bouziane, 2023).

IV.2.4. Richesse spécifique et abondance-dominance des espèces

La richesse spécifique et l'abondance-dominance des espèces ont été analysées à partir des relevés floristiques afin de caractériser la diversité et l'importance relative des espèces au sein des différentes stations.

Tableau 08 : Richesse spécifique et coefficients d'abondance-dominance des espèces inventoriées.

Station Espèce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Nombre d'espèces par relevé
<i>Tamarix gallica</i>	4	4	.	.	4	4	5	3	4	4	4	3	3	3	4	13
<i>Plantago coronopus</i>	+	+	+	+	+	.	+	+	1	.	+	+	3	.	.	11
<i>Suaeda vera</i>	4	4	4	4	4	.	+	.	.	+	3	.	.	5	5	10
<i>Chenopodium album</i>	.	+	+	.	.	+	+	+	+	.	+	.	+	.	+	9
<i>Salicornia europaea</i>	+	5	.	.	.	.	+	+	.	.	+	+	+	.	+	8
<i>Hordeum murinum</i>	+	+	.	.	+	+	.	.	.	+	.	.	.	+	.	6
<i>Juncus acutus</i>	.	.	.	.	+	2	.	+	1	+	.	+	.	.	.	6
<i>Limonium delicatulum</i>	1	+	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	+	.	5
<i>Plantago lanceolata</i>	.	+	.	.	+	.	.	+	1	.	.	1	.	.	.	5
<i>Anacyclus valentinus</i>	.	+	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4
<i>Bromus rubens</i>	.	.	.	.	+	+	.	+	.	+	.	.	.	.	.	4
<i>Malva pusilla</i>	.	.	+	+	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	4
<i>Taraxacum officinale</i>	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	+	.	+	.	.	4
<i>Anacyclus officinalis</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	+	3
<i>Beta vulgaris subsp. maritima</i>	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	+	.	.	3
<i>Centaurea sp.</i>	.	.	.	.	+	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	3
<i>Medicago polymorpha</i>	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	+	.	.	3
<i>Senecio vulgaris</i>	.	+	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
<i>Silybum marianum</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	1	.	.	3
<i>Amaranthus retroflexus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	2
<i>Bromus hordeaceus</i>	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
<i>Echinops spinosissimus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.	2
<i>Geranium robertianum</i>	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	2
<i>Scolymus hispanicus</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	2

<i>Sonchus asper</i>	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
<i>Spergularia marina</i>	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
<i>Amaranthus blitum</i>	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Amaranthus graecizans</i>	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Anagallis arvensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	1
<i>Andryala integrifolia</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Astragalus cicer</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Avena fatua</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Catananche caerulea</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Caucalis platycarpus</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Diplotaxis eruroides</i>	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Ephedra sp.</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	1
<i>Heliotropium europaeum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	1
<i>Juncus bufonius</i>	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Lactuca virosa</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
<i>Lagurus ovatus</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Matricaria odorata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	1
<i>Melilotus indica</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Mesembryanthemum nodiflorum</i>	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Ononis viscosa</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Paronychia argentea</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Phyllanthus pentandrus</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Plantago rugelii</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
<i>Poa annua</i>	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Portulaca oleracea</i>	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Vulpia fasciculata</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1

À partir des données du tableau, il ressort que la flore inventoriée comprend 51 taxons, avec une richesse moyenne de 9,67 espèces par relevé, variant de 5 espèces (station 15) à 20 espèces (station 5). Cette variation traduit une hétérogénéité floristique entre les stations. Les faibles richesses observées dans certaines stations, associées à une forte représentation des halophytes, peuvent s'expliquer par la sélection exercée par les contraintes salines, qui limitent l'installation

des espèces sensibles. À l'inverse, les stations plus riches accueillent un cortège plus diversifié, notamment d'espèces communes et rudérales. La salinité constitue ainsi un facteur important de structuration des communautés végétales des milieux salés (Zhang et al., 2024).

Les coefficients de Braun-Blanquet montrent la dominance de *Tamarix gallica*, présente dans 13 stations avec une moyenne de 3,77, suivie de *Suaeda vera* (10 stations ; moyenne = 3,40). *Salicornia europaea* atteint localement le coefficient 5. Ces fortes valeurs traduisent l'importance des espèces halotolérantes dans le couvert végétal et leur bonne adaptation aux conditions salines. À l'inverse, *Juncus acutus*, *Limonium delicatulum* et *Spergularia marina* présentent des recouvrements plus faibles, indiquant une distribution plus ponctuelle.

La variation de la richesse et de l'abondance-dominance suggère un gradient écologique entre les stations. Les stations 14 et 15, où *Suaeda vera* atteint le coefficient 5, ainsi que la station 2, où *Salicornia europaea* atteint également 5, semblent correspondre à des secteurs plus contraignants pour les espèces non halophiles. À l'inverse, les stations 5 et 6, plus riches, présentent une végétation plus diversifiée. Cette organisation peut être liée aux variations de salinité, d'humidité et des caractéristiques du sol, facteurs reconnus comme déterminants de la distribution des halophytes.

Dans l'ensemble, la végétation de la sebkha de Mouilha apparaît hétérogène et dominée localement par *Tamarix gallica*, *Suaeda vera* et *Salicornia europaea*. La faible richesse de certaines stations et la forte dominance des halophytes suggèrent l'influence des contraintes salines, tandis que la présence d'espèces communes et rudérales dans les stations plus riches témoigne de conditions écologiques moins contraignantes.

Conclusion générale

Cette étude a permis de caractériser les principales conditions édaphiques et floristiques de la sebkha de Mouilha, située à El Malah dans la wilaya d'Aïn Témouchent, et de mettre en évidence leur relation avec la distribution de la végétation halophile. Les résultats obtenus montrent que cet écosystème présente une importante hétérogénéité des conditions du milieu, qui se traduit par une organisation différenciée de la végétation au sein des stations étudiées.

Les analyses physico-chimiques des sols révèlent un caractère alcalin à très alcalin, avec des valeurs de pH comprises entre 8,99 et 10,32. La conductivité électrique met en évidence un gradient de salinité, le sol N1 présentant la valeur la plus élevée (2,682 dS/m), tandis que les sols N2 et N3 sont relativement moins salés. Ce gradient s'accompagne d'une diminution de l'humidité du sol vers les secteurs périphériques ainsi que d'une variation de la texture, allant de textures limono-sableuses à des textures plus fines, limoneuses à limono-argileuses. Cette hétérogénéité édaphique contribue à différencier les conditions écologiques au sein de la sebkha et constitue un facteur important de la répartition de la végétation.

Sur le plan floristique, les 15 relevés réalisés ont permis de recenser 51 espèces appartenant à 19 familles botaniques. Les Asteraceae, les Poaceae et les Amaranthaceae sont les familles les mieux représentées. Parmi l'ensemble de la flore inventoriée, 10 espèces sont considérées comme halophytes, soit 19,61 % de la richesse floristique totale. La présence d'espèces telles que *Salicornia europaea*, *Suaeda vera*, *Tamarix gallica*, *Limonium delicatulum*, *Spergularia marina* et *Juncus acutus* témoigne de l'existence de conditions favorables au développement d'une végétation adaptée aux contraintes salines.

La structure biologique de la flore est dominée par les thérophytes, qui représentent 66,67 % des espèces recensées, suivis des hémicryptophytes avec 25,49 %. Cette prédominance traduit notamment l'influence de la sécheresse saisonnière et des contraintes édaphiques qui caractérisent le milieu. Le spectre morphologique est également marqué par une forte représentation des espèces herbacées annuelles. Malgré leur faible diversité, certaines espèces pérennes, notamment *Tamarix gallica* et *Suaeda vera*, contribuent de manière importante à la structure et au recouvrement de la végétation.

L'analyse de la fréquence et de l'abondance-dominance permet de préciser cette organisation. *Tamarix gallica* apparaît comme l'espèce la plus constante, présente dans 13 des 15 stations

étudiées, tandis que *Suaeda vera* et *Salicornia europaea* présentent localement des coefficients d'abondance-dominance élevés. Ces espèces occupent principalement les secteurs soumis à des conditions édaphiques plus contraignantes, notamment une salinité plus importante. À l'inverse, des espèces telles que *Juncus acutus*, *Limonium delicatulum* et *Spergularia marina* présentent généralement un recouvrement plus faible et se rencontrent davantage dans les secteurs de transition et de périphérie.

La richesse spécifique varie également entre les stations, avec des valeurs comprises entre 5 et 20 espèces par relevé et une moyenne de 9,67 espèces. Cette variation traduit l'existence d'une mosaïque de microhabitats au sein de la sebkha. Les stations soumises aux contraintes édaphiques les plus importantes présentent généralement une richesse plus faible et une plus forte représentation des espèces halophytes, alors que les stations périphériques, caractérisées par des conditions moins contraignantes, accueillent une flore plus diversifiée comprenant également des espèces communes et rudérales. La composition floristique observée semble ainsi résulter de l'action combinée des gradients de salinité, d'humidité et de texture du sol, auxquels peuvent s'ajouter les perturbations liées aux activités humaines, notamment le pâturage et le piétinement.

Dans l'ensemble, la sebkha de Mouilha apparaît comme un écosystème présentant une mosaïque de conditions édaphiques et floristiques, favorisant la coexistence d'espèces halophytes spécialisées et d'espèces plus largement répandues dans les milieux ouverts. Les résultats obtenus soulignent ainsi le rôle important des caractéristiques du sol dans la structuration de la végétation et mettent en évidence la sensibilité de cet écosystème aux variations des conditions environnementales et aux perturbations anthropiques.

La conservation de ce milieu apparaît donc importante pour préserver sa diversité floristique et les espèces adaptées aux conditions salines qui le caractérisent. Dans cette perspective, un suivi régulier de la végétation et des propriétés physico-chimiques des sols permettrait de mieux suivre l'évolution de la sebkha. Des investigations complémentaires, notamment un suivi saisonnier de la végétation, l'étude de la banque de graines et une cartographie plus fine des gradients édaphiques et floristiques, pourraient également contribuer à approfondir la compréhension de la dynamique de cet écosystème et à accompagner sa gestion durable.

Références bibliographiques

- ✓ Abdel Razek, M. M. M., Moussa, A. Y., El-Shanawany, M. A., & Singab, A. N. B. (2020). A new phenolic alkaloid from *Halocnemum strobilaceum* endophytes: Antimicrobial, antioxidant and biofilm inhibitory activities. *Chemistry & Biodiversity*, 17(10), e2000496. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202000496>
- ✓ Aslam, R., Bostan, N., Nabgha-e-Amen, M., Maria, M., & Safdar, W. (2011). A critical review on halophytes: Salt tolerant plants. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(33), 7108–7118. <https://doi.org/10.5897/JMPRX11.009>
- ✓ Bahi, K., Miara, M. D., & Hadjadj-Aoul, S. (2020). Approche diachronique de la flore des bassins fermés halomorphes de la région d'Oran (N-O Algérie). *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 89, 147–163. <https://doi.org/10.25518/0037-9565.9763>
- ✓ Bekkouche, A., Benabdelmoumene, F., & Benabadji, N. (2024). Study of the soil-vegetation relationships of some chamaephytes in the southern landscape of Tlemcen (Oranie, Western Algeria). *Revista Electrónica de Veterinaria*, 25(1), 1412–1418. <https://doi.org/10.69980/redvet.v25i1.889>
- ✓ Bellaredj, A. E. M. (2016). Les faciès gypso-salins dans la région d'Oran et leurs conséquences sur les ressources. *Journal of Applied Biosciences*, 104, 9976–9983. <https://doi.org/10.4314/jab.v104i1.10>
- ✓ Binet, P. (1978). Caractéristiques physiologiques liées à l'halophilie et à la résistance aux sels. *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, 125(3–4), 73–93. <https://doi.org/10.1080/01811789.1978.10826348>
- ✓ Bouabdallah, E.-H. (1992). *La végétation steppique sur sols salés des Hautes-Plaines sud-algéroises : Composition, structure et production* [Thèse de doctorat]. Université Paris-Sud.
- ✓ Boualla, N., Adjdir, M., Benziane, A., & Bendraoua, A. (2019). Estimating generalized of global impacts to water quality on soil characteristics in basin of the Great Sebkh of Oran. *Applied Water Science*, 9, 4. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0861-0>
- ✓ Bousba, H., Marmi, R., Chabour, N., La Licata, M., De Amicis, M., & Bosino, A. (2024). Assessment of geomorphological landforms and features in the Sebkhas region of the Boulhilet Plain, north-eastern Algeria. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 47(2), 349–364. <https://doi.org/10.4454/85jg6bn4>
- ✓ Braun-Blanquet, J. (1952). *Les groupements végétaux de la France méditerranéenne*. Montpellier: Centre National de la Recherche Scientifique.

- ✓ Certain, C., Della Patrona, L., Gunkel-Grillon, P., Léopold, A., Soudant, P., & Le Grand, F. (2021). Effect of salinity and nitrogen form in irrigation water on growth, antioxidants and fatty acids profiles in halophytes *Salsola australis*, *Suaeda maritima*, and *Enchylaena tomentosa* for a perspective of biosaline agriculture. *Agronomy*, 11(3), 449. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030449>
- ✓ Chamekh, R., Deniel, F., Donot, C., Jany, J.-L., Nodet, P., & Belabid, L. (2019). Isolation, identification and enzymatic activity of halotolerant and halophilic fungi from the Great Sebkhha of Oran in Northwestern of Algeria. *Mycobiology*, 47(2), 230–241. <https://doi.org/10.1080/12298093.2019.1623979>
- ✓ Cheeseman, J. M. (2015). The evolution of halophytes, glycophytes and crops, and its implications for food security under saline conditions. *New Phytologist*, 206(2), 557–570. <https://doi.org/10.1111/nph.13217>
- ✓ Chenchouni, H. (2017). Edaphic factors controlling the distribution of inland halophytes in an ephemeral salt lake “Sabkha ecosystem” at North African semi-arid lands. *Science of the Total Environment*, 575, 660–671. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.071>
- ✓ Condom, N. (2000). *Analyse et modélisation couplée des processus hydro-géochimiques de la salinisation des sols : Application aux sols rizicoles irrigués de l'Office du Niger (Mali)* [Thèse de doctorat].
- ✓ Corwin, D. L. (2021). Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. *European Journal of Soil Science*, 72(2), 842–856. <https://doi.org/10.1111/ejss.13010>
- ✓ Dítě, D., Šuvada, R., Tóth, T., & Dítě, Z. (2023). Inventory of the halophytes in inland central Europe. *Preslia*, 95, 215–240. <https://doi.org/10.23855/preslia.2023.215>
- ✓ Flowers, T. J., & Colmer, T. D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*, 179(4), 945–963. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x>
- ✓ Fried, G. (2015). *Atriplex halimus* L. (Amaranthaceae). *Le Journal de Botanique*, 72, 69–71. <https://doi.org/10.3406/jobot.2015.1376>
- ✓ Gaussen, H., Leroy, J.-F., & Ozenda, P. (1982). *Précis de botanique II : Végétaux supérieurs*. Paris: Masson.
- ✓ Ghezlaoui, B. E., Benabadji, N., Benmansour, D., & Merzouk, A. (2011). Analyse des peuplements végétaux halophytes dans le Chott El-Gharbi (Oranie-Algérie). *Acta Botanica Malacitana*, 36(1), 113–124. <https://doi.org/10.24310/abm.v36i1.2782>
- ✓ Ghezlaoui, S.-M. B. (2018). Ecological characterization and phylogeny of halophilous plant communities: Example of southern Spain and northern Algeria. *Agrobiologia*, 8(2), 1145–1154.

- ✓ Grünberger, O. (2015). *Dynamiques salines des sols des milieux arides et semi-arides* [Habilitation à diriger des recherches]. Institut de Recherche pour le Développement.
- ✓ Guerrero Maldonado, N., López, M. J., & Caudullo, G. (2016). *Tamarix*—Tamarisks in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. In J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, & A. Mauri (Eds.), *European Atlas of Forest Tree Species*. Publications Office of the European Union.
- ✓ Guilló, A., Alonso, M. Á., Lendínez, M. L., Salazar, C., & Juan, A. (2014). Taxonomical identity of *Sarcocornia fruticosa* and *S. hispanica* in the Iberian Peninsula. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 71(2), e011. <https://doi.org/10.3989/ajbm.2338>
- ✓ Guitton, H. (2023). *Salicornia pruinosa* (Fuente, Rufo & Sánchez Mata 2013) Piirainen & G. Kadereit 2017, une salicorne vivace récemment décrite et présente sur le littoral atlantique (France). *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, 54, 322–329.
- ✓ Hassaine, C., Aboura, R., Merzouk, A., & Benmansour, D. (2014). Study of halophytes dispersion in the North-West region of Algeria. *Open Journal of Ecology*, 4(10), 628–640. <https://doi.org/10.4236/oje.2014.410053>
- ✓ Handoussa, H., AbdAllah, W., & AbdelMohsen, M. (2019). UPLC–ESI-PDA-MSn profiling of phenolics involved in biological activities of the medicinal plant *Halocnemum strobilaceum* (Pall.). *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 9(1), 106–113.
- ✓ Hassan, N. E. (2024). Salinity stress in plants: Growth, photosynthesis and adaptation review. *GSC Advanced Research and Reviews*, 20(2), 231–243. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2024.20.2.0304>
- ✓ Khelfaoui, M. E. A., Lenchi, N., Kebbouche-Gana, S., Gana, M. L., Medhkour, H., Grine, G., Khemili-Talbi, S., & Akmoussi-Toumi, S. (2022). Extremely halophilic archaea from Algerian salt lakes: Isolation, phylogenetic identification and bioprospection of hydrolytic enzymes. *Applied Ecology and Environmental Research*, 20(4), 3099–3116. https://doi.org/10.15666/aeer/2004_30993116
- ✓ Lombardi, T., Bedini, S., & Tosti, G. (2020). Seed germination strategies of Mediterranean halophytes under saline condition. In *Plant Responses to Abiotic Stress*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17854-3_119-1
- ✓ Migdal, C., & Serres, M. (2011). Espèces réactives de l’oxygène et stress oxydant. *Médecine Sciences*, 27(4), 405–412. <https://doi.org/10.1051/medsci/2011274017>
- ✓ Mohammed Hassan, B., Al-Mamoori, S. O. H., & Naji, N. M. (2020). Halophytes: What are their defines, important, and their strategies to be live in saline habitats? (A review). *Journal of University of Babylon for Pure and Applied Sciences*, 28(3), 173–181.

- ✓ Nasernakhaei, F., & Zahraei, M. (2021). *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) M.Bieb.: A review of its botany, phytochemistry, pharmacology and ethnobotany. *Journal of Medicinal Plants*, 20(80), 1–12. <https://doi.org/10.52547/jmp.20.80.1>
- ✓ Dassanayake, M., & Larkin, J. C. (2017). Making plants break a sweat: The structure, function, and evolution of plant salt glands. *Frontiers in Plant Science*, 8, 406. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00406>
- ✓ Nedjimi, B. (2012). Seasonal variation in productivity, water relations and ion contents of *Atriplex halimus* spp. *schweinfurthii* grown in Chott Zehrez wetland, Algeria. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11(1), 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2011.08.002>
- ✓ Nouri, H., Chavoshi Borujeni, S., Nirola, R., Hassanli, A., Beecham, S., Alaghmand, S., Saint, C., & Mulcahy, D. (2017). Application of green remediation on soil salinity treatment: A review on halophytoremediation. *Process Safety and Environmental Protection*, 107, 94–107. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.01.021>
- ✓ Omami, E. N. (2005). *Effects of salinity stress on growth, yield and physiological responses of amaranth* [Doctoral thesis]. University of Pretoria.
- ✓ Quézel, P., & Santa, S. (1962–1963). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique.
- ✓ Quéré, E. (2010). Vingt ans de suivi et de conservation du *Limonium humile* Miller en rade de Brest. *E.R.I.C.A.*, 23, 71–90.
- ✓ Raunkiaer, C. (1934). *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography: Being the Collected Papers of C. Raunkiaer*. Oxford: Clarendon Press.
- ✓ Samaha, G. M., Sayed, L. M., & Tawfik, M. M. (2024). Agro-physiological and genetic characterization of stilbene-producing plants. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 56(1), 76–88. <https://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.1.7>
- ✓ Shepard, C. C., Crain, C. M., & Beck, M. W. (2011). The protective role of coastal marshes: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, 6(11), e27374. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027374>
- ✓ Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(2), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>
- ✓ Shukla, M., Vineeth, T. V., Chichmalatpure, A. R., & Vibhute, S. D. (2023). Halophytes: Classification and potential uses. *Just Agriculture*, 3(8), 215–220.

- ✓ Sparfel, L., Fichaut, B., & Suanez, S. (2005). Progression de la Spartine (*Spartina alterniflora* Loisel) en rade de Brest (Finistère) entre 1952 et 2004 : De la mesure à la réponse gestionnaire. *Noroi*, 196, 109–123. <https://doi.org/10.4000/noroi.438>
- ✓ Luu, D. T. (2020). Comment les plantes supportent-elles un régime salé ? *Encyclopédie de l'Environnement*.
- ✓ United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. (2011). *National Agronomy Manual: Part 508—Soils* (4th ed.). U.S. Department of Agriculture.
- ✓ Yerou, H., Belhadj Slimen, I., Belguerbi, B., Bouyahia, H., & Najar, T. (2025). Évaluation de la composition botanique, de la productivité et de la valeur nutritionnelle des espèces halophytes (*Atriplex halimus* L. et *Salicornia fruticosa* L.) dans les terres marginales salines du nord-ouest algérien. *Livestock Research for Rural Development*, 37(2).
- ✓ Younsi, S. E., & Bouziane, Z. (2023). Plant diversity in Mediterranean coastal dune systems subjected to anthropogenic disturbances. *Biodiversity: Research and Conservation*, 72, 25–38. <https://doi.org/10.14746/biorc.2023.72.4>
- ✓ Zhang, N., Liang, H., Zhang, Y., Sun, C., Chen, Y., Wang, L., Xia, J., & Gao, F. (2024). Effects of soil type and groundwater depth on spatial differentiation of typical salt marsh plant communities in the Yellow River Delta. *Biodiversity Science*, 32(2), 23370. <https://doi.org/10.17520/biods.2023370>
- ✓ Zouaoui Ahmed, Z., Zatimi, I., & Snoussi, S. A. (2019). Évaluation de l'effet de deux sels nocifs (NaCl et Na₂SO₄) sur quelques paramètres morpho-physiologiques de l'aubergine cultivée en hors sol. *Agrobiologia*, 9(1), 1405–1414.