



UNIVERSITÉ KASDI MERBAH – OUARGLA –



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE, DE LA VIE ET SCIENCES DE LA
TERRE ET DE L'UNIVERS

DÉPARTEMENT DES SCIENCES
DE LA NATURE ET DE LA VIE

LABORATOIRE DE PROTECTION
DES ÉCOSYSTÈMES EN ZONES
ARIDES ET SEMI-ARIDES

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Biologie

Option : Écologie saharienne et Environnement

Par Mustapha YUCEFI

Thème

***Étude de l'impact de l'hydro-halomorphie des sols
sur la biogéographie des hydro-halophytes
dans la cuvette de Ouargla***

Soutenu publiquement le : / / 2011

Devant le jury

M ^{me} . OULD EL HADJ-KHELIL Aminata	MCA	Univ. de Ouargla	Présidente
Mr. OULD EL HADJ Mohamed Didi	Pr.	Univ. de Ouargla	Encadreur
Mr. DADDI BOUHOUN Mustapha	MCB	Univ. de Ouargla	Co-Encadreur
Mr. CHEHMA Abdelmadjid	Pr.	Univ. de Ouargla	Examineur
Mr. HAMDI-AISSA Belhadj	Pr.	Univ. de Ouargla	Examineur
Mr. SAKER Mohamed Lakhdar	MCA	Univ. de Ouargla	Examineur

Remerciements

Ce projet a nécessité l'apprentissage et l'utilisation de connaissances diverses. Ma reconnaissance s'adresse aux personnes qui ont rendu la réalisation de ce mémoire possible, et bien plus encore à ceux qui l'ont rendu agréable.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon encadreur Monsieur OULD EL HADJ Mohamed Didi Professeur au département des sciences de la nature et de la vie à l'université KASDI MERBAH-Ouargla et à mon co-encadreur Monsieur DADDI BOUHOUN Mustapha, Maître de conférences B au département des sciences de la terres et de l'univers à l'université KASDI MERBAH-Ouargla, pour avoir dirigé mon travail avec beaucoup de disponibilité et d'intérêt. Je vous suis reconnaissant pour votre soutien constant, tout au long de la période de réalisation de ce travail. Je vous suis reconnaissant pour vos conseils, et vos multiples corrections et critiques qui ont permis à ce travail de prendre forme.

Je tiens également à exprimer mes sincères remerciements et respects à tous mes professeurs à l'Université KASDI MERBAH-Ouargla pour leurs efforts, leur soutien et leur aide durant tout mon parcours d'étudiant, et spécialement aux membres du jury : Madame OULD EL HADJ-KHELIL Aminata Maître de conférences A au département des sciences de la nature et de la vie, Monsieur CHEHMA Abdelmadjid Professeur au département des sciences de la nature et de la vie, Monsieur HAMDI -AISSA Belhadj Professeur au département des sciences de la terre et de l'univers et Monsieur SAKER Mohamed Lakhdar Maître de conférences A au département des sciences de la terre et de l'univers, pour m'avoir fait l'honneur d'être examinateurs et pour leurs remarques et leurs contributions à ce mémoire.

Je désire également exprimer ma profonde gratitude à Monsieur ZERARKA Abdelkader Maître de conférences A au département des sciences agronomiques et vétérinaires à l'Université IBN KHALDOUN-Tiaret pour sa disponibilité, et j'aimerais aussi remercier très amicalement Monsieur ABDELKRIM Hacène Professeur à l'INA-Alger pour m'avoir orienté. Ils ont mis à ma disposition des moyens nécessaires à cette étude et notamment certaines analyses pédologiques qui m'ont été d'un précieux secours.

Enfin un remerciement spécial s'adresse à toute ma famille pour leur soutien moral. Principalement à mes parents pour leur constant appui et stimulation et pour la patience qu'ils m'ont apportée tout au long de ma formation.

Mes remerciements s'adressent aussi à tous mes amis...

Etude de l'impact de l'hydro-halomorphie des sols sur la biogéographie des hydro-halophytes dans la cuvette de Ouargla

Résumé

L'étude de l'impact de l'hydromorphie et l'halomorphie des sols sur la distribution des espèces hydro-halophiles dans les habitats hydrosalins de la cuvette d'Ouargla, révèle que ces formations végétales semblent très significativement structurées en fonction du degré de l'hydro-halomorphie des sols. Ces formations varient au niveau de leur composition floristique, leur recouvrement, leur fréquence et leur densité aussi largement qu'en leur distribution. Les résultats laissent apparaître que les formations hydro-halophiles des sites d'étude, sont soumises à des niveaux d'hydromorphie, d'halomorphie et d'alcalinité variant le plus souvent en fonction des fluctuations du niveau des eaux phréatiques, qui sont en général excessivement salées, alcalines à très alcalines et de nature chimique chlorurée sodique. Les sols des stations étudiées, montrent des profils salins dont la salinité prend généralement une allure ascendante à travers des couches de terres à textures sableuses souvent dominées par les fractions fines. Ces sols sont alcalins et montrent une allure descendante du niveau de l'hydro-halomorphie tout en s'éloignant des centres des sebkhas ou du lac, ces abaissements sont dus nettement aux variations du niveau des eaux phréatiques qui également se rabattent en allant du centre vers l'extrémité. Bien que pauvres sur le plan diversité et richesse floristique, les formations hydro-halophiles de la cuvette d'Ouargla, sont une mosaïque de dix espèces végétales à savoir, *A. littoralis*, *J. maritimus* et *P. communis* qui montrent une large distribution et une forte abondance le long des gradients d'hydro-halomorphie suivis. *S. maritimus* s'installe dans les rives du lac salé et montre une abondance significativement corrélée à la remontée des eaux phréatique et donc à l'élévation de l'hydromorphie du sol. *H. strobilaceum* se rencontre avec une abondance significativement corrélée à l'élévation de l'hydromorphie et hautement corrélée à halomorphie du sol, et forme une ceinture végétale monospécifique aux abords immédiats des sebkhas. *T. gallica* a une abondance très significativement corrélée avec le rabattement de la nappe phréatique, et *S. fruticosa* qui marque une forte abondance sur des substrats très halomorphes à couverture végétale faible, se trouvent dans des secteurs hydromorphes mais rarement inondés. *L. delicatulum* recensé avec une faible abondance aux alentours de la sebkha. L'abondance de *C. dactylon* est significativement corrélée avec le rabattement de la nappe phréatique, et s'installe dans des secteurs moins hydro-halomorphe généralement répartis aux derniers abords avant *Z. album* qui s'installe dans des secteurs halomorphes mais à hydromorphie faible. L'abondance de *Z. album*, est très hautement corrélée avec le rabattement des eaux phréatiques. Elle forme une dernière ceinture végétale monospécifique entourant les habitats hydrosalins dans la cuvette.

Mots clés: habitats, hydro-halophytes, hydro-halomorphie, distribution, Ouargla.

دراسة تأثير رطوبة و ملوحة التربة في توزيع الأنواع النباتية المحبة للماء و الملح في الأوساط الرطبة المالحة في حوض ورقلة

ملخص

إن دراسة تأثير رطوبة و ملوحة التربة في توزيع الأنواع النباتية المحبة للماء و الملح في الأوساط الرطبة المالحة في حوض ورقلة تظهر أن بنية هذه التشكيلات النباتية ترتبط ارتباطا وثيقا بدرجة رطوبة و ملوحة التربة. هذه التشكيلات النباتية تتغير في تركيبها النوعية، غطائها النباتي، تكرارها وكثافتها تغيرا أعلى من تغيرها على مستوى توزيعها. النتائج تظهر بأن التشكيلات النباتية المحبة للماء و الملح في المواقع المدروسة تخضع لمستويات رطوبة، ملوحة وقاعدية كلها متغيرة غالبا وفق تغير مستوى المياه الجوفية التي بصفة عامة، هي ذات ملوحة عالية و قاعدية مرتفعة إلى حد مرتفعة و ذات طبيعة كيميائية يغلب عليها عنصري الكلور و الصوديوم. التربة في المواقع المدروسة تظهر مقاطع ذات ملوحة متزايدة عبر طبقات بطبيعة رملية تغلب فيها الفئات الدقيقة. التربة في المواقع المدروسة هي قاعدية و تظهر تناقضا في درجة رطوبتها و ملوحتها كلما إبتعدنا من مركز السبخة أو البحيرة، هذه الإنخفاضات هي بوضوح مرتبطة بتغير مستويات المياه الجوفية التي بدورها تنخفض من المركز إتجاهها نحو الخارج. مع أنها تفتقر للتنوع و الغزارة النباتية، فإن التشكيلات النباتية المحبة للماء و الملح في حوض ورقلة هي تكوينة من عشرة أنواع نباتية و هي *P. communis* و *J. maritimus* ; *A. littoralis* التي تظهر توزعا واسعا و تواجدا كبيرا على طول سلم تغيرات الرطوبة و الملوحة. *S. maritimus* يتموقع في ضفة البحيرة المالحة و تواجده مرتبط بوثوق بإرتفاع مستوى المياه الجوفية و بذلك إرتفاع رطوبة التربة. تواجد *H. strobilaceum* يرتبط بوثوق بإرتفاع رطوبة التربة و ملوحتها وهو يشكل حزام نباتي أحادي النوع مباشرة على حدود السبخات. تواجده مرتبط جدا بإنخفاض مستوى المياه الجوفية و *S. fruticosa* الذي أظهر تواجدا كبيرا في أماكن جد مالحة وذات غطاء نباتي ضئيل، هذان النوعان يتواجدان في مواقع رطبة و لكن نادرا ما تكون مغمورة. و *L. delicatulum* الذي وجد بنسبة ضئيلة على محيط السبخة. *C. dactylon* أظهر تواجدا مرتبطا بإنخفاض مستوى المياه الجوفية يتوزع في مواقع أقل رطوبة و ملوحة تتواجد في الحدود الأخيرة قبل *Z. album* الذي يتواجد في مواقع مالحة و لكن ذات رطوبة منخفضة. هذا الأخير يرتبط ارتباطا كبيرا بإنخفاض مستوى المياه الجوفية و يشكل حزاما نباتيا أحادي النوع أخيرا محيط بالأوساط الرطبة المالحة لحوض ورقلة.

الكلمات الدالة: أوساط، نباتات محبة للماء و الملح، رطوبة و ملوحة، توزع، ورقلة.

INTRODUCTION

En Algérie, la zone aride représente près de 95% du territoire national dont 80% dans le domaine hyperaride (HALITIM, 1988). A l'aube du 20^e siècle, ces régions ont connu un déséquilibre dû aux aléas climatiques, à des pressions anthropiques, et surtout aux problèmes de salinisation des sols (LE HOUEROU, 1968). Dans ces environnements, la salinité est favorisée par les irrégularités du climat méditerranéen, les influences de l'aridité saharienne et par la remontée de la nappe aquifère (SERVANT, 1970), et notamment l'accumulation des sels due à des taux d'évaporation élevés qui dépassent fortement les précipitations au point que l'eau remonte jusqu'à la surface, plutôt que lixiviant ces sels vers le bas (DAY et LUDEKE, 1993).

En termes d'héritage géologique, la plate-forme saharienne, d'une manière générale, et la région d'Oued M'Ya (Sahara septentrional Est algérien) en particulier, ont connu à plusieurs reprises la formation d'évaporites, au Trias et au Sénonien. Au cours des divers épisodes tectoniques, les formations ont imprégné de sels et de gypse les terrains et ont provoqué une diffusion importante de sel. Au Plio-Quaternaire, les dépressions fermées ont vu s'accumuler des dépôts contenant d'importantes concentrations de sel gemme provenant du lessivage des niveaux salifères plus anciens (GAUCHER et BURDIN, 1974).

Le cadre naturel dans lequel se situe le système endoréique de la cuvette d'Ouargla, est idéal à l'accumulation des eaux, et sous l'influence des conditions climatiques arides et d'une nappe aquifère très salée, le milieu naturel évolue rapidement vers des conditions de salinité et d'hydromorphie excessives, mettant en péril la qualité des sols et de l'environnement (ONA, 2003). Le paysage pédologique de la cuvette d'Ouargla est alors dominé principalement par les caractères de l'hydro-halomorphie, et la manifestation saline la plus visible est celle de la sebkha de sorte que l'espace Sebkha-Chott occupe environ 500 ha dans la répartition de l'occupation du sol dans la cuvette (ONA, 2003).

Dans le cadre de la connaissance des régions arides, plusieurs études phytoécologiques et phytosociologiques ont été réalisées, parmi les plus importantes celles de DJEBAILI (1970, 1978 et 1975); LE HOUEROU (1975); ABDELKRIM (1984); AIDOUD (1984) qui traitent des relations entre la végétation et les caractéristiques du milieu naturel.

La répartition des phytocénoses s'avère étroitement liée à l'ensemble des caractères physico-chimiques du sol, les facteurs édaphiques paraissant jouer un rôle déterminant dans l'implantation de certains types de communautés végétales (LACOSTE et SALANON, 2001).

Les sols salés sont impropres à la croissance de la plupart des plantes et seules, persistent les espèces susceptibles de supporter la salure qui, étant alors débarrassées de la concurrence des autres plantes, deviennent dominantes. La famille des Chénopodiacées fournit le contingent majoritaire dans ces types de peuplements (OZENDA, 1982). Certaines plantes telle que les halophytes peuvent croître dans des milieux salins comme les déserts, les prés salés, les chotts et les zones littorales. Elles ont acquis par évolution des mécanismes permettant de supporter des concentrations élevées en sels (RAVEN *et al.*, 2003). L'espace Sebkh-Chott dans la cuvette d'Ouargla, renferme une topo-séquence de groupements végétaux traduisant, le changement de végétation lié aux modifications écologiques notamment édaphiques induites le long d'un gradient d'hydro-halomorphie.

La présente étude se propose de chercher des relations sol-végétation, à travers l'étude de l'impact de l'hydro-halomorphie sur la biogéographie des hydro-halophytes dans la cuvette d'Ouargla. Elle se veut être d'une part une contribution à la connaissance des sols hydro-halomorphes en zones arides, et d'autre part, à travers une étude le long d'un gradient d'hydro-halomorphie, tenter de montrer l'impact de l'hydro-halomorphie sur la composition floristique de chaque habitat.

Le présent mémoire est structuré en quatre chapitres. Le premier chapitre est une étude bibliographique se rapportant sur des généralités sur les plantes halophytes et hydrophytes en relation avec leur biotope. Il est consacré à une étude bibliographique sur la salinité des sols, les halophytes et leurs mécanismes adaptatifs et les hydrophytes et les zones humides. Un deuxième chapitre consacré à une présentation générale de la zone d'étude et des caractéristiques du milieu naturel. Dans le troisième chapitre, est décrite la méthodologie du travail. Le quatrième chapitre regroupe l'ensemble des résultats qui seront suivis d'une discussion. Une conclusion générale qui est un ensemble de réflexions achève ce travail.

CHAPITRE 1- Généralités sur les plantes halophytes et hydrophytes en relation avec leur biotope

1.- Salinité des sols

La salinité est l'un des facteurs physiques dominants structurant, les écosystèmes terrestres et aquatiques, avec surabondance ou manque créant un stress physiologique (PITMAN et LAUCHLI, 2002). Certains organismes ont évolué des mécanismes adaptatifs pour faire face aux stress qui peuvent affecter les modèles de végétation successoraux, les interactions compétitives, la diversité et la distribution des espèces (BERTNESS et HACKER, 1994).

La salinité de n'importe quel environnement donné est commandée par des processus physiques et biologiques et varie sur des échelles spatiotemporelles (PITMAN et LAUCHLI, 2002).

1.1.- Définition de la salinité et des sols salins

La salinité est la présence de concentrations excessives de sels solubles dans le sol ou dans l'eau d'irrigation (MASS et NIEMAN, 1978). Des auteurs s'accordent pour considérer qu'un sol ou une eau d'irrigation ou encore une solution nutritive, est salée lorsque les concentrations en Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} sous formes de chlorures, carbonates ou bicarbonates ou sulfates, sont présentes en concentrations anormalement élevées (BERNSTEN, 1964; CHAPMAN, 1975; DONEEN, 1975; PECK, 1975 et SH AINBERG, 1975 cités par ADI, 2001). D'après POLJAKOFF et *al.*, 1975 cité par BENABI (2008), le terme salinité semble indiquer la prédominance de NaCl.

L'expression de sol salin désigne les sols dont la formation est dominée par l'action des sels solubles que, ceux-ci soient encore dans le sol ou aient été éliminés. C'est un terme compréhensif qui englobe les sols salés ou Solontchaks, les Solonetz et les Solods (DURAND, 1958).

Les sols salins sont naturellement présents sous tous les climats à tous les continents. Ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eaux marines) (GIRARD et *al.*, 2005).

Les processus de formation des sols salins sont associés à la redistribution des sels dans les pédopaysages par divers agents, l'eau mobilisant les sels à l'état dissous, le vent à l'état dissous ou cristallisé. L'accumulation des cristaux de sels est favorisée sous le

climat où les processus évaporatoires dominent. Les grandes dépressions endoréiques (chotts, sebkhas, etc.) ou les bordures maritimes (marais côtiers, vasières) forment des sites naturels (GIRARD et *al.*, 2005).

Les sols sont dits salins lorsqu'ils contiennent une certaine quantité d'éléments minéraux, sous forme dissoute, échangeable ou précipitée (sali sols, sodisols, sulfatosols, lithosols, etc.). Ils comprennent plusieurs types de sols qui se sont formés à partir de trois processus physicochimiques: la salinisation, la sodisation et l'alcalisation. Les deux derniers processus, souvent concomitants, sont regroupés sous le vocable d'alcalinisation (GIRARD et *al.*, 2005).

Génétiquement, les sols sont constitués par deux unités très différentes, les salisols, dans lesquels les sels de sodium, de calcium ou de magnésium sont sous la forme soluble de sels simples ou complexes, les sodisols à complexe sodique dans lesquels les cations, essentiellement le sodium sont sous la forme échangeable. Les sels solubles étant très peu abondants (BOUTEYRE et LOYER, 1992).

1.2.- Origine des sols salins

GAUCHER et BURDIN (1974) affirment que la salure avec laquelle le pédologue se trouve confronté peut avoir trois origines distinctes :

- Couches sédimentaires salifères : salure d'origine continentale ou géologique.
- Certaines manifestations généralement posthumes de volcanisme: salure d'origine volcanique.
- Contact de la mer: salure d'origine marine actuelle ou récente ou salinisation des lagunes littorales.

1.1.- Mesure de la salinité

La salinité globale du sol peut être exprimée de différentes manières, soit :

- par la somme des ions de l'extrait aqueux;
- en gramme par litre de NaCl;
- en pour-cent de sel dans le sol;
- en terme de conductivité électrique (CE) déterminée sur l'extrait de pâte saturée à 25°C (RICHARD et *al.*, 1954 cité par ADI, 2001); l'unité d'expression est le millimho (mmhos/cm) ou le millisiemens (ms).

Dans les sols salins, les sels solubles se trouvent soit à l'état cristallisé, soit sous forme dissoute. Dans le premier cas, il s'agit de cristaux ou efflorescences de sels qui se forment à la surface des sols halomorphes ou bien se développent en profondeur du profil

et qui sont des sels peu solubles tels que le gypse; dans le second cas, il s'agit de cations ou d'anions présents dans la solution du sol, laquelle constitue la dissolution aqueuse renfermant divers éléments provenant des phénomènes de solubilisation directs ou indirects quand le sol se trouve imbibé par une certaine quantité d'eau. Cette solution du sol présente une composition cationique en équilibre avec les cations dits échangeables retenus par le complexe absorbant (GAUCHER et BURDIN, 1974). Deux approches méthodologiques peuvent être utilisées pour extraire les sels solubles (RICHARD et *al.*, 1954 cité par ADI, 2001):

- Par saturation en eau du sol, appelée encore l'extrait de pâte saturée: C'est une méthode qui consiste à mélanger un échantillon de sol à une quantité d'eau qui est proportionnelle à sa capacité de rétention. Cette méthode se rapproche des solutions salines réellement existantes dans le sol. La confection de la pâte saturée est relativement simple mais nécessite au moins 300g de terre fine afin d'obtenir au moins 50 cm³ de solution d'extraction. Cette méthode se rapproche le plus des conditions naturelles et reflète le mieux la composition ionique de la solution du sol, elle est la plus fréquemment utilisée.
- Par un mélange à forte dilution (une partie de terre pour 2,5 ou 10 parties d'eau pondérale), le rapport sol-eau restant constant quelque soit la nature du sol. Dans cette seconde méthode, le souci n'est plus de se rapprocher des solutions existantes dans le sol en place, mais d'extraire le maximum de sels contenus dans l'échantillon.

1.3.- Echelle de la salinité

1.3.1.- Conductivité électrique

United States Salinity Laboratory de Riverside a mis en place une échelle, dite agronomique, exprimée en terme de conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée qui varie de 0 à 16 mmhos/cm (RICHARD et *al.*, 1954 cité par ADI, 2001), repartit comme suit:

- 0 – 2** : pas de salinité;
- 2 – 4** : salinité très faible;
- 4 – 8** : salinité modérée (de nombreuses cultures sont affectées, par contre les plantes résistantes se développent convenablement) ;
- 8 – 16** : sol salé (seules les plantes particulièrement résistantes réussissent à croître) ;
- > 16** : très fortement salin (seules les halophytes strictes réussissent à croître).

Une deuxième échelle a été mise en place par ce même laboratoire américain. Il s'agit d'une échelle de salinité en terme de conductivité électrique de l'extrait aqueux au 1/5 (Tab. 1).

Tableau 1. Echelle de la salinité pour l'extrait aqueux au 1/5

Classes	Catégories	Conductivité (mmhos/cm)
1	Faiblement salé	0,20 à 0,65
2	Moyennement salé	0,65 à 1,40
3	Salé	1,40 à 2,20
4	Fortement salé	2,20 à 3,75
5	Très fortement salé	3,75 à 6,00
6	Hyper salé	> 6

1.3.2.- pH du sol

Le pH du sol est une notion permettant de façon commode et précise de désigner la réaction du sol. Les sols halomorphes ont un pH supérieur à 7. Il augmente en corrélation avec le rapport $\text{Na}^+ / \text{C.E.C.}$ (DUCHAUFOR, 1977). Le pH est une expression logarithmique de l'acidité d'une solution. Il est mesuré par un pH mètre à électrode en verre, préalablement étalonnée à l'aide d'une solution tampon de pH connu sur des extraits aqueux au 1/5 de la solution du sol.

Les sols salins quand ils sont prédominés dans leur milieu par des acides forts et des bases fortes (sulfates, chlorures, nitrates de calcium, magnésium et sodium), le pH reste inférieur à 8.5 et le sol modérément alcalin. Par contre, quand les sels d'acide faible (carbonates) sont présents, le pH s'élève au dessus de 8.5 jusqu'à 10 (DUCHAUFOR, 1977).

Selon la classification de SOLTNER (1989), les sols sont classés en fonction du pH de l'extrait aqueux au 1/2,5 (Tab. 2).

Tableau 2 : Classification des sols selon le pH de l'extrait aqueux au 1/2.5 (SOLTNER, 1989)

pH	Classes
5 à 5,5	Très acide
5,6 à 5,9	Acide
6 à 6,5	Légèrement acide
6,6 à 7,2	Neutre
7,3 à 8	Alcalin
8	Très alcalin

1.4.- Typologie des sols salins

Il n'existe pas de terminologie ou de système de classification bien définie pour les sols salins et ceci est dû à l'existence de plusieurs classifications relevant d'écoles différentes. L'école soviétique et des pays de l'Est privilégient l'étude de la morphologie des profils (IVANOVA et ROSANOV, 1939 *in* ADI, 2001). L'école américaine se réfère principalement à l'étude des propriétés physico-chimiques et l'étude des profils est reléguée au second ordre (RICHARD *et al.*, 1954 *in* ADI, 2001; KELLY, 1957). L'école française préconise une classification des sols halomorphes mixte en ce sens qu'elle combine des critères morphologiques et physiques (type de développement du profil) et des critères chimiques (niveau de salinité). Toutefois DUCHAUFOR (1977) définit deux sous-classes:

- L'une, se caractérise par la présence de sels solubles dont la teneur élevée provoque une importante modification de la végétation. La conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée est au moins supérieure à 4 mmhos/cm à 25 °C.
- L'autre, se caractérise par la richesse du complexe absorbant, d'un des horizons, en ions, Na⁺, K⁺ (peut être Mg⁺⁺) susceptibles de provoquer la dispersion des argiles et l'apparition d'une structure massive, diffuse et d'une compacité élevée.

SERVANT (1975) a réalisé une synthèse sur les sols salins méditerranéens, qui combine à la fois les critères morphogénétiques et chimiques. Il a établi des critères de correspondance entre ces deux types de classifications ; du point de vue typologie, deux grandes catégories de sols salés sont distinguées Sols salsodiques à structure non dégradée et Sols salsodiques à structure dégradée .

Les sols salsodiques se différencient naturellement sous des climats plus ou moins arides, là où l'évaporation excède les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire. Ils sont, selon le degré de salure, soit nus, soit occupés par une végétation d'espèces adaptées dites halophytes (BOUTEYRE et LOYER, 1992).

1.4.1.- Sols salsodiques à structure non dégradée

Il s'agit de sols, de type solontchak, qui se forment souvent à partir d'une nappe phréatique salée et peu profonde d'origine naturelle ou anthropique. Ils sont riches en sels solubles et ne présentent pas d'horizons différenciés. Les solontchaks se différencient en trois catégories, en fonction de la garniture du complexe absorbant, Il s'agit des solontchaks typiques, des solontchaks à complexe sodique, et des solontchaks à texture sableuse.

1.4.1.1.- Solontchaks «typiques»: Solontchaks calci-magnésiques (Ca-Mg), définis uniquement par le caractère salé et renferment moins de 15% de Na sous forme échangeable.

1.4.1.2.- Solontchaks à complexe sodique : (Na-Mg) définis par la coexistence de caractères salés et sodiques et un pH inférieur à 8,5. Chacune de ces deux unités se subdivise en deux formes déterminées par le profil salin : les hyper-solontchaks à salinité ascendante et les crypto-solontchaks dans lesquels les sels s'accumulent plus en profondeur.

1.4.1.1.- Solontchaks à texture sableuse : Du fait de leur faible capacité d'échange (les mesures relatives aux ions échangeables ne sont pas interprétables), ils ne se définissent que par le caractère salé, sans précision de l'état du complexe absorbant.

1.4.2.- Sols salsodiques à structure dégradée

Il s'agit de sols de type : Solonetz, Solods.

1.4.2.1.- Solonetz :

Ce sont des sodisols lessivés, ils se caractérisent par :

- un pH élevé dans tout le profil;
- une accumulation d'argile provenant du lessivage des horizons superficiels;
- une répartition régulière de la matière organique dans tout le profil;
- une absence de sels solubles dans le profil;
- un complexe absorbant riche en Na^+ ou Mg^{++} , l'un ou l'autre de ces ions constitue plus de 20% de la capacité d'échange.

1.4.2.2.- Solods

Ce sont des sodisols dégradés, ils résultent des conditions encore plus humides et d'un lessivage accru provoquant la désaturation du complexe absorbant dans tous les horizons dont le pH est acide (mais Na^+ et Mg^{++} restent présents dans les horizons inférieurs) et les argiles sont déposés en profondeur.

1.5.- Typologie des formes de profils salins

SERVANT (1973 et 1975), définit quatre formes principales de profils salins désignés par les lettres A, B, C et D.

1.5.1.- Profil salin de type A

Il est caractérisé par une salinité augmentant de bas en haut, avec un maximum de

salinité dans les 20 premiers centimètres. On peut également trouver un second maximum de salinité apparaissant à plus d'un mètre de profondeur. Ce profil est typique des sols nus ou à faible recouvrement végétal. Les terrains correspondants ne sont pas soumis à des submersions. Le profil salin de type A est bien exprimé dans le cas de texture limoneuse ou limono-sableuse.

1.5.2.- Profil salin de type B

Le type B est caractérisé par un maximum de salinité bien différenciée qui apparaît dans la partie moyenne du profil à moins d'un mètre de profondeur. Ce type se observe en général sous pelouses et prairies des terrains salés maritimes ou continentaux.

1.5.3.- Profil salin de type D

Il est caractérisé par un maximum de salinité se trouvant dans la partie inférieure du profil. De tels profils salins sont observés dans les sols à croûte et encroûtement calcaires. Ce type de profil salin est qualifié descendant, il indique en général que le sol a subi une phase de lixiviation des sels solubles.

1.5.4.- Profil salin de type C

C'est une forme intermédiaire entre les types A et D ou B. Il possède un maximum de salinité dans les tranches de profondeur 0 – 5 cm ou 0 – 10 cm et un deuxième maximum situé à plus d'un mètre de profondeur. De tels profils salins sont observés dans les secteurs salés inondables, en dehors des périodes d'inondation.

2.- Halophytes

2.1.- Végétation halophile

Les sols salés sont impropres à la croissance de la plupart des plantes et seules persistent les espèces susceptibles de supporter la salure qui, étant alors débarrassées de la concurrence des autres plantes, deviennent dominantes. La famille des Chénopodiacées fournit le contingent majoritaire dans ce type de peuplements (OZENDA, 1982).

Certaines plantes telles que les halophytes peuvent croître dans des milieux salins comme les déserts, les prés salés et les zones littorales. Toutes ces plantes ont acquis par évolution, des mécanismes qui leur permettent de supporter des concentrations élevées en sodium et certaines d'entre elles semblent avoir besoin de sodium (RAVEN et *al.*, 2003).

2.2.- Définition des halophytes

Les halophytes, terme venant du grec « *halo* », c'est-à-dire sel, et « *phyton* » qui signifie plante. On les appelle halophytes ou les plantes halophiles (HOPHKINS, 2003). Les plantes halophiles ou les halophytes fréquentent les sols salés ou halomorphes qui sont chargés de chlorure de sodium (et d'autres sels) tels qu'on les rencontre au voisinage des côtes, et des régions imprégnées de sels en Afrique du nord ou en Asie (HELLER et *al.*, 2004). Les halophytes sont des plantes qui s'adaptent de diverses manières aux régimes élevés de sels (WASEL, 1972). Ce sont des plantes remarquables qui tolèrent des concentrations en sel tuant 99% des autres espèces. Cependant, bien que les halophytes aient été identifiés il y a des centaines d'années, leur définition demeure équivoque. La définition se base sur la capacité à « accomplir son cycle de vie dans une concentration en sel au moins de 200 mM de NaCl dans des conditions semblables à ceux qui pourraient être produites dans l'environnement normal » (FLOWERS et *al.*, 1986).

L'adoption d'une définition basée sur l'accomplissement du cycle de vie devrait permettre la séparation de ce qui pourrait s'appeler les halophytes naturelles qui tolèrent le sel mais ne vivent pas normalement en conditions salines (FLOWERS et *al.*, 1986).

On a suggéré d'autres classifications des halophytes qui sont basés sur les caractéristiques des habitats naturellement salins (WASEL, 1972) ou la composition chimique des plantes physio-types (ALBERT et *al.*, 2000), ou la capacité de sécréter des ions « halophytes excrétrices » (BRECKLE, 2002).

Les halophytes sont naturellement tolérantes au sel et poussent aussi bien, voire mieux dans un environnement salin qu'en conditions normales (LEVIGNERON, 1995). Selon HAMDY et LIETH (1999), une halophyte est une espèce pouvant se produire seulement dans des conditions naturellement salines. Elles accumulent les électrolytes dans leurs vacuoles, mais la concentration dans le cytoplasme et les organites est maintenue basse (LEVIGNERON, 1995). Elles sont largement distribuées parmi les familles des plantes à fleurs, un fait qui suggère une origine poly-phylogénique de tolérance au sel (FLOWERS, TROKE, et YEO, 1977).

Dans un aperçu étendu sur la distribution taxonomique des halophytes, ARONSON a trouvé des espèces montrant l'évidence claire de la tolérance au sel (Tab. 3) (HEYWOOD, 1978).

Parmi les Monocotylédones, les Poaceae contiennent plus de genres halophytes que n'importe quelle autre famille (45 genres, qui sont, cependant, seulement 7% de ceux dans la famille); 14% des genres, où environ 83 espèces chez les Cyperaceae sont

tolérantes au sel. Parmi les dicotylédones, les Chenopodiaceae ont la proportion la plus élevée de genres halophytes (44%). Avec environ 312 espèces halophytes c'est probablement la famille dans laquelle la tolérance au sel est la plus répandue et mieux étudiée; en particulier les genres importants sont *Atriplex*, *Salicornia*, et *Suaeda*.

Les données ont été prises d'une liste d'halophytes préparés par ARONSON. Les nombres de genres dans les familles ont été pris de HEYWOOD (1978). La liste contient 499 genres dont 129 familles.

Tableau 3. Quelques familles renfermant des genres halophytiques

Famille	Nombre de genres halophytes	Nombre d'espèces halophytes	Nombre de genres dans la famille	Pourcentage de genres halophytes
Poaceae	45	109	650	7
Chenopodiaceae	44	312	100	44
Asteraceae	34	53	1,100	3
Aizoaceae	21	48	143	15
Papilionaceae	19	35	700	3
Apiaceae	19	31	300	6
Euphorbiaceae	15	33	300	5
Brassicaceae	15	30	380	4
Cyperaceae	13	83	90	14
Arecaceae	13	22	212	6
Scrophulariaceae	13	21	220	6
Caryophyllaceae	9	16	80	11

2.3.- Catégories d'halophytes

ROBERT et DE FOUCAULT (1997) distinguent trois catégories d'halophytes : Halophytes submergées, Halophytes terrestres , et Aérohalophytes.

2.3.1.- Halophytes submergées

Le terme submergé désigne un organisme sessile qui se trouve entièrement recouvert sous un plan d'eau (RAMADE, 2002). Ces espèces enracinées à faible profondeur, développent leurs tiges feuillées dans l'eau de mer et constituent de véritables prairies sous marines (DE FOUCAULT, 1997).

2.3.2.- Halophytes terrestres

En principe, seules leurs parties souterraines sont en contact avec le sel. En fait, ces plantes supportent des immersions partielles ou totales, mais seulement temporaires. Les cas les mieux représentés sont les espèces des prés salés (DE FOUCAULT, 1997).

2.3.3.- Aérohalophytes

Les aérohalophytes sont des plantes halophiles dont seuls les organes aériens sont imprégnés de chlorure de sodium apporté par les embruns mais, l'appareil souterrain s'insinue dans un substrat très peu ou pas salé (DE FOUCAULT, 1997).

Les halophytes sont des plantes réfugiées sur des sols salés, où elles ne souffrent pas de la compétition avec les autres espèces intolérantes aux sels. Il faut cependant distinguer deux catégories physiologiques, Halophytes obligatoires et Halophytes facultatives :

- Halophytes obligatoires

Les halophytes obligatoires exigent des concentrations élevées en chlorure de sodium pour achever leur cycle de développement. Elles sont dites « halophytes strictes » comme *Suaeda macrocarpa* Moq. (Chenopodiacees), *Salicornia stricta* Dumort. (Chenopodiacees), *Salicornia patula* Duval-Jouve. (Chenopodiacees), etc. (DAJOZ, 1982).

- Halophytes facultatives

Les halophytes facultatives peuvent se développer en présence de sel, mais celui-ci n'est pas indispensable. Elles sont appelées ainsi les « halophytes tolérantes » telle que l'*Atriplex* (DAJOZ, 1982).

2.4.- Classification des halophytes

Selon le mécanisme d'adaptation des halophytes vis-à-vis de la salinité du sol, on distingue quatre groupes distincts: halophytes excrétrices, halophytes succulentes, halophytes cumulatives, halophytes exclusives.

2.4.1.- Halophytes excrétrices (facultatives)

Les halophytes excrétrices sont des plantes qui possèdent des glandes spécifiques au niveau des feuilles et des tiges tel que *Tamarix* sp, *Cressa* sp et *Limonium* sp (ZAHRAÏNE, 1995).

2.4.2.- Halophytes succulentes (vraies)

Les halophytes succulentes sont des plantes qui absorbent une grande quantité de la solution de sol et de l'eau d'où une succulence au niveau des feuilles ou des tiges telles que *Halocnemum*, *Halopeplis*, *Suaeda*, *Salsola*, *Zygophyllum* et *Arthrocnemum* (ZAHRANE, 1995).

2.4.2.- Halophytes cumulatives

Les halophytes cumulatives dites aussi «inclusives» sont des halophytes sans mécanismes particuliers, la teneur en sels augmente constamment au cours d'une période de végétation jusqu'à une limite létale. La période est toutefois assez longue, pour faire l'objet justement d'un cycle de développement complet, comme exemple *Juncus* spp (ZAHRANE, 1995).

2.4.3.- Halophytes exclusives (type de filtre de racine)

L'exclusion des sels par les racines est souvent décrite en termes de substitution élémentaire ou choix préférentiel des ions. En outre, certaines halophytes sont connues pour avoir des racines avec une membrane intérieure cireuse qui filtre efficacement les sels tout en permettant à l'eau de passer à travers (ex. *Salicornia* spp) (ZAHRANE, 1995). D'autres espèces non halophytes, trouvées dans la nature sous des conditions à la fois salines et non salines peuvent être absolument tolérantes au sel. Ce sont «les halophytes alternées » telles que : *Medicago sativa* L., *Phoenix* spp et *Gassypium* spp (HOMOLY et al., 1999 cité par BENNABI, 2005).

2.5.- Caractéristiques morphologiques, anatomiques et physiologiques

2.5.1.- Caractéristiques morphologiques

La morphologie et la structure des halophytes sont adaptées dans le sens d'économie de l'eau, cela est compréhensible puisque la présence de sels dans la solution du sol ou même dans l'air ambiant (comme les embruns) gêne l'alimentation en eau (HELLER et al., 2004). Les halophytes présentent pour la plupart, une succulence à leur feuilles, qui deviennent épaisses ou cylindriques (ex : *Suaeda*) ou à leurs tiges dans le cas d'espèce aphyllées (ex : *Salicornia*) (LEMEE, 1978). La succulence qui se traduit par une accumulation d'eau dans les cellules constituant les tissus des organes aériens, est l'un des caractères les plus connus chez les halophytes (POLJAKOFF -MAYBER, 1975). Les racines sont éventuellement développées en profondeur (pivotantes) dans le but de rechercher de l'eau (LEMEE, 1978).

2.5.2.- Caractéristiques anatomiques

Des modifications anatomiques apparaissent au niveau des différents organes lors d'un stress salin. CUARTERA et *al.* (1992) cités par HERNENDEZ (1997) montrent que pour des concentrations élevées en sels dans la solution nutritive, la succulence des cellules foliaires augmente, se traduisant par une augmentation de l'épaisseur des feuilles. Cette modification apparaît de façon plus importante chez les espèces les plus tolérantes. Au niveau des racines, il s'observe des modifications du cortex qui, chez les halophytes, est constitué de deux à trois couches de cellules seulement (POLJAKOFF -MAYBER, 1975). Des modifications apparaissent également dans les tiges sous l'effet de la salinité. Par exemple, chez le cotonnier où le cortex la tige s'épaissit alors que le diamètre des vaisseaux conducteurs diminue (POLJAKOFF -MAYBER, 1975).

D'autres modifications sous l'effet de la salinité, de la forme et de structure des halophytes vont dans le sens d'économie de l'eau: cuticule épaisse, stomates peu nombreux, grand développement du parenchyme aquifère (d'où une succulence en particulier des feuilles) (ROBERT, 1989).

2.5.3.- Caractéristiques écophysiologiques

En réponse au stress salin, la plante doit développer des mécanismes adaptatifs lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne grâce aux électrolytes et aux solutés organiques (DRIOUICH et *al.*, 2001). Les tissus des halophytes présentent une pression osmotique très élevée pouvant dépasser 100 atmosphères, due pour l'essentiel au NaCl (10g/l de NaCl développent une pression osmotique de 7atm) et accessoirement à des acides organiques (DRIOUICH et *al.*, 2001). L'une des principales réponses physiologiques au stress salin consiste en l'ajustement osmotique. Pour que les cellules restent turgescents, il faut que leur potentiel hydrique interne soit inférieur au potentiel hydrique externe, de façon à maintenir les mouvements d'eau de l'extérieur vers l'intérieur des cellules. Or, l'augmentation de la concentration en sel dans le milieu extérieur entraîne une diminution du potentiel hydrique externe, les cellules devront donc réagir en diminuant leur potentiel interne (HERNANDEZ, 1997).

Les cellules des halophytes, nécessairement très riches en sels pour les raisons précédentes, présentent une grande résistance interne à l'intoxication par le chlorure de sodium. Lorsque les concentrations de sel deviennent très élevées, un barrage (perméabilité sélective) en limite la pénétration; ce barrage peut être forcé, mais le seuil de rupture est beaucoup plus élevé que pour les glycophytes (HELLER et *al.*, 2004). Dans de telles conditions, l'équilibre en eau est perturbé, mais si l'excès de sel ne dure

pas trop (élévation de la concentration des sols au cours de la saison sèche) le mécanisme permet de franchir la mauvaise période. Chez certaines plantes comme le Tamarix, il y 'a même une excrétion de sel par des glandes foliaires spécialisées (HELLER et *al.*, 2004).

Les Chénopodiacées et d'autres familles des végétaux halophiles possèdent un parenchyme aquifère abondant formé de grandes cellules à parois minces, remplies d 'un suc vacuolaire, et un parenchyme palissadique qui les protège de la déperdition de l 'eau (DEYSSON, 1967). Aussi, les feuilles sont souvent recouvertes de glandes pédicellées à tête formée par une grosse cellule remplie d 'eau (suc vacuolaire riche en sel). En période sèche, ces poils fonctionnent comme un réservoir d 'eau et quand celui-ci est épuisé, la couche de poils flétrit et forme un revêtement blanchâtre à aspect farineux (DEYSSON, 1967).

2.6.- Mécanismes de résistance à la salinité chez les halophytes

La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité à survivre et se reproduire dans des conditions de stress salin (FLOWERS et *al.*, 1986).

Les plantes peuvent être regroupées en deux catégories principales, sur la base de leurs comportements vis-à-vis aux sels (BRECKLE, 2002) :

- Les halophytes, qui tolèrent des concentrations relativement élevées de salinité;
- Les glycophytes qui ne tolèrent que des concentrations peu élevées en NaCl.

Selon LARCHER (1995), la résistance au sel chez les halophytes se fait soit par régulation ou bien par tolérance.

2.6.1.- Régulation

La régulation regroupe les espèces dites halophytes exclusives, espèces qui ont la capacité d'exclure les sels.

- Exclusion du sel s'effectue par des barrières qui constituent un barrage sélectif limitant la pénétration des sels à l'intérieur des cellules;
- Elimination : il y a des plantes qui laissent entrer le sel puis l'évacuent sous différentes formes et manières, soit par excrétion sous forme de liquide ou substances volatiles par évapotranspiration sous forme de vapeur ou carrément par la chute des organes contenant de grandes quantités de sels (feuilles par exemple);
- Dilution, par succulence l'eau s'accumule dans les parenchymes lacuneux très développés et dilue les sels (exemple: *Cakile maritime*);
- Compartimentation cellulaire dans le protoplasme et l'accumulation des sels dans des

vacuoles. Certaines espèces de Graminées tolérantes au NaCl, comme *Agropyron scirpeum* et *Aegilops searsii* montrent des concentrations très élevées en sel dans les tissus foliaires, associées à une compartimentation efficace dans les vacuoles.

2.6.2.- Tolérance

Cette tolérance s'explique par l'aptitude du protoplasme à supporter les effets ioniques et les déséquilibres ioniques. Chez ces espèces, les effets cytotoxiques des ions et le déséquilibre ionique sont assurés par des systèmes enzymatiques (dont la proline) et non-enzymatiques de protection et une régulation des rapports ioniques (transport ioniques).

2.6.3.- Adaptations morphologiques

La succulence, qui se traduit par une accumulation d'eau dans les cellules constitutives des tissus des organes aériens, est l'un des caractères les plus communs chez les halophytes. La succulence des cellules foliaires augmente, se traduisant par une augmentation de l'épaisseur des feuilles est l'une des modifications qui apparaissent de façon plus importante chez les plantes les plus tolérantes. Il est noté de plus, la réduction de la surface foliaire comme chez le *Tamarix gallica L.*, la présence d'une cuticule épaisse et l'apparition plus précoce de la lignification de quelques organes à la fin de leur cycle de vie (POLJAKOFF-MAYBER, 1975).

2.6.4.- Adaptations anatomiques

Certaines modifications anatomiques apparaissent au niveau de différents organes lors d'un stress salin. Plusieurs auteurs montrent que pour des concentrations élevées en sel de la solution du sol, la succulence des cellules foliaires augmente, se traduisant par une augmentation de l'épaisseur des feuilles (CUARTERO et *al.*, 1992). Les cellules sensibles présentent une forme plus allongée que les cellules résistantes et une vacuole plus volumineuse.

- Glandes à sels

Certaines plantes ont développé différentes stratégies leur permettant de réguler les concentrations internes en ions. Certaines halophytes possèdent des structures spécialisées, les glandes à sel, situées au niveau des cellules épidermiques des feuilles et des tiges et ayant pour rôle d'excréter le sel lorsque la charge minérale des tissus est excessive (THOMSON, 1975). Les glandes à sel permettent d'excréter des ions tels que Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , NO_3^+ , Cl^- , et contribuent ainsi à la tolérance au sel. Elles sont

constituées de cellules possédant plusieurs micro-vacuoles. Entre les cellules et la cuticule, il existe un grand compartiment où est collecté le sel avant d'être déversé à la surface des feuilles (THOMSON, 1975).

2.6.5.- Adaptations physiologiques

2.6.5.1.- Absorption ionique au niveau cellulaire

Les ions de la solution du sol sont hydratés et sont transportés à travers la bicouche lipidique du plasmalemme grâce à des protéines membranaires (NIU et *al.*, 1995). Les pompes $H^+/ATPase$ situées sur le plasmalemme, par expulsion de protons à l'extérieur de la cellule, créent un potentiel membranaire négatif facilitant l'entrée des cations et rendant obligatoire un transport actif des anions (SERRANO et *al.*, 1996). Quand la concentration en NaCl augmente dans le milieu extérieur, les ions Na^+ pénètrent dans la cellule en suivant le gradient électrochimique créé par les pompes $H^+/ATPase$. La régulation de leur absorption semble subir l'interaction de celle du K^+ (SERRANO et *al.*, 1996).

L'absorption du K^+ est réalisée grâce à un système symport K^+/H^+ et un canal ionique (NIU et *al.*, 1995). Les ions Cl^- peuvent être absorbés de façon active par un système symport Cl^-/H^+ (NIU et *al.*, 1995) ou de façon passive si l'influx de Na^+ est suffisant pour dépolariser la membrane plasmique (SERRANO et *al.*, 1996; NIU et *al.*, 1995). La principale adaptation des halophytes au stress salin est leur grande capacité d'absorption ionique pour assurer leur ajustement osmotique. Elles accumulent des quantités de Na^+ et Cl^- qui seraient toxiques pour les glycophytes. Ces dernières vont au contraire favoriser l'entrée des ions K^+ par rapport à celle des ions Na^+ par une régulation au niveau des canaux à K^+ . Cette capacité a été décrite comme étant un critère de tolérance au sel (CUARTERO et *al.*, 1992; NIU et *al.*, 1995). Le calcium joue un rôle important dans la réponse à la salinité puisqu'il augmente la sélectivité de K^+ au dépens de Na^+ (CUARTERO et *al.*, 1992). Le calcium externe (Ca^{++}) permet ainsi l'évacuation du Na^+ et aide à maintenir la concentration en K^+ des tissus racinaires des plantes non-halophytes, surtout au niveau de la zone de croissance (COLMER et *al.*, 1996). Le calcium pénètre dans la cellule de façon passive par des canaux ioniques (NIU et *al.*, 1995).

2.6.5.2.- Mécanismes de transport ionique

Chez les halophytes qui accumulent de fortes quantités de sodium aux parties aériennes, des pompes situées à l'interface xylème/sytoplasme au niveau racinaire permettent l'expulsion du sodium dans le xylème compensé par un chargement de

potassium dans les cellules racinaires (exemple: *Plantago maritima L.*) (SERRANO et *al.*, 1996).

Le système inverse existe chez certaines Fabacées, où il se fait au niveau de cellules spécialisées du parenchyme xylémien situées dans la région proximale des racines. Elles réabsorbent le Na^+ xylémien en échange avec du K^+ , ce qui paraît lié à la forte accumulation de K^+ observées dans les parties aériennes chez les espèces sensibles (KRAMER et *al.*, 1978). Chez les plantes sensibles, un autre système situé au niveau du plasmalemme permet de maintenir le sodium à de faibles concentrations dans le cytosol, par le moyen d'une pompe $\text{Na}^+/\text{ATPase}$ qui fait expulser les ions Na^+ à l'extérieur de la cellule (SERRANO et *al.*, 1996).

2.6.5.2.- Compartimentation des ions dans la plante

Les halophytes doivent toujours accumuler dans leurs cellules une quantité de molécules qui permettront de maintenir le potentiel hydrique à une valeur supérieure au potentiel hydrique du sol (LUTTIGE et *al.*, 1992).

Chez les halophytes, plus de 90% des ions Na^+ sont accumulés au niveau des organes aériens dont 80% dans les feuilles (FLOWERS et *al.*, 1977). Chez les glycophytes, au contraire, la réduction du transport du Na^+ vers les parties aériennes contribue à la tolérance au sel (NIU et *al.*, 1995). Cependant, les espèces les plus tolérantes se comportent comme des halophytes en accumulant dans les feuilles du Na^+ et du Cl^- plus que les espèces sensibles, cette accumulation est souvent accompagnée d'une diminution de K^+ (BALLESTEROSE, 1996).

Les ions Cl^- peuvent être absorbés de façon active par un système symport Cl/H^+ ou de façon passive si l'influx de Na^+ est suffisant pour dépolariser la membrane plasmique (NIU et *al.*, 1995).

2.6.5.3.- Compartimentation à l'échelle cellulaire

La compartimentation vacuolaire de Na^+ et Cl^- est considérée comme étant un mécanisme essentiel de la résistance des plantes en milieu salin. Elle permet de réduire la concentration en ions dans le cytosol, épargnant ainsi les activités enzymatiques des effets toxiques des ions et facilitent l'ajustement osmotique essentiel pour l'expansion cellulaire. Cette capacité à séquestrer les ions apparaît être un mécanisme commun chez les halophytes et les glycophytes (CUSHMAN et *al.*, 1990).

La compartimentation vacuolaire dépend de l'établissement d'un gradient

électrochimique à travers le tonoplaste. Ce gradient est généré par deux pompes à protons, une H⁺/ATPase et une H⁺/PPase. Ces deux pompes fonctionnent en parallèle, la première est inhibée par NO₃⁻ et stimulée par Cl⁻ et la deuxième est fortement stimulée par K⁺ (BALLESTEROSE, 1996).

Le transport de Na⁺ dans la vacuole est assuré par le système antiport Na⁺/H⁺ dont l'activité est augmentée par le stress salin. Le transport de Cl⁻ s'effectue de façon passive par des canaux ioniques grâce au gradient électrochimique réalisé par les deux pompes à protons, et éventuellement par un antiport H⁺/anions (NIU et *al.*, 1995).

2.6.5.4.- Pression osmotique

Les plantes halophytes ont développé plusieurs mécanismes qui leur permettent de survivre en milieu salé (HAOUALA et *al.*, 2006) :

- augmentation de la salinité du cytoplasme pour limiter la pression osmotique ;
- mécanismes spécifiques de flux membranaires afin d'empêcher l'eau de sortir et/ou les sels d'entrer dans la cellule ;
- régulation de la perméabilité de la membrane cellulaire en fonction du niveau de la pression osmotique.

3.- Hydrophytes

3.1.- Habitats des hydrophytes

Les hydrophytes se développent dans une série de climats, des tropiques aux régions polaires, partout où la nappe phréatique est assez proche, ou l'eau stagnante est assez peu profonde, pour les soutenir. Chaque espèce est adaptée à une gamme de profondeurs d'eau et souvent elle ne peut pas survivre en dehors de cette gamme pendant des périodes prolongées (PARTRIDGE et WILSON, 1987).

Les zones humides sont identifiées en tant qu'écosystèmes d'importance primordiale qui soutiennent une grande sélection de plantes uniques particulièrement adaptées aux conditions humides. Celles-ci, à leur tour, soutiennent un nombre important de poissons, d'invertébrés, d'amphibiens, de reptiles, de mammifères, et d'oiseaux divers (COWARDIN et *al.*, 1979).

Les caractéristiques des zones humides, comme eau peu profonde, productivité végétale élevée, et des substrats anaérobies fournissent un environnement approprié pour des processus physiques, biologiques, et chimiques importants. En raison de ces processus, les zones humides jouent un rôle essentiel dans les cycles biogéochimiques

(MITSCH et GOSSELINK, 2000).

3.2.- Définitions des Zones Humides

3.2.1.- Définition écologique

Dans l'environnement, le facteur de détermination des zones humides est l'eau. En grande partie, l'hydrologie détermine la chimie du sol, la topographie, et la végétation. Toutes les zones humides ont des entrées d'eau qui dépassent les pertes, au moins de façon saisonnière. Il est difficile de dire exactement combien d'eau par secteur doit avoir à un moment donné afin d'être une zone humide (MITSCH et GOSSELINK, 2000).

COWARDIN et *al.* (1979) déclarent qu'une définition «simple, correcte, décisive, et écologiquement saine» des zones humides n'existe pas parce que la ligne entre environnements secs et environnements humides n'est pas facilement tracée. Les taux d'humidité varient sur des échelles spatio-temporelles. Les zones humides peuvent avoir de l'eau stagnante tout au long de l'année, ou seulement pendant une période de l'année. Elles se définissent par trois composantes principales : hydrologie, sols, et plantes. L'hydrologie des zones humides varie quotidiennement dans les zones humides côtières, et de façon saisonnière dans d'autres. Il doit y avoir suffisamment d'eau, pour la formation de sols hydriques, qui sont pauvres en oxygène. Les plantes des zones humides sont adaptées aux sols hydriques ou elles sont dépourvues de racines et vivent dans d'eau (BRINSON, 1993).

Dans toutes les zones humides, le substrat est saturé durant des périodes plus ou moins longues, les plantes non adaptées aux conditions de saturation ne peuvent pas survivre. Ces conditions mènent à une faible teneur en oxygène (hypoxie) ou à un manque d'oxygène (anoxie) dans les pores du sol (GAMBRELL et PATRICK, 1978).

3.2.2.- Définitions légales

Les définitions légales ou formelles des zones humides ont été adoptées dans certain nombre de pays. Beaucoup de nations ont des définitions des zones humides, et la définition de chaque pays tend à se concentrer sur les caractéristiques des zones humides de ce pays (SCOTT et JONES, 1995). La définition internationale adoptée par la convention de RAMSAR de 1971 sert souvent de base à la définition employée par différents pays (MATTHEWS, 1993).

3.2.2.1.- Définition de la Convention RAMSAR de 1971 (article 1)

Le traité international de Ramsar sur les zones humides «a fourni le cadre pour la coopération internationale pour la conservation et l'usage sage des zones humides et de leurs ressources» (MATTHEWS, 1993). Sous la convention de Ramsar les zones humides sont définies comme «des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres»

3.2.2.2.- Définition du groupe d'experts français du Ministère de l'Environnement (1990)

Les zones humides se caractérisent par la présence permanente ou temporaire, en surface ou à faible profondeur dans le sol, d'eau disponible douce, saumâtre ou salée. Souvent en position d'interface, de transition, entre milieux terrestres et milieux aquatiques proprement dits, elles se distinguent par une faible profondeur d'eau, des sols hydromorphes ou non évolués, et/ou une végétation dominante composée de plantes hygrophiles au moins pendant une partie de l'année. Enfin, elles nourrissent et/ou abritent de façon continue ou momentanée des espèces animales inféodés à ces espaces (CRONK et FENNESSY, 2001).

3.2.2.3.- Définition de l'USACE (United States Army Corps of Engineers) et l'USEP (U.S. Environmental Protection Agency)

Les zones humides sont des secteurs inondés ou saturés d'eaux superficielles ou souterraines à fréquence et durée suffisantes, et qui dans les conditions normales soutiennent, une prédominance de végétation typiquement adaptée aux états de saturation du sol.

3.2.2.4.- Article 2 de la loi sur l'eau (1992)

Selon cet article, il est par Zones Humides: Des terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hydrophiles pendant au moins une partie de l'année.

Une zone humide est une région où l'eau est le principal facteur qui contrôle le milieu naturel et la vie animale et végétale associées. Au-delà de cette caractéristique commune, les zones humides présentent une grande diversité de milieux, de localisation, de forme, de taille, de fonctionnements hydrologiques et d'usages (CRONK et FENNESSY, 2001).

Les communautés végétales des zones humides sont parmi les écosystèmes les plus fortement productifs dans le monde (MITSCH et GOSSELINK, 2000).

3.3.- Classification des zones humides

Les zones humides sont très variées, et toutes les classifications de ces zones doivent imposer des limites subjectives pour chaque type. Les sources et les quantités d'eau sont très variées même dans le même type de zone humide. La classification des zones humides est utile afin de décrire leurs caractéristiques et les contrôler (COWARDIN et *al.*, 1979). Le régime hydrologique d'une zone humide a une influence très importante sur la composition, la distribution, et la diversité des végétaux qui la composent. La richesse, les séries de végétation, la productivité primaire, et l'accumulation de la matière organique sont influencées par des facteurs hydrologiques tels que la profondeur d'eau, la composition chimique de l'eau, et les débits (MITSCH et GOSSELINK, 2000).

Une classification développée récemment, appelée classification hydro-géomorphologique (HGM) des zones humides, elle est basée sur trois paramètres : la classification géomorphologique de la zone humide dans le paysage (riverain, dépression, frange lacustre), sa source d'eau, et le mouvement interne de l'eau dans la zone humide, connue sous le nom de son hydrodynamique (BRINSON, 1993).

Comme système de classification, l'approche de HGM souligne une classification sur la base de la topographie et l'hydrologie de la zone humide qui affectent à leur tour ses fonctions. Dans cette classification, la présence de la végétation est en raison de l'interaction à long terme du climat et de la position du paysage qui commandent également l'hydrologie de la zone humide (BRINSON, 1993).

Alternativement, une approche basée sur la classification hydrogéologique (HGS) se rapporte aux facteurs, régionaux et locaux, qui conduisent l'hydrologie et la chimie de la zone humide. Elle met un accent sur les caractéristiques externes et internes du paysage qui causent l'écoulement d'eau dans la zone humide, de ce fait elle détermine la quantité et la qualité de l'eau reçue (BEDFORD, 1999). WINTER (1992) a défini le HGS en termes de relief et pente de la surface, profondeur et perméabilité du sol, et la stratigraphie, la composition, et la conductivité hydraulique des matériaux géologiques sous-jacents.

Les limites des différents types des zones humides aident à indiquer exactement les différences entre les communautés végétales de ces écosystèmes, et peuvent être définies au moins en partie par le type de végétation qui s'y développe (COWARDIN et *al.*, 1979).

Chaque habitat d'espèces peut être expliqué par leur tolérance aux niveaux de salinité, au régime de marée, à la disponibilité de l'oxygène dans le sol, ou à d'autres facteurs (PARTRIDGE et WILSON 1987).

BRINSON (1993) décrit différents types de systèmes où les hydrophytes se développent. Il a classé les zones humides par catégories dans les trois communautés importantes :

- **marais**, où les espèces herbacées dominent;
- **zones humides couvertes de forêts**, où les arbres ou les arbustes dominent;
- **tourbes**, où la décomposition de la matière organique est assez lente pour permettre à la tourbe de s'accumuler.

Dans ces trois catégories, il divise plus loin une description des communautés végétales basées sur l'hydrologie, la salinité, et le pH.

3.4.- Plantes des zones humides

3.4.1.- Notion de plantes aquatiques et semi-aquatiques

Trois types de plantes fréquentent les zones humides (ASHTON, 1973), plantes aquatiques, plantes semi-aquatiques, et plantes terrestres hygrophiles.

- Plantes aquatiques

Elles se développent en permanence dans le milieu liquide. Elles peuvent être immergées, flottantes ou émergées. Leur structure et leur port sont adaptés à vivre dans l'eau. Si le niveau de l'eau s'abaisse, les plantes peuvent survivre quelque temps en modifiant leur port, mais meurent si le milieu s'assèche complètement.

- Plantes semi-aquatiques

Elles exigent une période d'inondation temporaire et se développent donc dans les zones temporairement inondées ainsi que sur les bords des plans d'eau permanents, les milieux gorgés d'eau ou encore dans les zones d'eaux peu profondes. Pour être considérée comme semi-aquatique, une plante doit obligatoirement avoir sa phase juvénile aquatique.

- Plantes terrestres hygrophiles

Elles se rencontrent normalement dans des milieux gorgés d'eau ou humides et ne peuvent survivre que peu de temps lorsque le milieu est complètement inondé. Parmi ces groupes floristiques établis, selon un gradient d'hygrophilie (Fig. 1) on distingue les hélrophytes et les hydrophytes (ASHTON, 1973).

- Les hélrophytes qui sont des plantes semi-aquatiques susceptible de supporter des périodes entières d'émersion;

- Les hydrophytes qui sont des plantes exigeant la présence d'eau, parmi lesquelles se reconnaissent des hydrophytes émergées, flottantes, fixées ou libres.

3.5.- Hydrophytes

Le terme hydrophyte n'est pas un nouveau terme. Le préfixe «*hydro*» désigne que la communauté végétale vit dans l'eau ou dans un environnement dominé en eau. Le mot «*hydrophyta*» soit apparu plus tôt dans un rapport sur la phytogéographie (SCHOUW, 1822 cité par TINER, 1999). Une série de définitions techniques du terme hydrophyte, développées par les scientifiques de la phytoécologie aquatique ou des zones humides, ont été publiées dans les journaux scientifiques, les livres de limnologie, ou dans les classifications des zones humides «plantes qui ont l'aptitude de se développer seulement dans l'eau» est beaucoup trop restrictive pour être significative en définissant les zones humides, parce que la plupart de celles-ci ne sont pas inondées de manière permanente (TINER, 1999).

La majeure partie de la terminologie employée pour décrire les plantes des zones humides est basée sur le régime hydrologique que les espèces exigent. Là existe généralement un continuum de tolérance parmi toutes les espèces des plantes vasculaires s'étendant de celles adaptées aux conditions extrêmement sèches (espèces terrestres xérophiles) à ces espèces qui complètent leur cycle de vie (de la graine à la graine) sous l'eau. Ces dernières n'entrent jamais en contact direct avec l'atmosphère (COWARDIN et *al.*, 1979).

Le long de ce continuum il n'y a aucune catégorie discrète en termes de conditions d'humidité, et bien qu'il ne soit pas possible de faire une division où les plantes terrestres finissent et les espèces de marécage commencent, beaucoup de définitions opérationnelles existent. Les plantes de marécage, que nous considérons synonymes de «hydrophytes», sont généralement définies comme «plantes s'élevant dans l'eau ou sur un substrat qui est au moins périodiquement déficient en oxygène en raison de la teneur en eau excessive» (COWARDIN et *al.*, 1979).

WARMING (1909) cité par TINER (1999), est considéré comme le premier qui a classé les communautés végétales selon leurs préférences hydrologiques. Les plantes aquatiques ont été définies comme espèces submergées ou avec des feuilles flottantes sur l'eau, alors que les plantes des marais étaient classées par catégories en tant que plantes terrestres. Il a plus loin organisé la végétation en diverses «classes écologiques» basées sur les conditions édaphiques. Les sols très humides supportent deux classes de plantes, les hydrophytes celles qui vivent dans l'eau, et les héliophytes celles qui vivent dans le marais (plantes émergées).

PENFOUND (1952) a développé une classification identifiant deux groupes, les plantes terrestres et les hydrophytes, ce dernier terme inclut les espèces submergées et émergées (U.S. NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1995). Sous ces définitions, les espèces terrestres ne peuvent pas tolérer l'inondation ou la saturation du sol pendant la période de végétation. Les espèces aquatiques exigent l'inondation et ne peuvent pas tolérer assèchement du sol, alors que les espèces de marécage tolèrent tous les deux (U.S. NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1995). SCULTHORPE (1967) a également adopté cette large définition d'hydrophyte. Toute plante s'élevant dans un sol qui est au moins périodiquement déficient en oxygène en raison de la teneur en eau excessive (DAUBENMIRE, 1968; COWARDIN et *al.*, 1979). Toute macrophyte qui se développe dans l'eau ou sur un substrat qui est au moins périodiquement déficient en oxygène en raison de la teneur en eau excessive; plantes typiquement trouvées dans les habitats humides (U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1987).

Il y a approximativement 250.000 espèces décrites d'angiosperme (espèces terrestres y compris), et des 50.000 à 250.000 espèces environ qui n'ont pas été encore décrites (SAVAGE, 1995).

3.6.- Classification des hydrophytes

Les plantes vasculaires des zones humides sont généralement classées dans des catégories basées sur leur forme de croissance. Cette classification est indépendante des rapports phylogénétiques. Elle est basée seulement sur la manière dont les plantes se développent en rapport physique avec l'eau et le sol. Différentes classifications ont été développées, basées sur les variations de la forme des plantes, les moyens par lesquels elles se développent et se reproduisent, ou sur les adaptations vis à vis des conditions d'inondation ou de saturation (HUTCHINSON, 1975; COOK, 1996).

SCULTHORPE (1967) a adopté la classification la plus simple. Les catégories employées pour grouper les hydrophytes incluent hydrophytes émergentes, submergées, à feuilles flottantes, et hydrophytes flottantes.

3.6.1.- Hydrophytes émergentes

Les plantes émergentes sont enracinées dans le sol avec des parties basiques qui se développent typiquement sous la surface de l'eau, mais dont les feuilles, les tiges (organes photosynthétiques), et les organes reproducteurs sont aériens. Les espèces émergentes les plus communes sont trouvées dans de nombreuses familles des monocotylédones qui tendent à dominer les marais d'eau douce et d'eau de mer, dont les Poaceae (herbes), Cyperaceae (carex), Juncaceae (joncs), et le Typhaceae (cattail) (SCULTHORPE, 1967).

3.6.2.- Hydrophytes submergées

À l'exception possible de la floraison, les plantes submergées dépensent typiquement leur cycle de vie entier sous la surface de l'eau et sont distribuées dans les habitats côtiers, d'estuaire, et d'eau douce. Presque toutes ces plantes sont enracinées dans le substrat, bien qu'il y ait plusieurs espèces dépourvues de racines et qui flottent librement dans la colonne d'eau (CRONK et FENNESSY, 2001). Chez les espèces submergées, tous les tissus photosynthétiques sont normalement sous-marins. Les tiges et les feuilles des espèces submergées tendent à être molles (manquant de la lignine) avec des feuilles qui sont allongées et rubanées, ou fortement divisées, les rendant assez flexibles pour résister aux mouvements de l'eau sans endommagement (COOK, 1996).

Généralement, la partie terminale de la plante n'atteint pas la surface de l'eau bien qu'elle puisse se situer en position horizontale juste sous la surface d'eau (*Vallisneria americana Gigantea*. ou céleri de l'eau) (SCULTHORPE, 1967).

3.6.3.- Hydrophytes à feuilles flottantes

Les feuilles de ces plantes flottent sur la surface de l'eau tandis que leurs racines sont ancrées dans le substrat. La plupart de ces espèces ont des feuilles circulaires, ovales, ou cordiformes avec des bords qui réduisent le déchirement, et une texture coriace dure qui les aide à éviter les herbivores et le trempage (GUNTENSPERGEN et *al.*, 1989). Généralement les feuilles se différencient dans leur forme, les feuilles sous-marines étant finement divisées alors que les feuilles flottantes sont entières (SCULTHORPE, 1967).

3.6.4.- Hydrophytes flottantes

Les hydrophytes flottantes sont des plantes dont les feuilles et les tiges flottent à la surface de l'eau. Si les racines existent, elles s'accrochent librement dans l'eau et ne sont

pas ancrées dans les sédiments. Ces plantes se déplacent sur la surface de l'eau sous l'action des vents et des courants d'eau (GUNTENSPERGEN et *al.*, 1989). Outre leur rôle d'absorption des éléments nutritifs, les racines servent également de poids qui permettent à la plante de se stabiliser sur l'eau. Les plantes flottantes des zones humides montrent généralement une croissance végétative considérable (SCULTHORPE, 1967).

Parmi les plantes flottantes telles que *Eichhornia crassipes* Martius. (jacinthe d'eau) et *Pistia stratiotes* L. (laitue d'eau), sont devenues les espèces envahissantes les plus ennuyeuses dans les zones humides tropicales et subtropicales (KAUL, 1976 ; MABERLY et SPENCE, 1989).

3.7.- Distribution des hydrophytes

La distribution des hydrophytes dépend de la distribution des éco systèmes des zones humides. Les facteurs environnementaux primaires qui expliquent la distribution et les types des zones humides sur une échelle globale incluent le climat, la topographie, et la géologie (BRITTON et CRIVELLI, 1993).

Les zones humides se produisent sous différentes formes géomorphologiques comprenant les deltas, les lagunes, les zones intertidales, les lacs, les plaines et les dépressions (BRINSON, 1993; BRITTON et CRIVELLI, 1993; MITSCH et GOSELINK, 2000).

A une échelle globale les zones humides sont omniprésentes, existant à tous les continents excepté l'Antarctique, et sous tous les climats. Plus que la moitié des zones humides du monde se trouve dans les régions tropicales et subtropicales (MITSCH et GOSELINK, 2000). Quelques espèces des zones humides ont des répartitions géographiques étendues s'étendant à plusieurs continents, les menant pour être classées comme cosmopolites. Environ 60% de ces espèces ont des portées dépassant le seuil d'un seul continent. Les espèces le plus largement dispersées tendent à être des monocotylédones (SCULTHORPE, 1967).

Par exemple, *Phragmites australis* Cav. s'est appelée l'angiosperme le plus largement distribué, elle s'étend plus loin au nord 70°N, et elle est commune dans les latitudes tempérées et dans les régions tropicales (BRITTON et CRIVELLI, 1993).

L'espèce *Lemna minor* L. est un exemple d'espèce flottante cosmopolite, absente seulement dans quelques secteurs des régions tropiques et des régions polaires (BRITTON et CRIVELLI, 1993).

Les exemples des espèces submergées cosmopolites incluent *Ceratophyllum demersum* Var., *Potamogeton crispus* L., et *P. pectinatus* L. (SCULTHORPE, 1967).

Cette distribution indique un système bien développé permet une grande dispersion des graines et des parties végétatives. Les mécanismes de dispersion font appel à l'action des vents, des courants d'eau, des oiseaux migrateurs, et plus loin, l'action anthropique (BRITTON ET CRIVELLI, 1993). Tandis que la plupart des espèces des zones humides ne sont pas cosmopolites, beaucoup d'entre elles couvrent toujours un large gradient latitudinal. Leur distribution tend à suivre des modèles prévisibles, avec des étendues géographiques focalisées à travers de grandes régions telles que l'Eurasie-Afrique du Nord, Afrique continentale, et les latitudes tropicales et subtropicales des Amériques (SCULTHORPE, 1967). Il y a également un modèle de distribution intéressant dans lequel les espèces habitent des latitudes tempérées de l'Amérique du Nord et du Sud. Dans ce cas-ci, une même espèce, telle que le *Sagittaria montevidensis* Cham., se produit dans les endroits nordiques et méridionaux, mais pas nécessairement dans l'intervalle (SCULTHORPE, 1967).

En revanche, il y a également des espèces endémiques des zones humides qui sont par définition confinées à de petites aires géographiques. Les espèces endémiques sont celles connues pour exister seulement dans des secteurs restreints; leur distribution limitée est souvent le résultat de barrières (à la dispersion) ou de restriction à des types de sols spécifiques ou aux conditions climatiques (SCULTHORPE, 1967).

3.8.- Fonctions écologiques des zones humides

Si les zones humides sont entourées par la forêt, le désert, la toundra, ou par des superficies agricoles, des zones urbaines, ou par l'océan, elles remplissent souvent les mêmes rôles, ou fonctions, dans le paysage le plus large (WALBRIDGE, 1993).

Toutes les fonctions des zones humides sont liées à la présence, la quantité, la qualité, et au mouvement de l'eau dans ces zones (CARTER et *al.*, 1979). Les fonctions des zones humides peuvent être classées en trois catégories principales: hydrologie, biogéochimie, et habitat (WALBRIDGE, 1993). Les conditions des zones humides, comme eau peu profonde, productivité végétale élevée, et des substrats anaérobies fournissent un environnement approprié pour des processus physiques, biologiques, et chimiques importants. En raison de ces processus, les zones humides jouent un rôle essentiel dans les cycles biogéochimiques (MITSCH et GOSSELINK, 2000).

3.8.1.- Fonctions hydrologiques

Les zones humides contribuent au maintien et à l'amélioration de la qualité de l'eau en agissant comme un filtre épurateur (CRONK et FENNESSY, 2001).

- **Filtre physique**, car elles favorisent les dépôts de sédiments y compris le piégeage d'éléments toxiques tels que les métaux lourds, la rétention des matières en suspension, etc.;

- **Filtre biologique**, car elles sont aussi le siège privilégié de dégradations biochimiques (grâce notamment aux bactéries, de désinfection par destruction des gènes pathogènes grâce aux ultraviolets, d'absorption et de stockage par les végétaux, de substances indésirables ou polluantes tels que les nitrates (dénitrification) et les phosphates à l'origine de l'eutrophisation des milieux aquatiques, de certains pesticides et métaux, etc. Elles ont aussi un rôle déterminant dans la régulation des régimes hydrologiques.

Le comportement des zones humides à l'échelle d'un bassin versant peut être assimilé à celui d'une éponge. Lorsqu'elles ne sont pas saturées en eau, les zones humides retardent globalement le ruissellement des eaux de pluies et le transfert immédiat des eaux superficielles vers les fleuves et les rivières situés en aval. Elles «absorbent» momentanément l'excès d'eau puis le restituent progressivement lors des périodes de sécheresse (CRONK et FENNESSY, 2001). Elles diminuent ainsi, l'intensité des crues et soutiennent les débits des cours d'eau en période d'étiage (basses eaux). Certaines d'entre elles participent à l'alimentation en eau des nappes phréatiques superficielles (CRONK et FENNESSY, 2001).

3.8.2.- Fonctions biologiques

Les zones humides constituent un réservoir de biodiversité. Ainsi, beaucoup d'espèces végétales remarquables et menacées vivent dans les zones humides et environ 50% des espèces d'oiseaux dépendent de ces zones (MITSCH et GOSSELINK, 2000). Les zones humides assument dans leur globalité les différentes fonctions essentielles à la vie des organismes qui y sont inféodés (MITSCH et GOSSELINK, 2000).

- **Fonction d'alimentation:** Découlant de la richesse et de la concentration en éléments nutritifs observées dans ces zones, les marais assurent ainsi une mise à disposition de ressources alimentaires pour de nombreuses espèces animales localement et à distance par exportation de matière organique;

- **Fonction de reproduction:** La présence de ressources alimentaires variées et la diversité des habitats constituent des éléments essentiels conditionnant la reproduction des organismes vivants;

- **Fonction d'abri, de refuge et de repos:** Les zones humides sont identifiées en tant qu'écosystèmes d'importance primordiale qui soutiennent une grande sélection de plantes uniques particulièrement adaptées aux conditions humides. Celles-ci, à leur tour, soutiennent un nombre important de poissons, d'invertébrés, d'amphibiens, de reptiles, de mammifères, et d'oiseaux divers.

3.8.3.- Fonctions climatiques

Les zones humides participent aussi à la régulation des microclimats. Les précipitations et la température atmosphérique peuvent être influencées localement par les phénomènes d'évaporation intense d'eau au travers des terrains et de la végétation (évapotranspiration) qui caractérisent les zones humides (MITSCH et GOSSELINK, 2000).

Toutes ces fonctions confèrent aux zones humides une extraordinaire capacité de produire de la matière vivante; elles se caractérisent ainsi par une productivité biologique nettement plus élevée que les autres écosystèmes (Fig. 2) (SAVAGE, 1995).

CHAPITRE 2- Présentation de la zone d'étude

Ce chapitre est consacré à la présentation de la région d'Ouargla, et porte sur les limites géographiques, les caractéristiques climatiques, édaphiques et floristiques.

1.- Situation géographique

La zone d'étude, la wilaya d'Ouargla (Fig. 3), se situe au Sud-Est du pays sous les coordonnées de latitude 31°57' Nord; longitude 5°19' Est; sur une altitude d'environ 157 m (ROUVILLOIS, 1975). Elle couvre une superficie de 163230 Km², et demeure l'une des collectivités administratives des plus étendues du pays (D.P.A.T, 2005). Elle est limitée au Nord par la wilaya de Djelfa et d'El-Oued; à l'Est par la Tunisie; à l'Ouest par wilaya de Ghardaïa, au Sud limitée par la wilaya de Tamanrasset et d'Illizi.

La cuvette d'Ouargla est située dans le Bas-Sahara algérien. Elle correspond à la basse vallée fossile d'Oued M'Ya qui draine le versant Nord du plateau de Tadmaït et se termine à la Sebkhia de Safioune à 20 km au Nord de Ouargla (HAMDI-AISSA et GIRARD, 2000). La vallée est caractérisée par un remplissage sédimentaire très large de la vallée d'Oued M'Ya. Elle est constituée du grès du Mio-Pliocène. Le bas-fond de la cuvette, est alimenté par une nappe phréatique permanente, peu profonde (< 2 m). Cette cuvette constitue le niveau le plus bas du Sahara, est jalonnée par une série de Chotts et Sebkhias.

2.- Géologie et lithologie

Les facteurs édaphiques d'une région, influent sur la variabilité écologique des communautés biologiques. Ils constituent toutes les propriétés physico-chimiques d'un sol (DREUX, 1980). En d'autres termes, ils concernent les caractéristiques géologiques et lithologiques qui jouent un rôle important dans la pédogenèse. La pédogenèse n'est pas très active en raison d'une faible pluviosité et d'un couvert végétal très faible. Elle est fortement influencée par la nature lithologique des éléments sous jacents. D'après LE HOUEROU (1968), l'Afrique du Nord aride, située depuis l'ère primaire au contact de la mésogée et du bouclier saharien, est constituée essentiellement d'affleurements sédimentaires d'origine néritique, lagunaire ou continentale avec quelques faciès de dépôts profonds dans les zones de subsidence. Les formations crétacées et tertiaires affleurent sur d'immenses surfaces ainsi que les pellicules quaternaires qui les recouvrent.

Les ensembles lithologiques comprennent principalement des calcaires de marnes et des grès avec des formations gypseuses et salifères au trias, au lias à l'éocène et

localement dans d'autres étages. Les marnes sont elles-mêmes souvent gypseuses dans l'ensemble de la série depuis le permien jusqu'au pliocène (ONA, 2003).

Ces faits sont d'une importance extrême et expliquent la grande extension des alluvions salées ainsi que la nature des eaux profondes ou superficielles et, par conséquent, les difficultés de l'agriculture irriguée qui utilise le plus souvent des eaux et des sols plus ou moins salés (ONA, 2003).

Les séries sédimentaires ont été puissamment plissées entre l'oligocène et le miocène lors de la surrection des chaînes atlasiques au cours de l'orogénèse pyrénéo-alpine. Ces chaînes jouent un rôle capital dans la climatologie et les ressources hydriques (ONA, 2003).

La cuvette d'Ouargla est creusée dans les formations continentales du Mio-Pliocène. Il s'agit de sables rouges et de grès tendres à stratifications entrecroisées, avec nodules calcaires, entrecoupés de niveaux calcaires ou gypseux que l'on voit affleurer sur ses bords Est et Ouest (ONA, 2003).

Au-dessous du fond de la vallée, des sondages ont mis en évidence, sous quelques m de sable (ONA, 2003) :

- Une alternance de niveaux formés de calcaires, de calcaires marneux, de sables argileux et de grès tendres se terminant à la base par des argiles sableuses vers 30 à 45 m de profondeur ;
- Des sables fins et gros se terminant par des argiles sableuses à leur base vers 55 à 80 m ;
- Les calcaires du Sénonien (jusque vers 250 m) ;
- Un épais horizon d'argiles à évaporites (jusque vers 650 à 700 m) ;
- Une centaine de m d'évaporites massives ;
- Des argiles à évaporites plastiques, jusque vers 1050 – 1100 m de profondeur ;
- Des sables et grès de l'Albien se trouvant entre 1050 – 1100 m et 1350 – 1400 m de profondeur.

3.- Géomorphologie

La géomorphologie est considérée comme une expression synthétique de l'interaction entre les facteurs climatiques et géologiques. La cuvette d'Ouargla est située dans le prolongement de l'exutoire naturel du grand bassin versant du Sahara septentrional. La cuvette est limitée au Nord par l'Atlas Saharien et au Sud par le plateau de Tadmaït, à l'est et à l'ouest par les ergs oriental et occidental. Elle occupe une superficie d'environ 1000 Km² dans la basse vallée de l'Oued M'Ya qui s'étend sur une soixantaine de kilomètres du Sud vers le Nord (ONA, 2003).

La cuvette de Ouargla correspond à la basse vallée fossile datant du quaternaire de l'oued M'Ya qui descend en pente douce (1 ‰) du plateau de Tadmaït et se termine à 20 km au Nord d'Ouargla (ONA, 2003).

La dissymétrie de la cuvette est marquée par la présence d'une falaise occidentale particulièrement nette et continue, tandis que la limite orientale est beaucoup plus imprécise. D'Ouest en Est on distingue (Fig. 4) :

- Le plateau de la hamada mio-pliocène, à l'Ouest d'Ouargla, il s'abaisse légèrement d'Ouest en Est. Il est 220 m au-dessus de la vallée. A l'Est il est très fortement érodé ne laissant que quelques buttes témoins appelées « Goure».
- Les glacis sur les versants Ouest de la cuvette s'étagent du plus ancien au plus récent, d'Ouest en Est sur quatre niveaux de 200 à 140 m. Les glacis de 180 et de 160 m se caractérisent par des affleurements du substrat gréseux du moi-pliocène. L'Est de la cuvette est un vaste glacis alluvial à sable grossier de 150 m d'altitude.
- Les chotts et les sebkhas constituent les points les plus bas. Le chott ou sebkha est constitué de sable siliceux et/ou gypseux à croûte gypseuse de surface et de sub -surface. Le bas fond se caractérise par une nappe phréatique permanente très peu profonde de 1 à 5 m. En aval d'Ouargla, diverses sebkhas s'alternent avec des massifs dunaires jusqu'à la Sebkhha de Safioune qui est à 103 m d'altitude, et est le point le plus bas de la région.

Le sous-sol de Ouargla est formé de sables dunaires reposant sur des alluvions de l'Oued avec localement des formations gréseuses indurées.

Dans la région de Ouargla, seuls les terrains du mio -pliocène affleurent, recouverts par endroits de formations de dépôts datant du quaternaire composés d'ergs et de dunes (ONA, 2003).

Dans la répartition de l'occupation du sol au niveau de la cuvette de Ouargla, l'espace Sebkhha-Chott occupe environ 500 ha, notamment la plaine alluviale de l'oued M'Ya qui se compose de plusieurs «biefs» se terminant chacun par une cuvette terminale qui prend la forme d'un chott. Ces chotts constituent les points bas exutoires naturels des eaux pluviales. Sur l'ensemble de la cuvette ils existent 5 chotts :

- Chott de Bamendil;
- Chott d'Aïn Beïda;
- Chott d'Oum Er-Raneb;
- Chott de N'Goussa;
- Chott de Safioune (ONA, 2003).

4.- Pédologie

La pédologie est la Science du sol qui se préoccupe de l'étude de l'origine, des constituants, des propriétés et de la classification des sols. Elle entre dans le cadre des formations géomorphologiques. La formation du sol est due à l'action combinée sur la roche, des agents atmosphériques du climat et de la couverture végétale (OZENDA, 1982).

La région d'Ouargla est caractérisée par des sols légers, à prédominance sableux et sablonneux à structure particulière. Ces sols sont connus par de faibles taux de matière organique, une forte salinité, un pH alcalin, et une bonne aération (HALILAT, 1993). On distingue trois types de sols :

- **Sols salsodiques;**

- **Sols hydromorphes;** occupent les dépressions inter-dunaires et les dépressions alluviales, ils se caractérisent par la présence d'une nappe phréatique peu salée, résidu sec entre 0,5 et 3g/l;

- **Sols minéraux bruts;**

- **Sols minéraux bruts d'apport alluvial:** se répartissent particulièrement dans les chenaux d'oueds alluvionnés et les petits dayas, caractérisés par une composition hétérométrique (HALILAT, 1993).

Le sol de la région d'Ouargla est de type squelettique avec une texture à prédominance sableuse. La structure est médiocre présentant une bonne aération, et à pH alcalin. Le taux de salinité est très important à cause de la remontée des eaux de la nappe phréatique, et des eaux d'irrigation chargées en sels (HAMDI-AISSA, 2001).

4.1.- Sols salés en surface (nappe proche de la surface < 2 m)

4.1.1.- Sols hydromorphes

Ces sols sont localisés aux abords immédiats des chotts et se caractérisent par la présence d'une nappe située à moins d'un mètre de profondeur. La salure est supérieure à 4 mmhos/cm et atteint fréquemment 16 à 32 mmhos/cm. La texture est généralement grossière à très grossière. Ces sols sont régulièrement inondés, ce qui permet l'installation d'une végétation phréatophile (DJEBAILI, 1978).

4.1.2.- Hypersolontchaks

Ces sols se caractérisent par des taux de salure très importants dépassant le plus souvent 32 mmhos/cm en surface et le taux de gypse est relativement moyen (2 à 25%). La nappe est peu profonde (< 1,20 m). La texture est grossière à très grossière et la

structure est généralement non dégradée. Ces sols sont souvent très pauvres sur le plan floristique avec *Halocnemum strobilaceum* comme espèce vedette. Cette espèce est connue comme la phanérogame supportant les plus forts taux de salure à l'échelle de la planète et c'est souvent la seule à pouvoir se développer à l'intérieur du chott (DJEBAÏLI, 1978).

4.1.3.- Sols hydrohalophiles

Ces sols ont une écologie voisine des phréatophiles, mais se distinguent par une nappe légèrement plus profonde (jusqu'à 2 m). La salure est très importante en surface et dépasse souvent les 32 mmhos/cm, mais elle peut être plus faible (4 à 32 mmhos/cm). Le sol est modérément gypseux (2 à 25%). La texture est très grossière à grossière mais peut être quelquefois moyenne à fine (DJEBAÏLI, 1978).

4.2.- Sols salés en profondeur

4.2.1.- Sols halomorphes

Ces sols favorisent l'apparition des espèces halophytes. Celles-ci peuvent supporter des sols salés en profondeur ou en surface. Elles semblent néanmoins préférer des sols à nappe profonde comprise généralement entre 2 et 6 m avec une conductivité qui dépasse les 8 mmhos/cm. Le taux de gypse est compris entre 2 à 25% et la texture est variable, grossière à fine. Ceci confère aux espèces adaptées à ce milieu une relative indifférence à la texture. Les sols sont généralement des solontchaks aux abords des chotts mais encore sur alluvions ou sur marnes (DJEBAÏLI, 1978).

4.2.2.- Cryptosolontchaks

Ces sols sont caractérisés par une texture grossière et une faible salure en surface (< 8 mmhos/cm) qui augmente en profondeur. Ils sont colonisés par *Traganum nudatum* et *Atriplex halimus*. La nappe est souvent profonde (> 2 m). La salure faible à moyenne en surface, inférieure à 8 – 10 mmhos/cm et ne dépasse pas 32 mmhos/cm en profondeur. Le taux de gypse est important (DJEBAÏLI, 1978).

5.- Hydrologie

L'eau souterraine constitue la principale source d'eau dans la région d'Ouargla. Elle se dispose d'un potentiel hydrique très important constitué de trois grands ensembles aquifères qui va du haut vers le bas donnant ainsi des ressources en eaux souterraines, et des ressources en eaux superficielles.

5.1.- Ressources en eaux souterraines

5.1.1.- Nappe du quaternaire ou nappe phréatique

Elle est dite aussi nappe libre, cette nappe est contenue dans les sables alluviaux de la vallée, en se localisant principalement dans la vallée d'Oued Righ et dans la cuvette. Cette nappe s'écoule du Sud vers le Nord suivant la pente de la vallée. Sa profondeur varie en fonction des points et des saisons, généralement entre 1 et 2 m, parfois moins entre 0,15 m et 0,25 m, à proximité du chott d'Oum Er-Raneb. Elle peut dépasser 18 m au Sud de Ouargla (ROUVILLOIS, 1975). Elle affleure dans les zones basses (sebkhas et chott) et dans certaines palmeraies. Elle est située à une dizaine de mètres de profondeur. Cette nappe n'est pas exploitée à cause de sa grande salinité qui dépasse les 15 g/l. En outre elle est polluée car elle se mélange aux eaux urbaines et les eaux de drainage de la palmeraie (ONA, 2003).

5.1.2.- Ensemble aquifère du Complexe Terminal (CT)

L'ensemble aquifère du Complexe Terminal (CT), comprend trois aquifères différents qui de haut en bas sont le Mio-pliocène, le Sénonien et le Turonien (ONA, 2003).

- Nappe du Mio-pliocène

L'exploitation de cette nappe du Mio-pliocène par le creusement de nombreux puits artésiens date de 1883. Cette nappe est contenue dans les sables grossiers atteints vers 30 à 60 m de profondeur par les puits artésiens jaillissants qui autrefois irriguaient les palmeraies d'Ouargla (ONA, 2003).

L'eau est alors située entre 30 et 60 m de profondeur. En 1901, le nombre de puits atteint 160 et l'artésianisme diminue. Le développement de ces puits et une meilleure disponibilité en eau ont favorisé la sédentarisation des nomades dans l'oasis (ONA, 2003).

Elle s'écoule du Sud Sud-ouest vers le Nord Nord-est en direction du Chott Melghir. Sa salinité est très variable varie de 2 à 7 g/l. Elle est utilisée surtout à l'irrigation (AMMOUR, 2007).

- Nappe du sénonien

La nappe artésienne du sénonien est exploitée dans les calcaires entre 140 et 200 m de profondeur. Le résidu sec varie entre 1,8 et 3,6 g/l. Elle est surtout utilisée à l'alimentation en eau potable (ONA, 2003).

5.1.3.- Ensemble aquifère du Complexe Intercalaire (continental intercalaire)

Contient la nappe de l'albien, et considéré parmi les plus grands réservoirs souterrains d'Afrique, couvrant une superficie de 800 000 Km². C'est une nappe fossile fortement artésienne qui n'est pas réalimentée par la climatologie actuelle. Cette réserve de 3,5.10¹³ m³ en un réservoir de 2550 m d'épaisseur et de 800 à 1300 m de profondeur, doit être gérée comme une ressource minière épuisable (ROUVILLOIS, 1975).

Sa température varie de 30 à 70 °C, son résidu sec est de l'ordre de 2 g/l. Elle est essentiellement utilisée pour l'alimentation en eau potable et l'excès de pompage sert à l'irrigation (ONA, 2003).

5.2.- Ressources en eaux superficielles

La cuvette d'Ouargla est alimentée par trois oueds importants : Oued M'Zab, Oued N'Sa, et Oued M'Ya.

5.2.1.- Oued M'Zab

L'Oued M'Zab coule d'Ouest en Est sur environ 320 km de la région de Botma Rouila à 750 m d'altitude jusqu'à Sebket Safioune à 107 m située au nord de la cuvette d'Ouargla. La surface du bassin versant est de 5 000 km². Il n'y a pas d'écoulement pérenne. Les crues sont exceptionnelles, les dernières observées datent de 1901, 1951, 1991 et septembre 1994. Le débit mesuré en 1994 a atteint 13,5 m³/seconde (ONA, 2003).

5.2.2.- Oued N'Sa

Le bassin versant d'Oued N'Sa couvre une superficie de 7 800 km². Il coule selon une direction Ouest-Est dans son cours supérieur, en direction Nord-Nord-Ouest – Sud-Sud-Est dans son cours moyen sur une longueur d'environ 100 Km et de nouveau vers l'Est en son cours inférieur pour se déverser dans Sebket Safioune. Les crues sont également exceptionnelles. La dernière date de 1994, où le débit enregistré a été de 35 m³/seconde (ONA, 2003).

5.2.3.- Oued M'Ya

Le bassin d'Oued M'Ya couvre une superficie de 19 800 Km². Les écoulements sont plus fréquents en novembre, octobre, mai et juin. Les crues d'Oued M'Ya se perdent à 200 Km en amont de la ville d'Ouargla (ONA, 2003).

6.- Caractéristiques climatiques et bioclimatiques

La connaissance des caractéristiques climatiques est fondamentale, pour permettre une meilleure évaluation des besoins en eau des plantes et une détermination des facteurs qui ont un effet néfaste sur leur développement (LE HOUEROU et HOSTE, 1977).

Le climat de la région d'Ouargla est particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale, avec une saison chaude et sèche, ainsi que des écarts importants de températures, et par l'intensité et la fréquence des vents (ROUVILLOIS, 1975). Ainsi la région d'Ouargla est caractérisée par un climat de type saharien avec des températures élevées, une faible pluviométrie et une forte évaporation (LE HOUEROU, 1995).

6.1.- Températures

Les températures, tout comme la pluviosité, sont des éléments importants pour la vie des végétaux. En effet, en écologie, la connaissance de la valeur des températures extrêmes est un indicateur pour les seuils létaux (DJELLOULI et DJEBAILLI, 1984). Les valeurs extrêmes des températures jouent un rôle sur la phénologie (AIDOUD, 1989; NEDJRAOUI, 1990).

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métabolique et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés des êtres vivants dans la biosphère (RAMADE, 2003).

A partir du tableau 4, janvier est le mois le plus froid avec des températures minimales égales à 4,76 °C. Le mois de juillet est le mois le plus chaud dans la région avec 43,59°C. L'amplitude thermique est relativement importante. Elle se situe entre 12,52°C au mois de janvier et 15,67 °C au mois de juillet. Toutefois, les températures moyennes annuelles sont de 23,38°C, avec des minimums en janvier estimés à 11 °C, et des maximums qui surviennent au mois de juillet avec 35,75°C (Tab. 4).

6.2.- Pluviométrie

Les déserts et les zones arides se caractérisent par des précipitations très réduites, et un degré d'aridité d'autant plus élevé que les pluies y sont plus rares, inférieures à 100 mm/an (DAJOZ, 1982) et très irrégulières (RAMADE, 2003). La pluviosité du point de vue quantitatif, est exprimée en général par la pluviosité moyenne annuelle. Elle peut être utilisée comme un élément caractéristique du climat (LE HOUEROU, 1969; CELLES, 1975). La variation des paramètres climatiques, telles que l'évapotranspiration et la saison sèche, sont surtout fonction de la pluviosité moyenne annuelle. En effet, quand la pluviosité diminue, l'évapotranspiration et la saison sèche augmentent (LE HOUEROU et HOSTE, 1977).

Les précipitations de la région d'Ouargla sont également rares et irrégulières, la moyenne annuelle sur les dix dernières années (1997-2008) est de 51 mm. Sa répartition est marquée par un maximum durant le mois d'octobre, soit le mois le plus pluvieux avec 13 mm et un minimum enregistré le mois de juin, étant le plus sec avec moins d'un millimètre (Tab. 4).

Généralement, la plupart des précipitations dans la région se produisent durant l'hiver à répartition très irrégulière, et elles ne répondent pas aux besoins hydriques des cultures et n'interviennent pas dans le lessivage des sels solubles (OZENDA, 1983).

Généralement l'humidité relative au Sahara est faible, souvent inférieure à 20 % (MONOD, 1992) même dans les montagnes, ce n'est qu'exceptionnellement que l'on observe des valeurs plus fortes, tandis qu'au Sahara septentrional, elle est généralement comprise entre 20 et 30 % pendant l'été et s'élève à 50 ou 60 % et parfois davantage en janvier (OZENDA, 1983 ; LE HOUEROU, 1995).

L'humidité relative de l'air dans la région d'Ouargla est comprise entre 24% et 61%, sur un intervalle de 10 ans. D'après le tableau 4, l'humidité relative de l'air est faible avec une moyenne annuelle de 41,61 %. Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année. En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 24,58% au mois de Juillet, sous l'action d'une forte évaporation et de vents chauds; en hiver elle s'élève et atteint une valeur maximale de 61,33% au mois de décembre.

6.3.- Evaporation

Selon DUBIEF (1950), le Sahara apparaît comme la région du monde qui possède l'évaporation la plus élevée. La région d'étude est caractérisée par une évaporation très importante, son intensité étant fortement renforcée par les vents chauds (ROUVILLOIS, 1975). L'évaporation minimale est de l'ordre de 101,41 mm, enregistrée en décembre (et janvier 103,75 mm), le maximum est de 489,66 mm au mois de Juillet (Tab. 4).

6.4.- Insolation

Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara et varient assez notablement d'une année à l'autre et même suivant les périodes de l'année envisagées (DUBIEF, 1959).

La région d'Ouargla est caractérisée selon ROUVILLOIS (1975) par une forte insolation avec une moyenne de 268 heures où le ciel est totalement clair. Le maximum est enregistré au mois de juillet, avec 337,25 heures, et le minimum de 196,41 heures au mois de Décembre (Tab. 4).

6.5.- Vents

Dans les régions arides, les vents jouent un rôle primordial dans la formation des reliefs et des sols, dans la dégradation de la végétation et la destruction des sols par leur vitesse et leur fréquence, les vents sont très variables au cours de l'année. Ils soufflent du Nord-Sud au Nord-Est/Sud-Ouest (ROUVILLOIS, 1975). Les vents de sable sont fréquents surtout au mois de mars et mai. Les vents chauds (sirocco), dominant dans la région d'étude en été et peuvent causer des dégâts, surtout en absence du couvert végétal.

Les vents ont une vitesse moyenne de 3,76 m/s. Cette vitesse est plus élevée en été durant les mois de juin, juillet et août avec 4,82 m/s, et moins élevée durant les mois d'hiver avec 2,69 m/s (Tab. 4). La direction dominante des vents est Sud-Nord.

6.6.- Synthèse des données climatiques

6.6.1.- Climagramme d'EMBERGER et quotient pluviothermique

Le quotient pluviothermique permet la classification des différents types de climats méditerranéens (DAJOZ, 1971). La zone désertique, n'est qu'une forme extrême de type de climat méditerranéen, puisque les pluies surviennent en hiver. La méthode d'EMBERGER est la plus utilisée en Afrique du Nord, car elle se montre en harmonie avec les faits biogéographiques et agronomiques (LE HOUÉROU, 1959).

Le quotient pluviothermique permet de définir l'étage bioclimatique d'une région, ainsi qu'il renseigne sur le caractère xérique du biotope prenant en considération les deux facteurs essentiels qui définissent le climat à savoir les températures (M , m) et la pluviosité. Il est donné par la formule suivante (STEWART, 1969):

$$Q_2 = 1\,000 P / [(M - m) (M + m)/2] \text{ ou } Q_2 = 2\,000 P / M^2 - m^2$$

Où :

- Q₂ : quotient pluviothermique d'EMBERGER ;
- P : pluviosité moyenne annuelle en mm ;
- M : moyenne des maximum du mois le plus chaud (juillet, aout) ;
- m : moyenne des minimum du mois le plus froid (janvier) ;
- M et m sont exprimés en degrés Kelvin (Celsius + 273) ;
- (M + m)/2 : température moyenne mensuelle ;
- (M - m) : amplitude thermique extrême moyenne ;

BAGNOULS et GAUSSEN considèrent comme sec tout mois où : $P < 2 T$

P : précipitation moyenne mensuelle ; T : température moyenne mensuelle.

A partir des valeurs du tableau 4, le quotient de la région d'étude est alors égal à 4,40 pour une période qui s'étale sur dix ans, de 1997 à 2008. En rapportant cette valeur sur le climagramme d'EMBERGER, on constate que la région d'Ouargla se trouve dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux (Fig. 5).

6.6.2.- Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN appliqué à la région d'Ouargla

Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953), permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique. C'est une méthode graphique qui sert plus particulièrement à mettre en évidence les périodes sèches et humides d'une région donnée. Selon DAJOZ (1975), le diagramme ombrothermique est un mode de présentation classique du climat d'une région.

Dans la région d'Ouargla, il est remarqué que cette période s'étale sur toute l'année, avec un maximum enregistré durant l'été (Fig. 6).

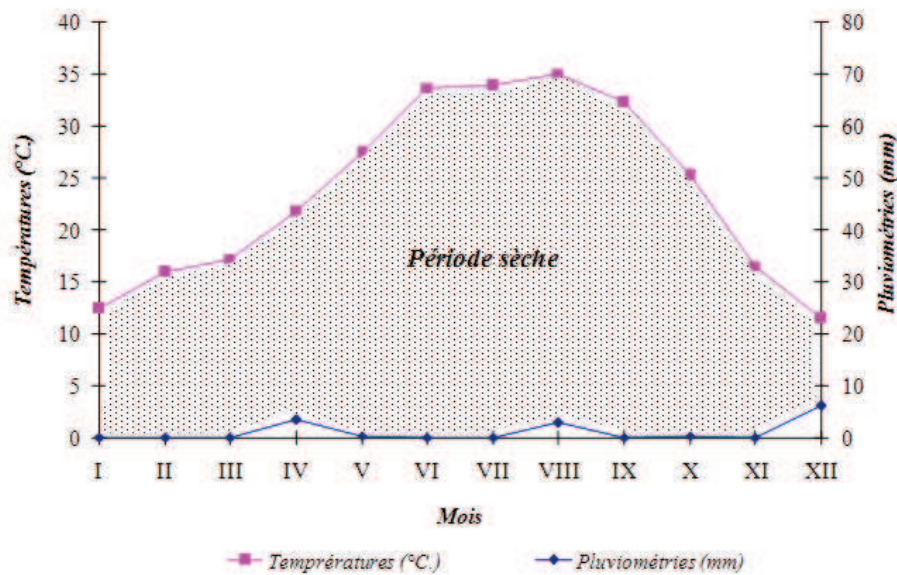


Figure 6. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN appliqué à la région d'Ouargla

7.- Végétation

Les groupements végétaux du Sahara septentrional sont généralement dominés par des espèces sahariennes ou sub-sahariennes: *Calligonum spp.*, *Genista saharae*, *Cornulaca spp.*, *Moltkiopsis spp.*, *Salsola spp.*, *Hammada spp.*, *Anabasis spp.*, *Artemisia spp.*, mais certaines espèces dominantes sont aussi réparties dans toute la zone aride steppique telles *Stipagrotis pungens*, *Retama raetam*, *Ziziphus lotus*, *Acacia raddiana*, *Pistacia atlantica*. La répartition des différentes espèces est très irrégulière et, est fonction des différentes zones géomorphologiques sahariennes. Elle est aussi due au fait de la nature des sols et leur structure et au climat (LE HOUEROU, 1995). Les diverses espèces végétales rencontrées dans la zone de Ouargla sont celles qui caractérisent les régions sahariennes, parmi ces espèces, il est à noter sur la base des travaux de CHEHMA (2006): *Zygophyllum album*, *Tamarix aphylla*, *Tamarix articulata*, *Suaeda fructicosa*, *Calendula aegyptiaca*, *Ephedra alata*, *Cynodon dactylon*, *Traganum nudatum*, *Juncus rigidus*, *Phragmites communis*, *Limonium sinuatum*, *Fagonia microphylla*, *Stipagrotis pungens*, *Haloxylon scoparium*, *Cornulaca monacantha*, *Limoniastrum guyonianum*, etc.

7.1.- Plantes en relation avec les milieux sahariens

7.1.1.- Géomorphologie

LEUBRET (1952) admet que, s'il y est une région du globe où les reliefs sont particulièrement nets et visibles, c'est bien le Sahara. Les principales familles de paysages sahariens sont regs, hamadas, formations dunaires, dépressions, etc.

7.1.2.- Regs

Constitués en surface par un dépôt de cailloutis, au dessous de cette couche apparaît un substrat généralement sableux ou des alluvions. Le reg est un sol dont le vent a emporté les particules les plus fines, laissant alors une couche de cailloux ou de graviers inaptes à retenir l'eau. Les regs sont des sols qui portent la végétation la plus pauvre, souvent absolument nulle (OZENDA, 1983).

Les regs de fragmentation sont des plateaux dont la surface est recouverte d'une pellicule de blocs désagrégés. Si la formation est actuelle sur la roche compacte, le reg est dépourvu de végétation. C'est la roche mère qui est un sol limono-argileux ancien avec ou sans cailloux. Le plateau peut comporter une couverture végétale (TOUTAIN, 1979).

Les regs alluviaux sont formés aux dépens de dépôts anciens plus ou moins grossiers et soumis aux agents d'érosions actuelles. Ils constituent des plateaux à sols détritiques de 10 à 20 cm d'épaisseur encombrés de blocs sur 50% de la surface environ. Une implantation de végétation est possible (Euphorbes, Echimus, Atriplex, Sénéçon) (TOUTAIN, 1979).

7.1.3.- Hamada

C'est un vaste plateau caillouteux à surface presque horizontale, où la dalle calcaire affleure partout (QUEZEL, 1955). C'est la formation qui couvre les surfaces les plus importantes au Sahara. La surface de ces plateaux est ordinairement très pauvre, sauf dans les dépressions où s'accumulent les apports éoliens et l'eau. Les gorges et les falaises sont par contre relativement riches et hébergent de nombreuses espèces endémiques (OZENDA, 1983). C'est un milieu relativement plus xérique que les regs. Les végétaux se développent dans les interstices et diaclases des dalles où les produits d'altération de la Roche-mère constituent un micro-sol abrité de déflation (LE HOUEROU, 1959).

7.1.4.- Formations dunaires

Le sable est un élément essentiel du paysage saharien. Cependant, les dunes sont loin de couvrir la totalité du Sahara, mais se localisent généralement dans de vastes régions ensablées appelées ergs (LEUBRET, 1952). GARDI (1973) note que les dunes peuvent

avoir des formes différentes en fonction de la direction dominante des vents. Les cordons dunaires se définissent comme étant de grandes rides. Ils atteignent plusieurs dizaines de mètres de haut. Ils sont orientés généralement Nord-Sud dans les deux grands ergs oriental et occidental (OZENDA, 1978). Dans les zones marginales et au niveau des dépressions inter-dunaires, les dunes relativement moins élevées commencent à être peu à peu colonisées et fixées par une végétation spécialisée de Psammophytes vivaces et de phreatophytes (POUGET, 1980).

- **Nebkas**

Il s'agit d'un abri de forme mineure. Il résulte de l'arrêt du sable par un obstacle à savoir touffe de buisson comme les touffes psammophytes vivaces ou celles du Drinn, ou bien des cailloux (OZENDA, 1978). C'est une accumulation de sable éolien arrêté par un obstacle de petite dimension (touffes de végétation, bloc rocheux). Le sable s'accumule sous l'action du vent formant un monticule en forme de pointe de flèche dont la hauteur diminue en s'éloignant de l'obstacle (POUGET, 1980).

- **Micro-dunes**

Il s'agit d'accumulations de sable éolien, en général, elles sont plus importantes que les nebkas, et fixées par des touffes psammophytes vivaces spécifiques comme le Drinn (*Aristida pungens* Desf.). Ceci suppose une certaine épaisseur et stabilité de la masse sableuse (POUGET, 1980).

7.1.5.- **Dépressions**

Les dépressions sont de différents ordres de grandeur. Elles sont représentées par les sebkhas et les chotts ou les dayas et les lits d'oueds.

- **Sebkhas et chotts**

Ce sont des dépressions salines et inondées, formées temporairement. Elles sont alimentées par des apports superficiels de ruissellement (Sebkhas), mais aussi par les nappes artésiennes qui remontent en surface du chott. Elles sont bordées d'auréoles de végétation liées aux variations de la texture et de la salinité (OZENDA, 1983).

- **Dayas**

Ce sont des dépressions fermées de l'ordre métrique à kilométrique où s'accumulent les eaux de ruissellement non salées ou peu salées (POUGET, 1980). Leur fond est formé

par un remplissage sableux à sablo-limoneux plus ou moins profond portant encore une végétation arborescente à Tamarix, ou arbustive à Jujubier (HOUEROU, 1959).

- Lits d'oued

Le lit d'oued est l'espace qui peut être formé par les eaux d'un cours d'eau. Les matériaux du lit peuvent être soit des roches en place, soit des matériaux transportés par les cours d'eau (OZENDA, 1983). Dans les lits d'oued le paysage prend l'aspect d'une steppe arborée. Les arbres sont des Acacias et, lorsque la nappe souterraine est légèrement salée, des Tamarix. Les buissons sont des Jujubiers et des Ethels (HUETZ, 1970). Les lits d'oued sont les plus riches et les plus diversifiés d'espèces. Parallèlement, il faut noter que les lits d'oued à fond rocailleux sont beaucoup plus riches que ceux à fond sableux (CHEHMA, 2005).

8.- Sol

Le sol est le produit de l'altération par différents agents atmosphériques (pluie, gel, vent, etc.) ou biologiques (racines, microorganismes, etc.). Au Sahara, le facteur de formation de sols est essentiellement le vent. Il s'y ajoute l'ampleur des variations thermiques, notamment l'amplitude journalière de la température. L'eau n'intervient qu'accessoirement et surtout par le phénomène de ruissellement et d'évaporation. Mais le lessivage du sol qui joue un rôle très important sous le climat humide, n'intervient pas dans ce milieu (OZENDA, 1978).

Le sol ou couverture pédologique forme la couche superficielle meuble qui recouvre la Roche-mère, son épaisseur varie de quelques centimètres à quelques mètres. Ces sols sont peu évolués et dépourvus d'humus et présentent des différences de comportement quant à la capacité de rétention en eau, la conductibilité thermique et la salinité, caractères importants pour leur utilisation pour les végétaux (POUGET, 1980).

8.1.- Principaux types de sols

- Sols formés sur substratum géologique

Les sols qui évoluent directement sur le substratum géologique (roche en place) et non sur des dépôts secondaires, alluvions, colluvions, dépôts éoliens (POUGET, 1980).

- Sols à accumulations calcaires des glaciaires et des terrasses quaternaires

L'importance et la morphologie de l'accumulation calcaire conduit à différencier trois catégories de sols. Ce sont les siérozèmes à amas et nodules calcaires, le siérozèmes à encroûtement calcaire, et les sols à croûte calcaire; ces deux derniers types de sols sont à profil calcaire très différencié (POUGET, 1980).

- Sols à formations alluviales récentes et actuelles

Ils occupent des superficies restreintes. Ils n'en présentent pas une grande importance et une diversité relative en relation avec l'âge des dépôts alluviaux, la situation géomorphologique des terrasses, des zones d'épandage, etc.; dans la texture des alluvions s'intercalent souvent des dépôts éoliens sableux; présence de sel et de gypse.

- Sols des dayas

Les dépressions de type daya offrent une gamme très diversifiée des sols ayant en commun une texture relativement homogène pour chaque profil, une moyenne lamellaire de quelque millimètres à quelques centimètres et une croûte de battance. On retrouve des sols ayant une perméabilité d'ensemble faible ou parfois une faible teneur en calcaire. Le sol est parfois complètement décarbonaté. Trois ensembles de sols s'individualisent plus ou moins en fonction de la texture et du degré d'évolution (structure). Il s'agit de vertisols à texture très fine, les sols peu évolués de texture fine conservant une structure verticale et les sols évolués de texture généralement moyenne à fine et bien structurés (POUGET, 1980).

- Sols des formations éoliennes

La caractéristique majeure de ces sols est leur texture grossière à très grossière (sable siliceux très peu calcaire). On distingue trois ensembles dans le sens d'une évolution croissante : les sols minéraux bruts d'apports éoliens très peu fixés par la végétation, les sols peu évolués d'apports éoliens et les siérozèmes modaux sur sable siliceux (POUGET, 1980).

- Sols gypseux

Il s'agit essentiellement des sols calcimagnésiques à encroûtement gypseux de surface très calcique dans les zones arides et Nord-africaines en particuliers (BUREAU ET ROEDERES, 1961 ; COQUE, 1962).

- Sols halomorphes

Ils s'observent dans les terrasses, les zones d'épandage de dépressions à nappe phréatique salée (POUGET, 1980). Ces sols se caractérisent par une conductivité supérieure à 7 dS/m sur l'ensemble du profil pendant une partie de l'année, provoquant une modification importante de la végétation. La présence de sodium échangeable ($Na/T > 10-15\%$) et surtout l'implantation d'une structure massive et diffuse lorsque le sol est humide (BUREAU ET ROEDERES, 1961 ; COQUE, 1962).

- Sols hydromorphes

Les sols hydromorphes occupent les dépressions inter-dunaires et les dépressions alluviales. Ils se caractérisent par la présence d'une nappe phréatique peu salée toujours très proche de la surface. Le résidu sec situe entre 0,5 et 3 g/l environ.

Pour la région d'Ouargla, les cinq pédopaysages d'Ouest en Est, selon la dénomination des sols du référentiel pédologique (AFES -INRA, 1995), ont été reconnus (HAMDI-AISSA et GIRARD, 2000; HAMDI-AISSA, 2001) :

- Plateaux

Les sols présentent une surface graveleuse ou pierreuse et des voiles éoliens . Cet horizon de surface surmonte une croûte calcaire à dolomie, très dure de 30 cm d'épaisseur. Il se retrouve ensuite, un horizon calcaire nodulaire, moins dur et fissuré entre 35 et 60 cm puis, au-delà de 60 cm, un horizon pétro-gypsique (57% de gypse). C'est un lithosol pétro-calcaire de Hamada à encroûtement gypseux en profondeur.

- Glacis

A 140 m d'altitude, le sol est constitué d'un matériau meuble exclusivement détritique, hérité de l'altération du gré à sable rouge du Mio-Pliocène. C'est le sol le plus pauvre en gypse de la région, jusqu'à 8 m de profondeur. Il ne présente aucun niveau d'encroûtement.

- Chotts

L'horizon de surface est une croûte gypseuse épaisse ou polygonale, blanchâtre partiellement couverte de voiles de sable éolien gypso-siliceux et de nebka à 15- 20 cm d'épaisseur. Il se retrouve un encroûtement gypseux pulvérulent homogène de couleur jaune rougeâtre très claire en dessous. Il se rencontre un encroûtement gypseux induré de 40 cm d'épaisseur, moins riche en gypse. Le solum non calcaire présente une teneur en

gypse décroissante de 68,6% dans la croûte polygonale (43% de gypse). C'est un salisol chloro-sulfaté à horizon gypseux et pétro-gypsique de surface.

- **Sebkhas**

Les sols salés de la Sebkha se caractérisent par une salure extrêmement élevée de l'horizon de surface et des croûtes et efflorescences salines continues. La nappe, phréatique varie de 40 cm (février) à 60 cm (septembre) et jusqu'à un mètre. Les sols du centre de la Sebkha se caractérisent par une croûte saline qui repose sur un matériau limono-sableux. La teneur en gypse est de 11 à 21%. Il s'agit d'un Salisol chloro-sulfaté. Les sols de la bordure de la Sebkha se caractérisent soit par une croûte saline de surface similaire à celle du centre de la Sebkha, soit par une croûte peu développée à surface lisse plus ou moins battante. Dans les deux cas la couverture pédologique peut comporter ou non des horizons gypseux et/ou calcaire. Les teneurs en gypse varient de 8,5% dans la croûte saline à 77,8% dans l'horizon pétro-gypsique de profondeur. Il existe une variété de salisols chloro-sulfatés, avec ou sans horizon gypseux et/ou calcaire.

- **Dunes**

Les dunes sont des régosols. Il existe aussi des cordons dunaires. Dans les talwegs et sur les versants rocheux, se trouve en surface des affleurements de grès rouges du Mio-Pliocène.

9.- Végétation saharienne

La flore saharienne apparaît comme très pauvre si l'on compare, le petit nombre des espèces qui habitent ce désert à l'énormité de la surface qu'il couvre. Les caractères physiologiques de la végétation désertique révèlent une réduction très nette du tapis végétal. On compte environ 300 espèces pour 150.000 km² sur la marge Nord du Sahara et 400 espèces sur la marge Sud (DEMANGEOT, 1981).

La flore du Sahara septentrional représentée en large partie par l'élément saharo-sindien (trois quarts de l'ensemble), est relativement homogène et les pénétrations méditerranéennes font d'elle l'une des régions les plus riches du Sahara (QUEZEL, 1978) (Tab. 10). Les caractères spéciaux du Sahara, l'existence de vastes espaces impropres à la vie et constituant des barrières à la dissémination des espèces font que l'endémisme est particulièrement développé dans les régions qui sont géographiquement isolées. Il est dénombré dans le Sahara septentrional 162 espèces endémiques (OZENDA, 1983).

Le tableau 10, fait ressortir le nombre des genres d'espèces et d'espèces endémiques des 14 familles les plus importantes de cette flore. La composition systématique de la flore saharienne, en tenant compte de l'apparence des espèces, non pas à un élément géographique mais à un groupe systématique faisant intervenir la famille, la tribu ou le genre laisse paraître trois familles prédominantes dont en tête les Graminées avec 35% de ces trois familles, les Légumineuses et les Crucifères à deux ne représentent que les 35 à 40% des familles. Cependant, une attention particulière est portée aux Chénopodiacées, aux Crucifères et aux Zygophyllacées ayant une prédominance au Sud (OZENDA, 1983).

Tableau 10. Espèces endémiques de quatorze familles de la flore saharienne

Familles	Genres	Espèces	Espèces endémiques
Aizoacées	11	11	-
Asclépiadacées	11	23	04
Borraginacées	17	43	04
Caryophyllacées	22	73	13
Chénopodiacées	23	64	-
Composées	80	164	13
Crucifères	44	73	12
Graminées	74	204	19
Labiacées	16	36	07
Légumineuses	30	156	22
Liliacées	07	08	02
Ombellifères	18	35	13
Scrofulariacées	-	49	04
Zygophyllacées	07	27	09

Les conditions édapho-climatiques exceptionnelles des régions sahariennes font que la vie végétale n'est possible qu'au prix d'adaptations morphologiques, anatomiques et physiologiques, tels que le raccourcissement du cycle de développement; perte des feuilles ; capacité de survivre à l'état de graines, de rhizomes ou de bulbes ; pendant les périodes de sécheresse (UNESCO, 1960; OZENDA, 1983).

Selon les différentes adaptations et la disponibilité en eau liée principalement aux conditions édaphiques, climatiques et topographiques, on distingue deux grands groupes biologiques : les végétaux temporaires et les végétaux permanents (OZENDA, 1983).

- Végétaux temporaires

Parmi les végétaux temporaires, se rencontrent les plantes annuelles. Dès que les conditions hydriques sont favorables, elles effectuent leur cycle vital jusqu'à la floraison et la fructification avant le dessèchement du sol. Leur adaptation portant uniquement sur la réduction de la longueur de leur cycle de développement. En un à quatre mois, ces plantes constituent souvent, après les périodes de pluies un tapis continu utile aux pâturages. Elles sont de précocité exceptionnelle (dès la germination) et fleurissent à l'état nain entre 1 à 2 cm. Elles sont qualifiées d'éphémérophytes tels que *Convolvulus fatmensis*, *Plantago albicans*, *Launaea glomerata*, etc. Les géophytes sont des espèces persistantes par des organes souterraines comme chez les Liliacées bulbeux (*Urginea noctiflora*), ou celles à rhizomes charnu (Ombellifères du genre *Ferula*) (OZENDA, 1983).

- Végétaux permanents

Malgré l'hostilité du milieu saharien, ces végétaux mettent en jeu un ensemble d'adaptations morphologiques, anatomiques et physiologiques garantissant leur survie aussi longtemps que possible. Il s'agit entre autres d'hypertrophie considérable du système racinaire pouvant atteindre une dizaine de mètres contrairement à la partie aérienne. Les vaisseaux du bois sont larges et se forment parfois des manchons de grains de sable agglutinés autour de ces racines, les protégeant contre la dessiccation. Pour réduire la surface et la vitesse d'évaporation, ces plantes prennent l'aspect jonciforme : diminution du nombre de feuilles, de leur grandeur en épine ou sorte d'écailles ; ou l'épaississement par une cuticule d'épiderme des stomates: Tamarix, la plus part des Chenopodiacées, les Ephedracées, etc. ; enfin, on note la mise en réserve d'eau importante dans les tissus pour lutter contre le réchauffement, particulièrement chez les plantes grasses (Cactacées) (QUEZEL, 1978 ; OZENDA, 1983).

9.1.- Répartition des différentes formations

La répartition des végétaux à la surface du globe est conditionnée par trois facteurs principaux: l'eau, la température et la lumière. Lorsque ces facteurs sont suffisamment remplis, le tapis végétal atteint son plein développement (OZENDA, 1983). Toutefois la richesse du monde végétal du Sahara est assez variable. Il y existe une grande diversité spécifique suivant les lieux. Ainsi, la répartition des différentes espèces en fonction de la géomorphologie de la zone fait ressortir des densités de végétation (qualifiées de diffuses) très inégales suivant les milieux. Elles sont plus denses dans les dépressions telles que les lits d'oueds et les dayas. Elles sont plus lâches mais toujours présentes sur les plateaux ou sur les dunes (UNESCO, 1960; OZENDA, 1983). Suivant leurs affinités biologiques et leurs exigences vis-à-vis du milieu ambiant, la composition

des groupements végétaux est sensiblement constante. Concernant la géomorphologie, se distinguent différents types de végétation.

9.1.1.- Végétation des ergs et des sols sablonneux

Avec des caractères homogènes et assez constants le long de l'année, la végétation de ces milieux est caractérisée par la dominance du Drinn (*Stipagrotis pungens*), en association avec une végétation arbustive formées par *Ephedra alata*, *Retama raetam*, *Genista conglomeratus* et *Calligonum azel*; et les plantes herbacées telles que le *Cyperus conglomeratus*, suivies dans le grand Erg Occidental par une graminée endémique, *Danthonia fragilis*. Ce groupement est mal développé au Sahara central, où les sols dunaires occupent des surfaces relativement réduites, sa composition se modifie sensiblement dans le Sahara méridional (OZENDA, 1983).

9.1.2.- Végétation des regs et substrats argileux ou caillouteux

Il se note le développement d'un groupement très diffus dominé par *Haloxylon scoparium*, des Chénopodiacées arbustives, des Asclépiadacées (*Pergularia tomentosa*) et la présence de quelques plantains et végétaux bulbeux en cas d'ensablement superficiel. Il y a apparition des *Aristida* (*A. pulmosa*, *A. obusta*), et des *Androcymbium*. Par contre dans les regs argilo-sableux dominant des espèces telles que *Cornulaca monacantha*, *Randonia africana*, *Hyoscyamus musticus*, *Zygophyllum album* (OZENDA, 1983). Les regs sont généralement nus dans le Sahara central, où ils constituent le milieu le plus pauvre et ils peuvent être considérés même comme abiotique sur les vastes étendus.

9.1.3.- Végétation des Hamadas et sols rocheux

Sur les plateaux horizontaux ou peu accidentés, la flore est caractérisée par une végétation bien étalée que celle du reg, même après les pluies. Parmi les plantes vivaces existant, on cite *Anabasis articulata*, accompagnées des plantes annuelles de genres *Erodium*, *Lifago*, *Convolvulus*, *Fagonia*, des géophytes bulbeuses (*Urginea*) et la steppe à *Haloxyloum scoparium*. La végétation des pentes et des falaises très variées renferme une forte proportion d'espèces rares et endémiques comme *Aristida adscensinis*, *Moricandia suffruticosa*, *Lotus roudairea*, *Senecio flavus* (OZENDA, 1983).

9.1.4.- Végétation des dépressions

Dans les dayas et dépressions fermées, le groupement caractéristique est l'association de *Pistacia atlantica* à *Zizyphus lotus*, accompagnée des Composées de genre *Launea*,

Anvillea, Bubonium, des Papilionacées, et association d'*Haloxylum scoparium* et de *Rantherium adpressum* avec *Euphorbia guyoniana*, etc. (HAMDI-AISSA et al., 2005). Au niveau des lits d'oued et les vallées, c'est l'association de *Panicum turgidum* et *Acacia raddiana* qui domine (OZENDA, 1983).

9.1.5.- Végétation des sols salés

Sur les sols salés un peu secs s'établit une steppe caractérisée par la présence des plantes halophiles: Chénopodiacées vivaces telles *Salsola foetida*, *Traganum nudatum*, *Salsola sieberi*, et Zygophyllacées comme *Zygophyllum album*. Lorsque le terrain est plus humide, la formation du Tamarix domine; par contre dans les points où la salure diminue, les espèces qui indiquent une salure faible, demeurent compatible avec la plupart des cultures. La steppe est essentiellement composée d'*Atriplex halimus* (OZENDA, 1983).

9.2.- Interaction sol végétation et influence des facteurs édaphiques

Selon HALITIM (1988), les facteurs édaphiques qui interviennent sur la répartition de la végétation sont la texture, la salure, la teneur et le niveau de concentration du calcaire et du gypse, l'hydromorphie, la réserve en eau utile et la teneur en matière organique. Toutefois, LE HOUEROU (1959) utilise le terme de groupe éco logique pour montrer la liaison existante entre un ensemble d'espèces vis-à-vis d'un facteur du milieu et présentant entre elles des corrélations positives. La mise en évidence des rapports sols végétations montre que cette dernière est très sensible aux variations édaphiques concernant la morphologie et le chimisme du profil, mais que le degré d'évolution du sol se manifeste assez peu dans la composition du tapis végétal, sauf bien entendu, lorsque cette évolution se marque par des modifications physiques ou chimiques importantes du profil. Ce sont finalement les facteurs susceptibles de modifier le bilan de l'eau du sol, comme la pente, la position topographique, la texture, la structure, la profondeur, le chimisme,... qui manifestent une action prépondérante sur la composition et la structure de la végétation à l'intérieur d'un climat donné (LE HOUEROU, 1959).

9.2.1.- Groupements zonaux

Caractérisant la végétation directement soumise à l'influence des facteurs édaphiques déterminant (salure, nappe...) qui masquent l'action des autres facteurs climatiques (POUGET, 1980). Ce sont des groupements forestiers et steppiques qui correspondent à une végétation naturelle fortement influencée par le climat, mais aussi par les autres facteurs écologiques, édaphiques et anthropiques. Représentant en fait la grande majorité des groupements, ils se différencient tout d'abord selon les bioclimats, les étages et sous-

étages bioclimatiques généralement sont en concordance avec les étages et sous-étages de végétation. Dans chaque bioclimat, les groupements s'ordonnent ensuite dans chacune des variantes et sous-variantes thermiques selon des séries exprimant la dynamique de végétation sur des substrats comparables (POUGET, 1980).

9.2.2.- Groupements du Sahara septentrional

Au Sahara septentrional en particulier l'hétérogénéité du substrat détermine l'apparition des groupements végétaux parfaitement individualisables mais qu'il est bien difficile d'intégrer dans un complexe d'unité supérieure, parce que là se trouve côte à côte dans un complexe indissociable des espèces psammophiles ou gypsophiles (OZENDA, 1983). Dans ce cas seul, une analyse précise basée sur l'individualisation des groupes écologiques peut rendre compte de la nature de l'association (QUEZEL, 1955).

- Groupements halophiles et gypso-halophiles

La végétation des terrains salins et gypso-salins du Sahara septentrional est relativement variée et plus riche du point de vue floristique, parmi lesquelles citent certaines associations telles que l'association hyper-halophile de l'*Halocnemum strobilaceum* qui localise les sebkhas asséchées en été ; l'association gypso-halophile de *Zygophyllum album* et *Traganum nudatum*; l'association de *Suaeda vermiculata* et *Salsola foetida* liée aux sables limoneux fortement chargés en gypse (QUEZEL, 1955).

- Groupements hygrophiles

Les points d'eau non salée ne sont pas très fréquents au Sahara. Les sources qui apparaissent sont peuplées par une végétation hygrophile, d'ailleurs peu nombreuse. Parmi les espèces les plus fréquentes, se remarquent *Samolus valerandi*, *Juncus maritimus*, et quelques pieds de *Tamarix gallica* (QUEZEL, 1955). Ils comprennent des groupements aquatiques des eaux des oueds permanents ou mares permanentes ou temporaires, fontinaux ou palustres. Leur composition est essentiellement la même dans toutes les parties du Sahara.

- Groupements psammophiles

La végétation des sables du Sahara est relativement bien connue. GUINOCHET (1951) décrit quelques associations pour l'étage méditerranéen saharien inférieur. Ces associations peuvent se distinguer d'après leurs exigences édaphiques. Ainsi, on retrouve l'association à *Calligonum comosum* et *Anthyllis sericea* pour les placages sablonneux et les macro-dunes; les associations à *Retama raetam* et *Arthrophytum*

schmittianum pour les oueds sablonneux et les dayas; les associations à *Traganum nudatum*, *Retama raetam* et *Suaeda mollis* pour les steppes sablonneuses à nappe phréatique profonde.

Chapitre 3.- Méthodologie de travail

Le présent chapitre est consacré à la méthodologie générale d'interprétation floristique. Il se base sur de simples relevés botaniques. Il se porte sur l'inventaire des espèces végétales identifiées à vue. L'étude des communautés végétales et la détermination des associations de végétaux permettent la caractérisation d'un écosystème.

1.- Choix des stations d'étude et des sites de prélèvements

1.1.- Choix des stations d'étude

La vision à l'échelle paysagère basée sur la physionomie, amène à choisir les éléments majeurs, significatifs, représentatifs et répétitifs du paysage végétal (formations végétales) à étudier. Le choix des stations est orienté sur la présence de formations végétales à hydro-halophytes sur des substrats à hydro-halomorphie apparente excessive comme un chott, une sebkha, et un lac salé. Ainsi, le choix de la présente étude des formations hydro-halophytes, porte sur trois (3) sites de la cuvette région. Il s'agit du chott d'Ain El-Beida, de la sebkha de Bamendil et du lac salé de Hassi Ben Abdallah.

1.2.- Choix des sites de prélèvements

Une vision à l'intérieur de l'élément paysager choisi, a guidé le choix d'emplacement des relevés et de leurs limites. Les critères fondamentaux de ce choix sont les trois (3) critères: Homogénéité floristique, homogénéité physionomique et homogénéité des conditions écologiques.

- **Homogénéité floristique** : apparition plus ou moins régulière de combinaisons définies d'espèces, c'est-à-dire répétitivité de la combinaison floristique;
- **Homogénéité physionomique** : aspect lié à la dominance d'une ou plusieurs espèces;
- **Homogénéité des conditions écologiques** (notamment les conditions édaphiques): uniformité des conditions apparentes c'est-à-dire homogénéité dans la physionomie et la structure de la végétation ainsi que les conditions édaphiques (GILLET, 2000).

Les sites étudiés sont homogènes vis-à-vis des contrastes du milieu, tels que l'exposition, la lumière, la microtopographie, etc. A l'intérieur de chaque surface choisie des relevés, le choix est orienté par l'absence de variations significatives de la composition floristique ou du milieu.

2.- Présentation des stations d'étude

2.1.- Chott Ain El-Beida

Le chott est une dépression saline dont la partie inondée est constituée par la sebkha, qui se situe dans la cuvette à 6 km à l'Est du chef lieu de la wilaya (5°22' Est, 31°59' Nord), sur une altitude de 142 à 146 m, couvrant une superficie de 6.853 ha . Limité à l'Ouest et au Sud par des palmeraies de la cuvette de Ouargla, et à l'Est par la palmeraie de Ain El Beida. Le chott est allongé en direction Nord-Ouest Sud-Est sur une longueur de 5.3 km et une largeur de 01 à 1.5 km. Il est parcouru par un réseau de drains qui canalisent les eaux excédentaires de la nappe ph réatique de la palmeraie d'Ouargla ainsi que les eaux usées de la ville (ONA, 2003).

Le site constitue une zone humide bordée de formations végétales halotolérantes, herbacées, forestières et buissonnantes représentées par des formations arborées dégradées et par des buissons épars. Cette zone humide est s ituée sur la voie migratoire des populations d'oiseaux migrateurs des régions eurasiatique et Africaine, le chott abrite plusieurs espèces d'oiseaux d'eau, tant sédentaires que migratrices (DGF, 2005).

2.2.- Sebkhha de Bamendil

Cette station se situe dans une dépression saline (05°17' Est, 31°56' Nord), sur une altitude de 130 m, à une distance de 4 km du centre de la cuvette et couvrant une superficie de 3 ha environ. Elle est limitée au Nord par la zone urbaine de Bamendil, et au Sud par la maison de Toyota. A l'Est, elle est bordée d'une route secondaire et à l'Ouest la sebkha est limitée par la palmeraie de Mekhadma. La station se caractérise par la présence d'une végétation spontanée halotolérante (BAAMEUR, 2006).

2.3.- Lac de Hassi Ben Abdallah

Cette station se situe dans une dépression saline dont la partie centrale est submergée d'eau saline, sur une altitude de 136 m, à une distance d`environ 15 km au Nord-Est du chef lieu de la wilaya. Couvrant une superficie de 6 ha environ, la station est constituée de deux parties allongées en direction Nord-Ouest Sud-Est. La station se caractérise par la présence d'une végétation spontanée halotolérante très dense (ANRH, 2009).

3.- Principe adopté

La présente étude recherche à mettre en relief l'influence des gradients d'humidité et de salinité du substrat sur la distribution des espèces hydro-halophytes. La méthodologie adoptée est orienté sur:

- Sorties de prospection aux chotts et sebkhas de la cuvette;
- Caractérisation des stations d'étude;
- Des relevés floristiques;
- Identification des espèces rencontrées;
- Réalisation des relevés floristiques;
- Echantillonnage du sol et des eaux de la nappe phréatique.

4.- Etude des caractéristiques floristiques

L'étude de la flore porte sur la réalisation des relevés phytoécologiques, la constitution d'herbier et le traitement des résultats par l'application d'indices écologiques. Elle s'appuie sur la technique du relevé phytosociologique de Braun-Blanquet (GILLET, 2000) qui consiste à dresser la liste des plantes présentes dans un échantillon représentatif et homogène du tapis végétal en opérant strate par strate. À l'intérieur de chaque phytocénose reconnue sur le terrain, il est recherché une surface de végétation homogène et représentative afin d'y effectuer les relevés phytoécologiques (GILLET, 2000). FLAHAUT et SCHRÖTER (1910), notent qu'une association végétale est une communauté végétale de composition floristique déterminée, présentant une physionomie uniforme et croissante dans des conditions stationnelles uniformes. (WALTER, 2006). Pour Braun-Blanquet (1915), une association végétale est un groupement végétal plus ou moins stable, en équilibre avec le milieu ambiant, caractérisée par une composition floristique déterminée, dans laquelle certains éléments exclusifs, ou à peu près, appelés espèces caractéristiques, indiquent par leur présence une écologie particulière et autonome (WALTER, 2006).

4.1.- Echantillonnage floristique

L'échantillonnage consiste en général à choisir dans un ensemble un nombre limité d'éléments de façon à obtenir des informations objectives et d'une précision mesurable sur l'ensemble (GOUNOT, 1969). L'étude de la structure spatiale s'appuie sur la technique de l'échantillonnage systématique (GOUNOT, 1969; CHESSEL et *al.*, 1975; FRONTIER, 1983; PETTINI, 1992). Il consiste à disposer des échantillons selon un mode répétitif pouvant être représenté par transects (LONG, 1974; DAGET, 1982; GOUNOT, 1969).

L'échantillonnage se réalise le long de transects de placettes traversant la communauté des hydro-halophytes dans le but d'enregistrer à la fois les variations floristiques et édaphiques (GUL et *al.*, 2001; OMER, 2004). Dans chaque station d'étude, il sera choisi trois (3) sous stations pour la réalisation des transects des placettes à échantillonner. Les transects sont tracés de façon linéaire traversant ainsi toutes les

formations hydro-halophytes à partir du centre de la zone humide vers l'extrémité avec la moindre variation possible de microtopographie (ROGEL *et al.*, 2001) (Fig. 7).

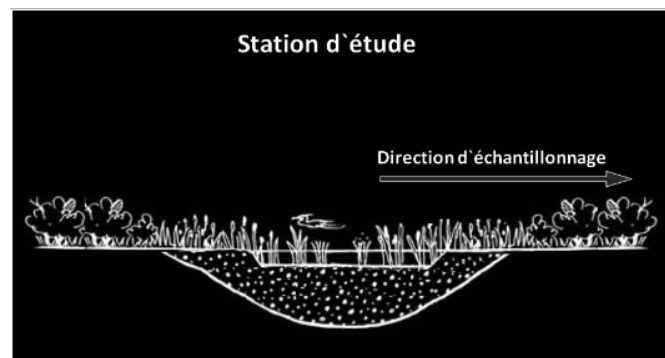


Figure 7- Direction de l'échantillonnage dans les transects (JORGENSEN, 2008)

Le choix du nombre de prélèvements et de leur répartition, sont portés afin de présenter fidèlement l'ensemble de l'aire étudiée. Les relevés floristiques linéaires s'effectuent le long de transects de longueurs et d'orientations variables en fonction de la station et de la physionomie des formations végétales présentes (LENSSEN *et al.*, 2004 ; MARC *et al.*, 2003).

4.1.1.- Etude qualitative

4.1.1.1.- Aire minimale

La surface du relevé doit être égale à l'aire minimale ou autrement dit une surface suffisamment grande pour contenir la quasi-totalité des espèces présentes sur l'individu d'association (GUINOCHET, 1973). GOUNOT (1961), signale que l'aire minimale correspond à l'aire dans laquelle la quasi-totalité des espèces de la communauté végétale est représentée. C'est la plus petite surface sur laquelle ressort la plupart des espèces (LEMEE, 1967). Elle varie selon les groupements végétaux (DJBAILLI, 1984).

En pratique, la valeur de l'aire minimale s'apprécie assez facilement (LEMEE, 1967). Elle est sensiblement constante pour les divers relevés d'un groupement déterminé, mais varie beaucoup d'un groupement à l'autre (OZENDA, 1982). Cette aire est de l'ordre de 100 à 400 m² pour les groupements forestiers, de 50 à 100 m² pour les formations de matorral (BENABID, 1984), de 20 à 50 m² pour les groupements de prairies, de pelouses et quelques mètres carrés seulement pour les plus denses et homogènes (OZENDA, 1982).

Pour la présente étude l'aire minimale sera fixé à 25 m² du fait d'une part de la forte densité de la végétation, et d'autre part de l'homogénéité des conditions édaphiques

régnant dans la totalité des stations étudiées (forte hydro-halomorphie). Les parcelles sont matérialisées à l'aide de petits pieux et d'un ruban le long des transects. Toutes les parcelles seront échantillonnées de façon continue sans espacement car la communauté végétale d'hydro-halophytes n'est pas vraiment très étendue, et cela pour échantillonner le maximum de placettes (Fig. 8).

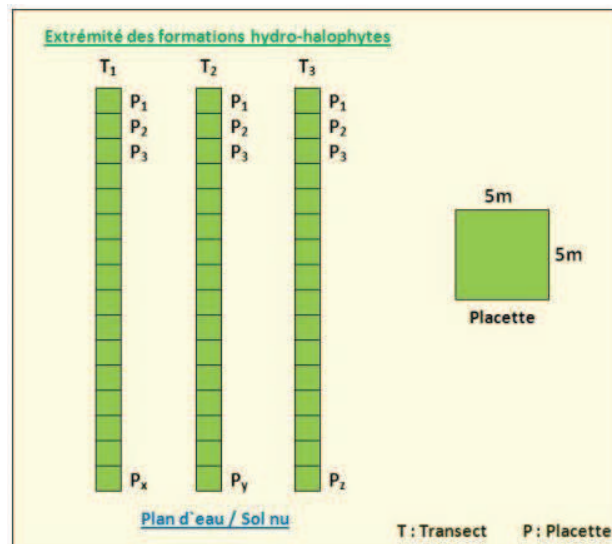


Figure 8- Croquis des transects des placettes échantillonnées

4.1.1.2.- Exécution des relevés phytoécologiques

Après détermination de l'aire minimale, il s'effectue des relevés phytoécologiques avec les informations concernant les variables géographiques (Date, localité, coordonnées, altitude, pente et exposition), les variables environnementales (Lithologie, sol, microclimat) et les variables spécifiques ou floristiques (Liste des espèces végétales présentes, les indices de structure).

4.1.2.- Etude quantitative

4.1.2.1.- Abondance-dominance de BRAUN-BLANQUET

L'échelle des coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet (1951), est notée comme suit:

5: Nombre quelconque d'individus, recouvrement $>3/4$ de la surface de référence ($>75\%$);

4: Recouvrement entre $1/2$ et $3/4$ (50–75% de la surface de référence);

3: Recouvrement entre $1/4$ et $1/2$ (25–50% de la surface de référence);

2: Recouvrement entre $1/20$ et $1/4$ (5–25% de la surface de référence);

1: Recouvrement $< 1/20$, ou individus dispersés à couvert jusqu'à $1/20$ (5%);

+: Peu d'individus, avec très faible recouvrement;

r: rare.

4.1.2.2.- Sociabilité

La sociabilité, suivant une échelle de 1 à 5 d'après Braun-Blanquet (1951), désigne le degré de dispersion spatiale des individus . Elle est notée de:

- 5: Population presque pure, importante ;
- 4: Petites colonies nombreuses ou formant un large tapis ;
- 3: Population formant des petits groupes ou des coussins ;
- 2: Agrégats ou groupes denses ;
- 1: Croissance solitaire.

4.1.2.3.- Vigueur

Cette valeur, suivant une échelle de 1 à 5 donne une information sur l'état physiologique et la capacité d'adaptation du végétal, ainsi:

- 5: très vigoureux;
- 4: vigoureux;
- 3: moyennement vigoureux;
- 2: peu vigoureux;
- 1: non vigoureux.

4.1.2.3.- Etat phénologique

Désigne les diverses phases du cycle vital d'une espèce, en particulier d'une plante supérieure (RAMADE, 2008). Il concerne les stades allant de feuillé, défeuillé, stérile, fleuri et fructifié.

4.1.2.4.- Action anthropique

Ce sont les effets et les modifications induites dans l'environnement par les diverses activités humaines (RAMADE, 2008). Ils portent sur l'intensité d'effet de l'homme, l'intensité d'effet des animaux, etc.

4.2.- Exploitation des résultats par l'application des indices écologiques

L'application des indices écologiques, notamment la richesse, le paramètre de pondération (abondance, dominance), la distribution, la sociabilité, le type de formation et le type biologique permettent de mieux caractériser la flore des différentes stations d'étude.

4.2.1.- Richesse spécifique

La biodiversité floristique des différents types de parcours peut être mesurée par leur richesse floristique (DAGET, 1982 ; DAGET et POISSONET, 1997).

La richesse spécifique, désigne le nombre d'espèces présent dans un écosystème donné ou dans une aire préétablie de ce dernier . Il se distingue en richesse totale et richesse moyenne (RAMADE, 2008) .

4.2.1.1.- Richesse totale (S)

C'est le nombre total d'espèces présentes dans un biotope ou une station donnée .

$$S = sp_1 + sp_2 + sp_3 + sp_4 + \dots + sp_N$$

S: Nombre total des espèces observées

sp₁; sp₂; sp₃; sp₄; sp_N: Espèces observées

4.2.1.2.- Richesse moyenne (S_m)

C'est le nombre moyen d'espèces présentes dans les échantillons d'un peuplement étudié.

$$S_m = \sum S / N \text{ où } \sum S = sp_1 + sp_2 + sp_3 + sp_4 + sp_N$$

S_m : Somme du nombre d'espèces recensées pour les N relevés

N : Nombre total de relevés

La richesse moyenne apporte des informations sur l'homogénéité (ou l'hétérogénéité) de la distribution spatiale des espèces constituant le peuplement étudié (RAMADE, 2008).

4.2.1.3.- Indice de richesse de MARGALEF (D_m)

L'indice de MARGALEF est un indice de richesse spécifique souvent employé (INGRAM, 2008).

$$D_m = (S - 1) / \ln N$$

S : Nombre d'espèces

N : Nombre d'individus dans un échantillon

4.2.2.- Abondance-dominance

Une communauté d'espèces végétales peuplant un microhabitat et présentant de ce fait des exigences écologiques très voisines, constitue une synusie à l'intérieur de laquelle chaque idiotaxon élémentaire est affecté d'un indice semi-quantitatif (ou coefficient) d'abondance-dominance et d'un indice d'agrégation ou coefficient de sociabilité (GILLET, 2000).

L'indice d'abondance-dominance est une estimation globale de la densité (nombre d'individus, ou abondance) et du taux de recouvrement (projection verticale des parties aériennes des végétaux, ou dominance) des éléments de la synusie (organismes individuels représentant l'idiotaxon élémentaire) dans l'aire-échantillon (GILLET, 2000).

BRAUN-BLANQUET a inventé le coefficient d'abondance-dominance, 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, comme la projection verticale de leur appareil végétatif aérien sur le sol. Le coefficient d'abondance - dominance est estimé visuellement (WALTER, 2006).

Cet indice sera estimé selon l'échelle de BRAUN-BLANQUET, de la manière suivante :

- L'espèce couvre plus de 50% :
 - Si plus de 75%, coefficient (5).
 - Si moins de 75%, coefficient (4).
- L'espèce couvre moins de 50% :
 - Si plus de 25%, coefficient (3).
 - Si moins de 25%, coefficient (2).
- L'espèce couvre moins de 5% :
 - Si individus abondants, coefficient (1).
 - Si individus peu abondants, coefficient (+).
- L'espèce est rare (individu unique, très faible recouvrement) :
 - Coefficient (r).

4.2.3.- Sociabilité

L'indice d'agrégation (ou de sociabilité) est une estimation globale du mode de répartition spatiale et du degré de dispersion des individus dans l'aire-échantillon. La sociabilité d'une espèce dépend pour une part des caractéristiques biologiques de celle-ci,

mais, elle varie aussi pour une même espèce selon les conditions du milieu et les processus écologiques (compétition, dynamique,...etc.), comme l'ont démontré divers auteurs (BRAUN-BLANQUET, 1964; SCAMONI et PASSARGE, 1963; WESTHOFF, 1965).

Pour une même abondance-dominance, la répartition des individus peut être différentes selon que les individus soient isolés les uns des autres, qu'ils forment des agrégats, de petites groupes, un large tapis ou une population presque pure. Elle permet de distinguer les espèces dont les individus ont tendance à se regrouper de celles qui ne représentent pas ce caractère.

Dans la présente étude cet indice sera estimé selon l'échelle de BRAUN-BLANQUET.

4.2.3.- Recouvrement

Le recouvrement désigne la proportion de la surface totale d'une station couverte par une espèce végétale. Le degré de couverture, désigne le pourcentage de la surface du sol couverte par la végétation (RAMADE, 2008).

L'approche de calcul du recouvrement est en fonction de la forme de la surface résultant de la projection de la partie aérienne du végétal (DURANTON et *al.*, 1982).

$$R (\%) = \pi (d/2)^2 \times (N/S) \times 100 \text{ (forme circulaire de la partie aérienne)}$$

$$R (\%) = a \times b \quad \text{(forme rectangulaire de la partie aérienne)}$$

d : diamètre moyen en m

N : nombre de pieds de l'espèce

S : surface échantillonnée

a : longueur

b : largeur

4.2.4.- Taux de recouvrement

D'après GOUNOT (1969), le taux de recouvrement est calculé selon la formule suivante :

$$TR = (Rc_i / Rc) \times 100$$

TR : Taux de recouvrement

Rc_i : recouvrement de l'espèce *i*

Rc_t : recouvrement total

4.2.5.- Densité

Les mesures de la densité sont exprimées en nombre d'individu par unité de surface (100 m²), elle a été estimée à l'aide d'un cadre de (0,25 m²) pour le cas de phragmites. Il est utilisé parfois le terme d'abondance pour ce lui de densité.

$$D = n_i/s \text{ (GOUNOT, 1969)}$$

n_i : nombre d'individus d'une espèce i

s : la surface (m²)

4.2.6.- Dominance

La coexistence des espèces dans les communautés écologiques est presque toujours asymétrique, où certaines espèces deviennent dominantes par rapport à d'autres. Cette inégalité de contribution des espèces est reflétée par le degré de dominance, qui peut être fortement évidente quand certaines espèces monopolisent l'occupation de l'espace et caractérisent du point de vue physiologique la structure de l'association végétale (CARDINALE et al., 2006).

- Indice de dominance de SIMPSON (D_S)

Pour cet indice, la dominance se réfère à l'ampleur à laquelle, une ou plusieurs espèces soient abondantes d'une façon disproportionnée dans une communauté végétale. L'abondance des espèces varie le long de gradients environnementaux ou par rapport à des impacts sur l'environnement (INGRAM, 2008).

Les applications les plus communes de l'indice de SIMPSON incluent les comparaisons de différents assemblages de la communauté végétale à travers des emplacements dans un même écosystème, et est écrit comme suit (INGRAM, 2008) :

$$D_S = \sum_{i=1} [(n_i (n_i - 1)) / (N (N - 1))]$$

Où : N est le nombre total des individus dans un échantillon ;

n_i est le nombre d'individus de l'espèce i dans l'échantillon.

Plus la valeur de D est grande, plus est élevée l'équité de l'espèce dans tout l'échantillon, et comme la valeur de D diminue dans un échantillon, la dominance

d'autres espèces serait prévue à augmenter (INGRAM, 2008).

L'indice de dominance de SIMPSON s'est avéré plus sensible pour détecter de petites différences entre les échantillons (INGRAM, 2008).

4.2.7.- Fréquence spécifique

La fréquence spécifique (FS_i) est le pourcentage d'individus d'une espèce par rapport au nombre total des individus recensés dans le même échantillon. Elle est calculée en pourcentage selon la formule suivante (GOUNOT, 1969) :

$$FS_i = (n_i / N) \times 100$$

Où : n_i : Nombre de relevés de l'espèce x ;
N : Nombre total de relevés réalisés.

4.2.8.- Distribution des espèces

A l'échelle d'une biocénose donnée, on appelle répartition des individus la façon dont ils se répartissent à la surface de leur habitat (RAMADE, 2008).

4.2.9.- Type de formation

Lorsqu'on s'intéresse à la végétation, une première approche peut se faire sans tenir compte de la composition floristique, mais compte tenu de la physionomie de la végétation (OZENDA, 1982). La notion de formation végétale s'appuie sur les particularités d'aspect des végétaux qui la composent. Il s'agit de classer les principaux végétaux en fonction de leur physionomie. Pour cela, il sera fait appel à la classification de RAUNKIAER (1934). Elle s'appuie sur la morphologie générale du végétal et notamment sur la position des bourgeons de renouvellement par rapport à la surface du sol. Ces bourgeons sont les organes qui permettent de passer la mauvaise saison. LACOSTE et SALANON (2001) donnent les différents types (ou formes) biologiques.

5.- Etude des caractéristiques pédologiques

Le couple sol-couvert végétal, peut être considéré comme un système à deux compartiments qui échangent en permanence. Le couvert végétal inévitablement temporaire, car vivant, se développe au dépend du sol qui fournit les éléments nutritifs, tandis que les sols se sont développés, dans une partie par incorporation d'une fraction de la matière organique produite par le couvert végétal (STENGEL et *al.*, 1995).

5.1.- Technique d'échantillonnage

A partir de chaque transect inventorié, il sera pris un relevé du profil (0-120 cm) du sol à la première placette, et de chacune des placettes un échantillon du sol (0-40 cm) le long du transect jusqu'au centre de la zone humide. Les échantillons sont prélevés à l'aide de la tarière comme indiqué sur la figure 9.

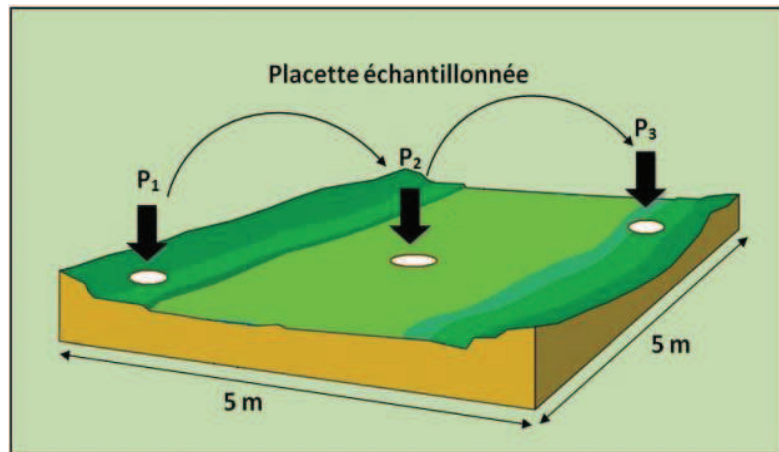


Figure 9- Prélèvement de l'échantillon sol au niveau des parcelles d'étude

L'échantillon sol a été pris à partir d'un mélange de trois prélèvements (P_1 , P_2 , P_3). Les échantillons ainsi prélevés sont analysés afin de connaître les caractéristiques des sols, et suivre l'hydro-halorphie le long des transects. Pour cela, il est mesuré sur l'extrait dilué (1/5) du sol : la conductivité électrique (CE), le pH, et le résidu sec.

5.2.- Analyses du sol

Une fois les échantillons de sol séchés, une aliquote est broyée et tamisée à 2 mm pour mesurer selon les normes AFNOR (1996): la granulométrie, le pH, la CE, le résidu sec, le calcaire, le gypse, et les sels solubles.

5.2.1.- Mesure physique

5.2.1.1.- Analyse granulométrique

A pour but de quantifier les particules minérales élémentaires groupées en classe (AUBERT, 1978). Elle a été effectuée par voie sèche qui consiste à classer par tamisage les différentes fractions constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis (2,0 mm, 1,0 mm, 0,40 mm, 0,20 mm, 0,10 mm, 0,08 mm) (DUPAIN et *al.*, 1995).

5.2.1.2.- Estimation de l'humidité

C'est la teneur en eau du sol en place estimée par la différence de poids après séchage à l'étuve à 70°C pendant 48 heures (VIELLEFON, 1979).

5.2.2.- Mesures chimiques et physico-chimiques

5.2.2.1.- pH et conductivité électrique (CE)

Les mesures du pH et de la conductivité électrique ont été appréciées par méthode électrométrique à l'aide d'un pH mètre et d'un conductimètre, sur des extraits aqueux dont le rapport sol/eau est de 1/5 (AUBERT, 1979; AFNOR, 1999).

5.2.2.2.- Résidu sec (R_s)

Il est mesuré par séchage total d'un volume de 50 ml de l'extrait aqueux à l'étuve à 110°C pendant 24 heures (DURAND, 1958).

5.2.2.3.- Calcaire total

Il se détermine par calcimétrie volumétrique à l'aide d'un calcimètre de Bernard. Il est utilisé la propriété du carbonate de calcium de se décomposer sous l'action d'un acide, en eau et gaz carbonique, ce dernier est recueilli, dans un tube gradué en millilitres (AUBERT, 1978).

5.2.2.4.- Matière organique

Elle se mesure à l'aide d'un spectrophotomètre (DR 2000). Elle se base sur le principe d'oxydation de la matière organique par une quantité en excès de dichromate de potassium en milieu sulfurique (AFNOR, 1999).

5.2.2.5.- Gypse

Le dosage du gypse est effectué selon la méthode proposée par COUTINET (1965), et dont le principe est le dosage des ions SO_4^{2-} après une attaque aux carbonates d'ammonium et précipitation sous forme de chlorure de baryum (COUTINET, 1965; VIELLEFON, 1979).

5.2.2.6.- Dosage des anions solubles

Le dosage des anions solubles se fait à partir de l'extrait aqueux (1/5) (COUTINET, 1965; AUBERT, 1978).

- Chlorures (Cl) :

Ils sont dosés par titrimétrie au nitrate d'argent (AgNO_3) en présence de chromate (Méthode argentométrique de MOHR) (AFNOR, 1999).

- Ions des carbonates (CO_3^{-2}) et bicarbonates (HCO_3^-)

Leur dosage se fait par titrimétrie à l'aide de l'acide sulfurique (H_2SO_4). La méthode consiste à titrer les carbonates en présence de la phénolphthaléine, et de la même façon pour les bicarbonates en présence de l'orange de méthyle (AFNOR, 1999).

- Ions SO_4^{-2}

Les sulfates sont dosés par méthode gravimétrique au BaCl_2 qui consiste à précipiter les ions SO_4^{-2} sous forme de sulfate de Baryum (BaSO_4) en présence de BaCl_2 à 10% (AFNOR, 1999).

5.2.2.7.- Dosage des cations solubles

Il se fait à partir d'un extrait aqueux au 1/5.

- Ions Ca^{+2} et Mg^{+2}

Ils sont dosés par spectrophotomètre à absorption atomique Perkin Elmer (AFNOR, 1999).

- Ions Na^+ et K^+

Ils sont dosés par spectrophotomètre à flamme Eppendorf (AFNOR, 1999).

6.- Etude des caractéristiques hydriques

L'étude de l'impact de l'hydro-halomorphie sur la végétation nécessite le sondage du niveau piézométrique de la nappe, ainsi que les analyses physicochimiques de l'eau.

6.1.- Sondage du niveau piézométrique de la nappe

Il s'agit de creuser le sol à l'aide de la tarière pour mesurer le niveau piézométrique de la nappe phréatique à l'aide d'une sonde électrique.

6.2.- Prélèvement et conservation d'échantillons d'eau

Les échantillons seront recueillis dans des flacons hermétiques qui auront été soigneusement rincés sur place avec la solution de la prise (RODIER, 1996).

Les échantillons seront pris de chaque placette le long des transects jusqu'au centre de la zone humide où il y a affleurement comme c'est le cas du lac de Hassi Ben Abdallah et du chott de Ain Beida.

6.3.- Analyse de l'eau

Les analyses de l'eau concerneront pour la présente étude:

- la conductivité électrique (CE) à 25°C, à l'aide d'un conductimètre (AFNOR, 1999) ;
- le pH, au pH-mètre à électrode en verre (AFNOR, 1999) ;
- le résidu sec (R_s), par dessiccation d'un volume d'eau de 50 ml à l'étuve à 110°C pendant 24 heures (DURAND, 1958).

7.- Exploitation des résultats : Analyse en composantes principales (ACP)

Est une méthode statistique essentiellement descriptive; son objectif est de présenter sous une forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données. Les données comportent n variables quantitatives. Les individus peuvent être représentés dans un espace à p dimensions (PHILIPPEAU, 1986).

Chapitre 4- Résultats et discussion

Cette étude recherche la répartition de la végétation hydro-halophytique et l'impact de l'hydro-halomorphie dans la cuvette d'Ouargla. Les résultats de l'étude portent sur la flore mais aussi sur les nappes phréatiques et l'halomorphie des sols tout en visant de mettre en relief l'impact des relations nappe-sol-végétation.

4.1.- Etude de nappe phréatique

Au vu des résultats de l'étude de la nappe phréatique dans les stations d'étude, il apparaît une variabilité de profondeur et de salinité le long des transects échantillonnés.

Le niveau de la nappe phréatique dans le Chott d'Ain El-Beida (AB) varie dans les transects ABT₁, ABT₂ et ABT₃ respectivement de 6,2 cm à 47,33 cm, de 10,25 cm à 47,50 cm, de -5,13 cm à 121,30 cm. Dans le transect ABT3 (fig. 11), les hydro-halophytes sont proches de la zone d'affleurement des eaux, contrairement aux transects ABT1 et ABT2. Dans ces derniers les hydro-halophytes commencent à s'installer respectivement à 35 m et 20 m du plan d'eau. La moyenne du niveau de la nappe phréatique à partir des premières jusqu'aux dernières ceintures végétales entourant le centre du chott est respectivement de 3,77 cm et 72,04 cm (fig.11).

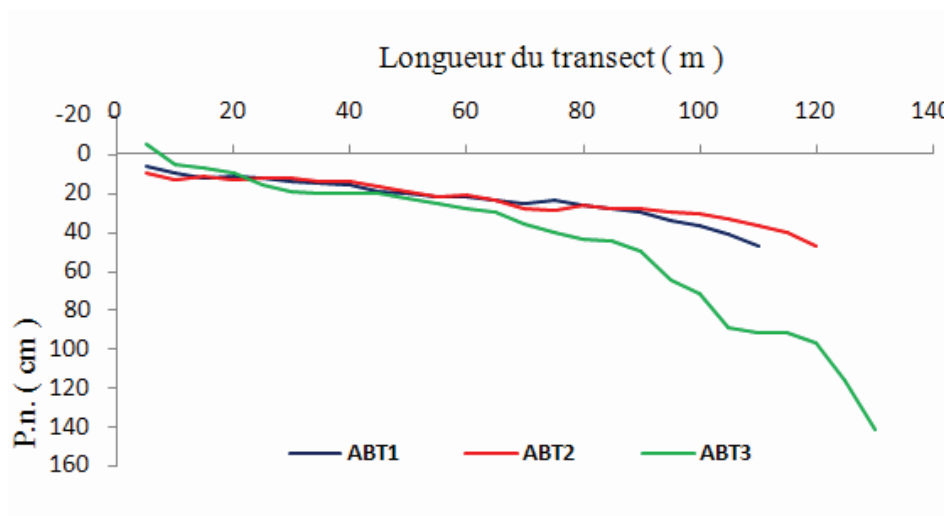


Figure 11. Variations du niveau des eaux phréatiques dans le Chott d'Ain El-Beida

Dans la station du Lac de Hassi Ben Abdallah (HBA), les formations hydro-halophiles s'installent à des niveaux de submersion très élevés (plus que -75 cm). L'échantillonnage a été procédé à des niveaux inférieurs à cause de difficultés d'accès au centre de la station. Les mesures du niveau de la nappe phréatique autour du Lac de Hassi Ben Abdallah varient dans les transects HBAT₁, HBAT₂ et HBAT₃ respectivement de -6,50 cm à 60,25 cm, de -21,50 cm à 30,66 cm et de -23,50 cm à 65,33 cm.

La moyenne du niveau de la nappe phréatique sous les premières ceintures végétales entourant le lac est de -17,16 cm et au niveau des dernières ceintures végétales, est de 52,08 cm (fig. 12).

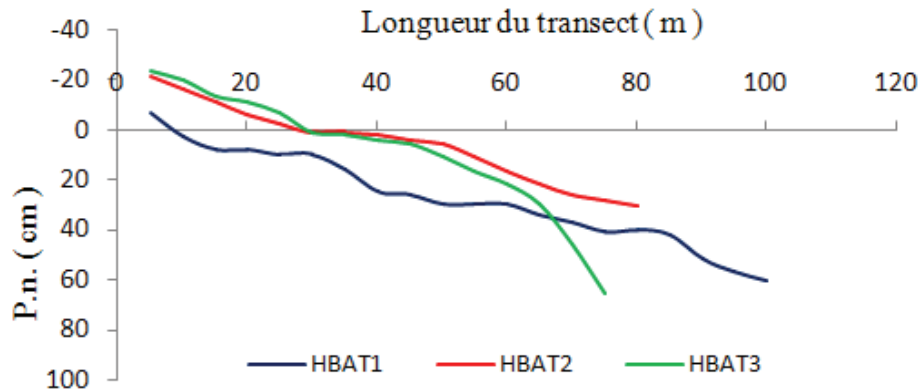


Figure 12. Variations du niveau de la nappe phréatique dans le Lac de Hassi Ben Abdallah

Durant l'échantillonnage, dans la Sebkhia de Bamendil (B), la nappe affleure à -11cm. Les hydro-halophytes s'installent à des niveaux d'affleurement réduits. Les mesures du niveau des eaux phréatiques pour les transects BT₁, BT₂ et BT₃ à la station de la sebkhia varient respectivement de 67,25 cm à 31,5 cm, de 5,33 cm à 42,33 cm et de -5,50 cm à 43,66 cm. Dans le transect BT₁ le niveau de la nappe phréatique remonte en allant du centre de la sebkhia vers les bordures de la palmeraie. Cela sem ble s'expliquer par l'effet de gonflement de la nappe phréatique suite à l'ajout des eaux d'irrigation, en absence d'un système de drainage efficace des palmeraies. La moyenne du niveau des eaux phréatiques à partir des premières jusqu'aux dernières ceintures végétales entourant la sebkhia est respectivement de 2,66 cm et de 50,97 cm (fig. 13).

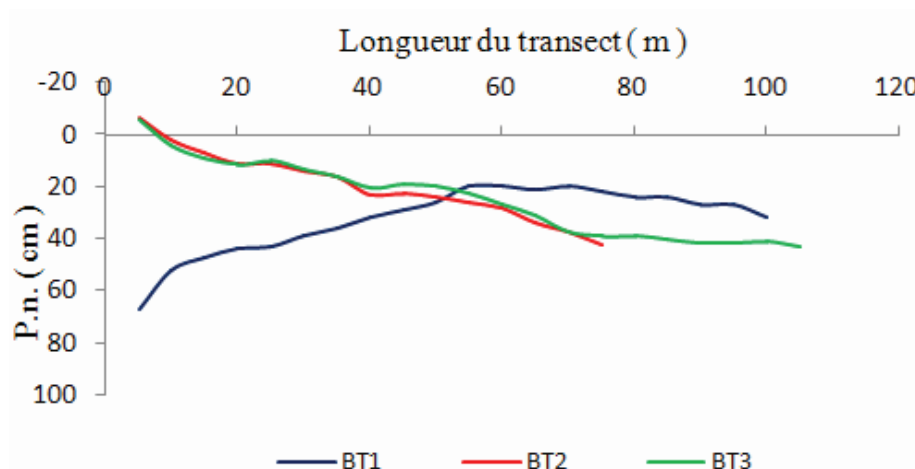


Figure 13. Variations du niveau de la nappe phréatique dans la Sebkhia de Bamendil

Pour la qualité des eaux phréatiques (Salinité et pH des eaux), les résultats obtenus montrent que la salinité et le pH des eaux phréatiques varient considérablement d'une station à l'autre (Tab. 6).

Ces eaux sont de salinité excessive et de pH alcalin à très alcalin (Annexe 1).

Tableau 6. pH et salinité des eaux phréatiques dans les transects échantillonnés des stations d'étude

Stations d'étude			pH _n		C.E. _n	
			Min.	Max.	Min.	Max.
Chott d'Ain El-Beida	Transect	T1	7.67	8.3	18.14	75.42
		T2	7.66	8.24	26.31	76.23
		T3	7.72	8.27	24.85	78.65
Lac de Hassi Ben Abdallah	Transect	T1	7.64	8.21	6.23	15.46
		T2	7.86	8.19	7.45	15.79
		T3	7.94	8.22	8.16	14.26
Sebkha de Bamendil	Transect	T1	7.83	8.19	17.54	86.37
		T2	7.5	8.21	10.97	20.58
		T3	7.22	8.15	12.97	28.82

L'étude des mesures moyennes montre une salinité très élevée dans les transects de la station du Chott d'Ain El-Beida par rapport à la Sebkha de Bamendil et le Lac de Hassi Ben Abdallah, avec des moyennes globales par station de résidu sec (Rs) respectivement de 34,96 g/l, 17,46 g/l et de 8,98 g/l, et de conductivité électrique (CE) de 4 1,42 dS/m, 21,56 dS/m et 10,31 dS/m (fig.14).

L'alcalinité paraît plus importante dans les eaux des transects du Lac de Hassi Ben Abdallah par rapport aux autres stations d'étude, où le pH moyen global est de 8,07 par rapport à 7,92 pour les eaux du Chott d'Ain El-Beida et 7,88 pour celles de la Sebkha de Bamendil (fig.14).

Cette variabilité du pH de l'eau dépend de son origine et de la nature du terrain traversé (HACINI, 2006).

Les eaux phréatiques dans les stations d'étude, montre une variabilité cationique et anionique de faciès prédominant chloruré sodique (fig. 15).

La concentration ionique semble importante dans le chott par rapport à la sebkha et au lac qui montre les concentrations les plus faibles. Ce qui peut être expliqué par l'effet d'hydratation des sels au niveau du lac où le volume d'eau est plus important, et de la nature des eaux phréatiques elles-mêmes.

Pour l'étude des eaux phréatiques en se rapportant aux formations hydro-halophiles, il est à noter que les ceintures végétales dans les stations d'étude commencent en général à s'installer dès l'affleurement des eaux phréatiques aux rives du lac ou de la sebkha et continuent vers des extrémités à distances variables.

Les formations végétales sont soumises à des niveaux d'hydromorphie, d'halomorphie et d'alcalinité variables dus au niveau des eaux phréatiques. Ces eaux sont en général très salées, alcalines à très alcalines et de nature chimique chloruré sodique.

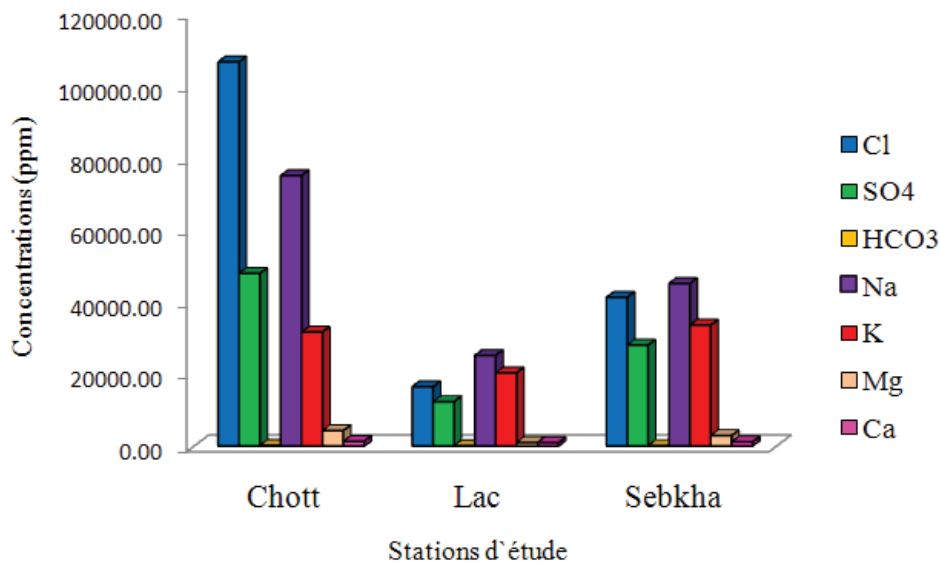


Figure 15. Bilans ioniques des eaux phréatiques des différentes stations d'étude

4.2.- Etude de la salinité des sols

Les résultats de la caractérisation des profils des sols et de l'hydro-halomorphie dans les transects des stations étudiées montrent une variabilité hydro-édaphique importante.

La caractérisation des profils des sols dans les stations d'étude montre une variabilité morpho-analytique au niveau de la granulométrie, les teneurs en calcaire, en gypse et en matière organique, de pH et de salinité (Tab.7, 8, 9 et 10).

Les analyses granulométriques des sols montrent en général une prédominance de la texture sableuse, riche en fractions sableuses fines (Tab. 7). Cela peut contribuer à amplifier vraisemblablement l'asphyxie racinaire pour les végétaux hydrofuges (HERIBERT, 2004). Toutefois, il apparaît au niveau des transects du Lac de Hassi Ben Abdallah et le premier transect de la Sebkha de Bamendil l'existence de croûtes gypso-calcaires de niveau (75 cm) qui vont constituer fort probablement des obstacles mécaniques pour l'enracinement des végétaux et favorisent l'hydromorphie dans les sites précités, état confirmé dans les palmeraies de Ouargla (DADDIBOUHOUN, 2005).

Les profils étudiés (Tab. 8, 9, 10) sont pauvres en matière organique (0,11% à 2,37%), riches en gypse et pauvres en calcaire pour les sols de la station du Chott d'Ain El-Beida et de la station de la sebkha de Bamendil par rapport aux sols de la station du Lac de Hassi Ben Abdallah pauvre en sels peu solubles avec l'existence de croûtes gypseuses en profondeur.

Les résultats d'analyses ont permis d'établir cinq (05) profils salins, excepté les cas des trois transects de la station du Lac de Hassi Ben Abdallah et du premier transect de la station de la Sebkha de Bamendil à cause de l'existence de croûtes gypso-calcaires. Les figures 16, et 17 représentent les variations de salinités dans les profils étudiés.

Les profils salins du Chott d'Ain El-Beida, ont permis d'établir dans cette station trois profils salins. La figure 16 montre une répartition de salinité qui prend une allure ascendante dans les profils des transects ABT₁ et ABT₂, ceux-ci sont de type A.

Le profil du transect ABT₃ est de type C enregistrant un maximum de salinité dans les premières tranches de profondeur et un deuxième maximum situé à plus d'un mètre de profondeur. Selon SERVANT (1973) ce type de profil (type C) est une forme intermédiaire entre les types A et D ou B et sont observés dans les secteurs salés inondables, en dehors des périodes d'inondation.

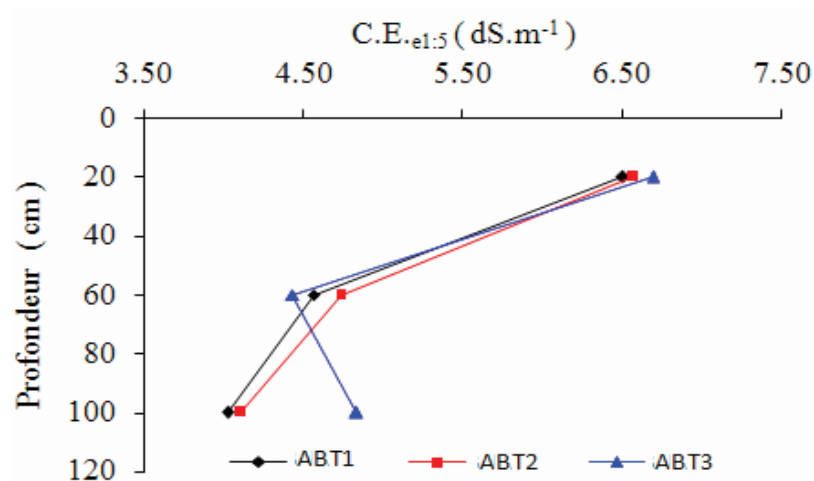


Figure 16. Répartition de la salinité dans les profils d'Ain El-Beida

Les profils salins de la Sebkha de Bamendil, ont permis d'établir dans cette station deux profils salins (fig. 17). L'examen de la figure 17 montre une allure ascendante de la salinité, ces profils sont de type A. Selon SERVANT (1973) ce type de profil s'observe en général sous sols nus ou à faible recouvrement végétal.

Pour l'ensemble des profils une salinisation et une alcalinisation importantes des couches superficielles due à une salinisation ascendante par remontée capillaire, et l'accumulation en surface de sels alcalins provenant des eaux phréatiques sous l'effet

d'évaporation est perceptible dans les stations. Les sels dans les sols montrent un faciès de prédominance chloruré sodique identique à celui des eaux phréatiques.

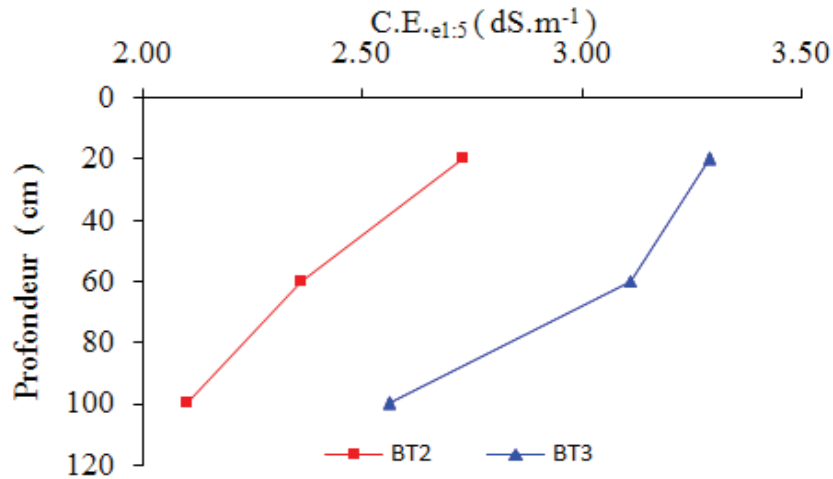


Figure 17. Répartition de la salinité dans les profils de la Sebkhha de Bamendil

Les prélèvements du sol ont permis de définir et de suivre les fourchettes de variations de l'humidité du sol au niveau de la couche 0 à 40 cm. Les valeurs numériques obtenues sont représentées graphiquement dans les figures 18, 19 et 20. L'examen des graphiques montre une diminution de l'humidité du sol tout en s'éloignant du centre du chott (fig. 18), du lac (fig. 19) ou de la sebkhha (fig. 20). Cette diminution suit et se superpose nettement avec les variations du niveau de la nappe phréatique qui s'éloigne en profondeur en allant du centre vers l'extrémité. L'effet de remontée est très hautement significatif sur la teneur en eau du sol.

L'effet d'inondation s'exprime nettement par un taux élevé d'humidité du sol comme c'est le cas dans la station du lac, où les premières placettes de 5 à 30 m montrent une certaine stabilité du taux d'humidité du sol résultant de l'inondation (51,40 % en moyenne), au-delà, la figure montre une chute intense du taux d'humidité (fourchette de variation à grand écart) à partir de 30 m (49,63 % en moyenne) jusqu'à 50 m (34,86 % en moyenne) ce qui marque la diminution du degré d'inondation, au-delà, la diminution du taux d'humidité suit des fourchettes à petits écarts.

L'effet d'évaporation semble réduire la teneur en eau d'un sol nu plus rapidement qu'un sol à couverture végétale importante comme le cas présent dans le transect ABT₃ au Chott d'Ain El-Beida entre la placette distante de 100 m (36,59%) et celle à 115 m (27,18%) ou le cas des premières placettes du transect BT₃ à la Sebkhha de Bamendil, où le centre est totalement dépourvu de végétation et les hydro-halophytes commencent à exister en pieds clairsemés qu'à l'extrémité et se densifient tout en s'approchant de la palmeraie dite de Bamendil.

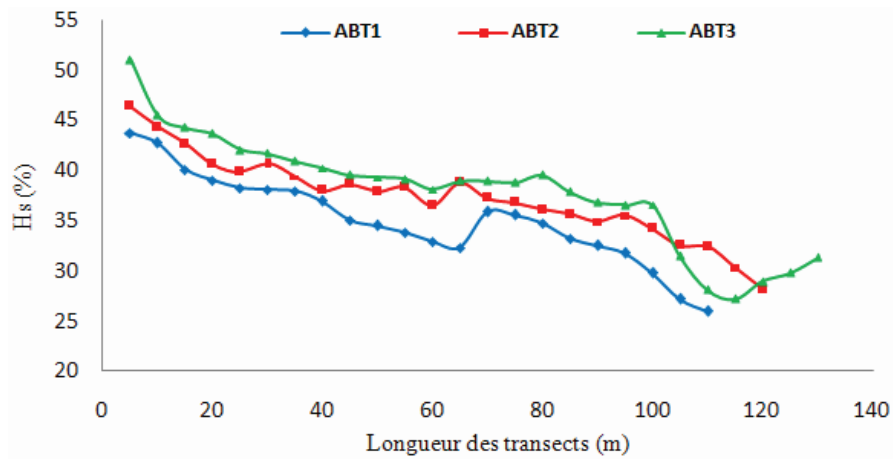


Figure 18. Fourchettes de variations de l'humidité du sol le long des transects du Chott d'Ain El-Beida

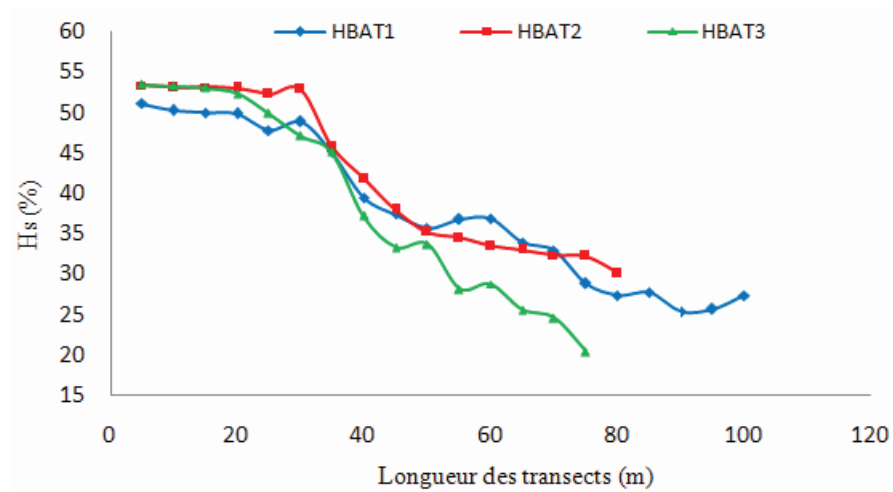


Figure 19. Fourchettes de variations de l'humidité du sol le long des transects du Lac de Hassi Ben Abdallah

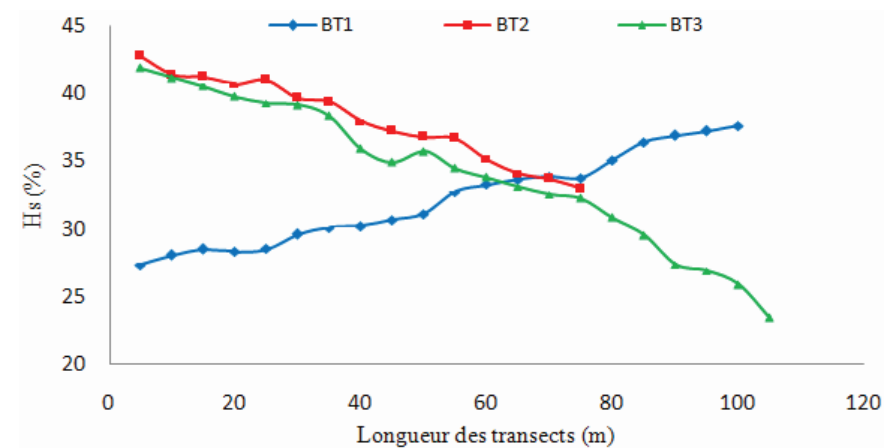


Figure 20. Fourchettes de variations de l'humidité du sol le long des transects de la Sebkhha de Bamendil

Les échantillons du sol ont permis de définir et de suivre les fourchettes de variations de la salinité du sol au niveau de la couche 0 à 40 cm, le long des transects échantillonnés. Les valeurs numériques obtenues sont représentées graphiquement dans les figures 21, 22 et 23.

Les résultats d’analyses des sols prélevés au Chott d’Ain El-Beida montrent une variabilité des conditions d’hydro-halomorphie le long des transects échantillonnés. Ces sols varient entre : sols très forte ment salés et sols hyper salés.

D’après la figure 21, il se remarque qu’aux premières placettes distantes de 5 à 15 m, la salinité du sol prend une allure ascendante. Cela peut se traduire par la diminution du degré d’inondation (du fait que la nappe est salée) car par la suite, au -delà de 20 m nous remarquons une superposition de diminutions de la salinité et de l’humidité. L’effet de l’humidité du sol est très hautement significatif sur la salinité.

L’inondation peut diluer plus ou moins les sels solubles du sol en réduisant leurs concentrations (hydratation), aussi il se note sur terrain que la structure d’un sol inondé est plus légère (peu dense) permettant peut être la dissolution des sels dans l’eau, contrairement à un sol humide ou sec qui montrent une structure plus compacte empêchant le passage de l’eau et des sels au travers. A titre d’exemple, il est à noter ici la salure de la nappe pour exprimer que l’inondation réduit la salinité à des fourchettes de salinité optimale par exemple de 10,67 dS/m (placette humide et hyper salée distante de 15 m du centre) à 10,08 dS/m (placette inondée et hyper salée distante de 5 m du centre). De même, dans les transects ABT₁ et ABT₂, cette salinité croissante dans les placettes de 5 à 15 m se traduit en plus par l’effet intensifié d’évaporation suite à l’absence du couvert végétal. Le même cas s’observe dans les placettes distantes de 105 m à 125 m dans le transect ABT₃ où les sols sont dépourvus de végétation et présentent des dépôts de sels à la surface.

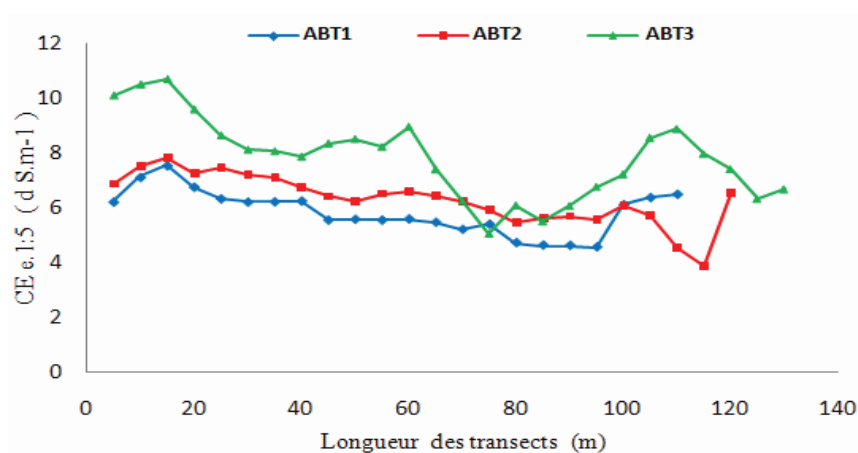


Figure 21. Salinité le long des transects du Chott d’Ain El-Beida

Les résultats d'analyses des sols prélevés aux rivages du Lac de Hassi Ben Abdallah montrent une variabilité de la salinité du sol le long des transects échantillonnés. Ces sols varient entre : sols salés, sols fortement salés, et sols très fortement salés.

L'examen de la figure 22 montre :

- aux premiers abords, une légère diminution de la salinité du sol à partir de 5 à 30 m, elle se superpose avec un taux d'humidité plus ou moins constant ;
- aux abords suivants à partir de 40 m, une augmentation de la salinité du sol qui suit une diminution du taux d'humidité, ainsi l'effet de l'humidité du sol est inversement significatif sur la salinité, cette dernière croît avec la diminution de la teneur en eau contrairement au cas du Chott d'Ain El-Beida.

Des fourchettes de variations très minimes se remarquent et cela peut se traduire par la faible salure de cette nappe phréatique ($R_s = 8,98$ g/L et $CE = 10,31$ dS/m) par rapport à celles du Chott d'Ain El-Beida ($R_s = 34,96$ g/L et $CE = 41,42$ dS/m) ou de la Sebkhha de Bamendil ($R_s = 17,46$ g/L et $CE = 21,56$ dS/m).

La figure 22 montre aussi une salure élevée aux dernières placettes des transects $HBAT_1$ et $HBAT_3$ ce qui est causé en plus par la diminution du couvert végétal amplifiant l'intensité d'évaporation et les dépôts de sels.

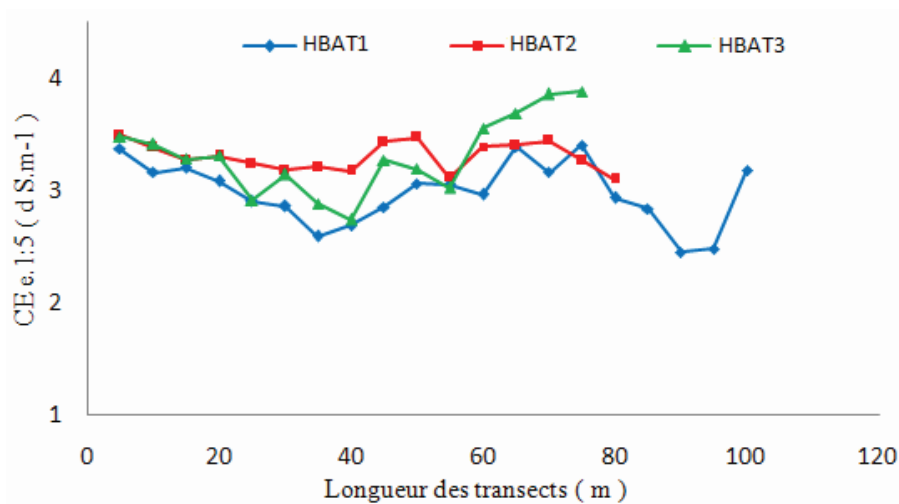


Figure 22. Salinité le long des transects du Lac de Hassi Ben Abdallah

Les résultats d'analyses des sols prélevés dans la station de la Sebkhha de Bamendil montrent une variabilité de la salinité du sol le long des transects échantillonnés. Ces sols varient entre : sols salés, sols fortement salés, sols très fortement salés et sols hyper salés. L'examen de la figure 23 montre une diminution de la salinité du sol tout en s'éloignant du centre de la Sebkhha, ce qui suit nettement les variations du niveau de la nappe phréatique.

D'après la figure 23 il se note que:

- pour le transect BT₁, la diminution de la salinité du sol suit l'augmentation du taux d'humidité du sol, ainsi l'effet de remontée est très hautement significatif sur la salinité du sol. L'évolution de la salinité du sol en relation avec le taux d'humidité dans ce transect (BT₁) se ressemble à celle remarquée au lac.

- pour les transects BT₂ et BT₃, la diminution de la salinité du sol se superpose avec la diminution de la teneur en eau du sol, où l'effet de remontée est très hautement significatif sur la salinité du sol. Ainsi, l'évolution de la salinité du sol en relation avec le taux d'humidité dans ces transects (BT₂ et BT₃), ressemble à celle remarquée au Chott d'Ain El-Beida. Il se remarque une légère variabilité de la salinité du sol ce qui montre l'influence de la couverture végétale sur le taux d'évaporation et la quantité des sels déposés.

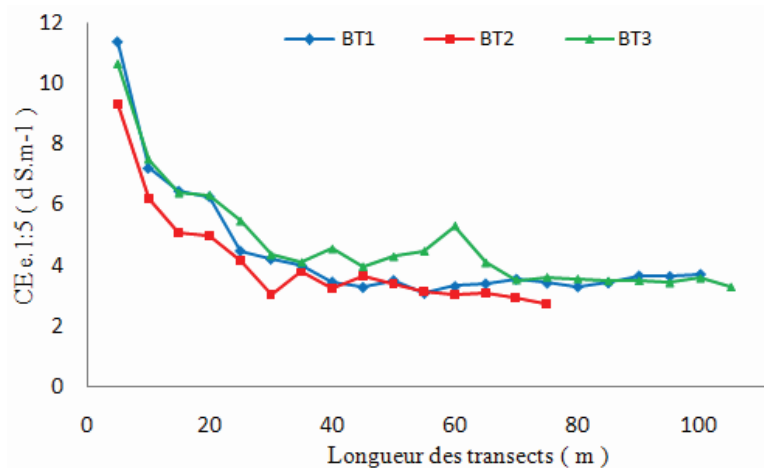


Figure 23. Salinité le long des transects de la Sebkhia de Bamendil

Les prélèvements du sol ont permis de mesurer les variations du pH des extraits aqueux du sol (rapport 1:5) au niveau de la couche 0 à 40 cm, le long des transects échantillonnés, les résultats obtenus montrent une variabilité. Les valeurs numériques obtenues sont représentées graphiquement dans la figure 24. L'examen de la figure 24 laisse apparaître que:

- le pH des sols des différents sites de prélèvement est alcalin;
- pour tous les échantillons et dans les différents sites de prélèvement, les valeurs du pH ont tendance à augmenter avec la salinité du sol, leur effet est significatif au Lac de Hassi Ben Abdallah, hautement significatif au Chott d'Ain El-Beida et très hautement significatif à la Sebkhia de Bamendil.

L'augmentation du pH avec la salinité est la conséquence, selon BELKHODJA (1972) et SERVANT (1975), de l'apparition de traces de soude dans la solution du sol, par suite de la formation de carbonate de sodium au contact de l'air.

Pour les sols des stations étudiées, les profils salins enregistrés prennent généralement une allure de salinité ascendante mais qui peuvent dans certains cas avoir d'autres maximums de salinité dans les différentes couches de profondeur. Selon SERVANT (1973) ces types de profils s'observent : dans les secteurs salés inondables en dehors des périodes d'inondation (cas du chott), ou dans le cas d'un sol nu ou à faible recouvrement végétal (cas de la sebkha). Ces sols montrent en général une texture sableuse au niveau de toutes les couches tarées. Cette texture est souvent dominée par les fractions fines. Généralement les sols des stations d'étude sont alcalins, salés à hyper salés (Tab.11. Fig.24) et montrent des allures descendantes de leurs salinités et de leurs teneurs en eau tout en s'éloignant du centre de la sebkha ou du lac. Ces abaissments du degré d'hydrohalomorphie suivent nettement le niveau des eaux phréatiques qui également s'éloignent en profondeur en allant du centre vers l'extrémité.

Tableau 11. pH et salinité des sols dans les stations d'étude

Stations d'étude			pH _{e1:5}		C.E. _{e1:5}	
			Min.	Max.	Min.	Max.
Chott d'Ain El-Beida	Transect	T1	7.26	8.55	4.56	7.55
		T2	7.35	8.55	3.89	7.84
		T3	7.3	8.55	5.08	10.67
Lac de Hassi Ben Abdallah	Transect	T1	7.15	8.2	2.45	3.4
		T2	7.25	8.15	3.1	3.49
		T3	7.5	8.89	2.74	3.88
Sebkha de Bamendil	Transect	T1	7.53	8.49	3.09	11.37
		T2	7.11	8.6	2.73	9.35
		T3	7.23	8.38	3.29	10.66

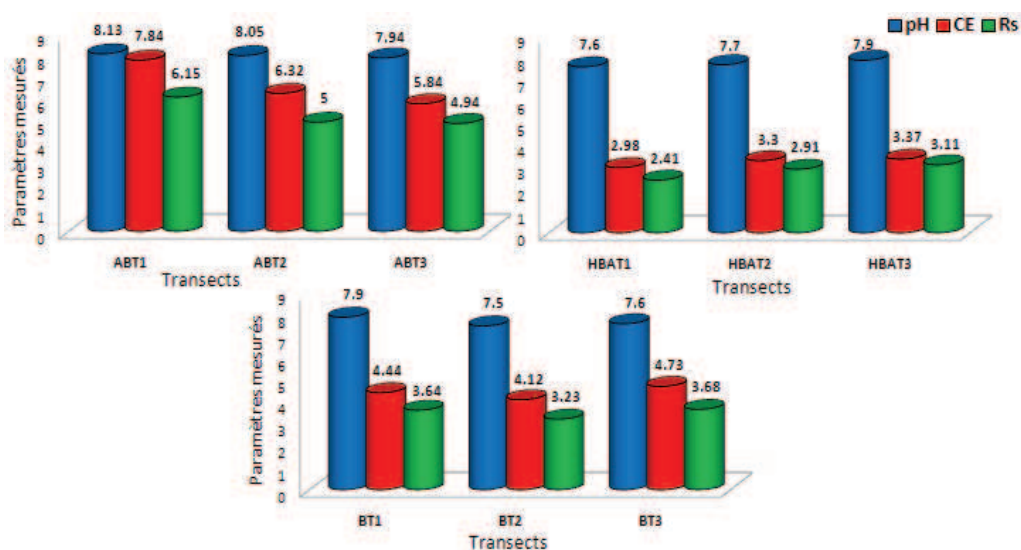


Figure 24. pH du sol en fonction de la conductivité électrique et le résidu sec (AB: Chott d'Ain El-Beida, HBA: Lac de Hassi Ben Abdallah, B: Sebkha de Bamendil, T1.2.3: Transects)

4.3.- Etude floristique

Pour l'étude floristique, il est établi un spectre biogéographique global et des spectres biologiques par sites de prélèvement. Puis il a été procédé à une comparaison globale de la composition floristique et des caractéristiques d'hydro-halomorphie de l'ensemble des relevés, en y observant notamment le pourcentage, la distribution et la dominance des hydro-halophytes présentes dans chaque habitat. Selon BARRY et CELLES (1972-1973) et sur des bases floristiques (KAABECHE, 1990), la zone d'étude fait partie de :

- l'Empire Holarctis
- la Région Méditerranéenne
- la Sous-région Saharo-Arabique
- le Domaine Saharo-Méditerranéen
- le Sous-domaine Sahara septentrional
- le Sous-secteur algérien

La liste floristique étudiée comporte les espèces hydro-halophytes présentes dans les stations étudiées, elle comporte 08 familles, 11 genres et 11 espèces. Deux familles sont représentées par le plus grand nombre de genres (Graminées: 03; et Chénopodiacées: 02), les six autres familles restantes sont représentées par un seul genre chacune. Pour les espèces, une famille est représentée par 03 espèces (Graminées), une autre par 02 espèces (Chénopodiacées) et les six autres familles restent monospécifiques dans les sites de prélèvement. En général, les sites étudiés sont floristiquement pauvres avec 11 espèces. Les Graminées et les Chénopodiacées sont les plus dominantes, elles représentent à elles seules 46 % de la flore étudiées (tab.12).

Tableau 12. Liste des familles avec le nombre de genres et des espèces

Familles	Genres	Espèces
Chénopodiacées	02	02
Composées	01	01
Graminées	03	03
Joncacées	01	01
Palmacées	01	01
Plombaginacées	01	01
Tamaricacées	01	01
Zygophyllacées	01	01

L'élément phytogéographique correspond à «l'expression floristique et phytosociologique d'un territoire étendu bien défini; il englobe les espèces et les collectivités phytogéographiques caractéristiques d'une région ou d'un domaine déterminés» (BRAUN-BLANQUET, 1919 cité par KAABECHE, 1990).

Les espèces recensées dans la zone d'étude et leur appartenance biogéographique sont représentées dans le tableau 13.

Tableau 13. Listes des espèces rencontrées et leur type biogéographique (QUEZEL et SANTA, 1962-1963; LE HOUEROU, 1995)

Espèces	Code	Familles	Types biogéographiques
<i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl.	Al	Graminées	Méditerranéenne
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Cd	Graminées	Cosmopolite
<i>Halocnemum strobilaceum</i> (Pall.)	Hs	Chénopodiacées	Saharo-Méditerranéenne
<i>Juncus maritimus</i> Desf.	Jm	Joncacées	Cosmopolite
<i>Limonium delicatulum</i> (de Gir.)	Ld	Plombaginacées	Saharo-Méditerranéenne
<i>Phoenix dactylifera</i> L.	Pd	Palmacées	Saharo-Arabique
<i>Phragmites communis</i> Trin. Ar.	Pc	Graminées	Cosmopolite
<i>Sonchus maritimus</i> L.	Sm	Composées	Cosmopolite
<i>Suaeda fruticosa</i> Forsk.	Sf	Chénopodiacées	Cosmopolite
<i>Tamarix gallica</i> L.	Tg	Tamaricacées	Saharo-Méditerranéenne
<i>Zygophyllum album</i> Linné.	Za	Zygophyllacées	Saharo-Méditerranéenne

Des spectres biogéographiques bruts ont été établis (Fig. 25) à partir des espèces recensées dans les relevés phytoécologiques des trois stations. Les pourcentages retenus correspondent aux regroupements des éléments Cosmopolite, Méditerranéen, Saharo - Méditerranéen, et Saharo-Arabique.

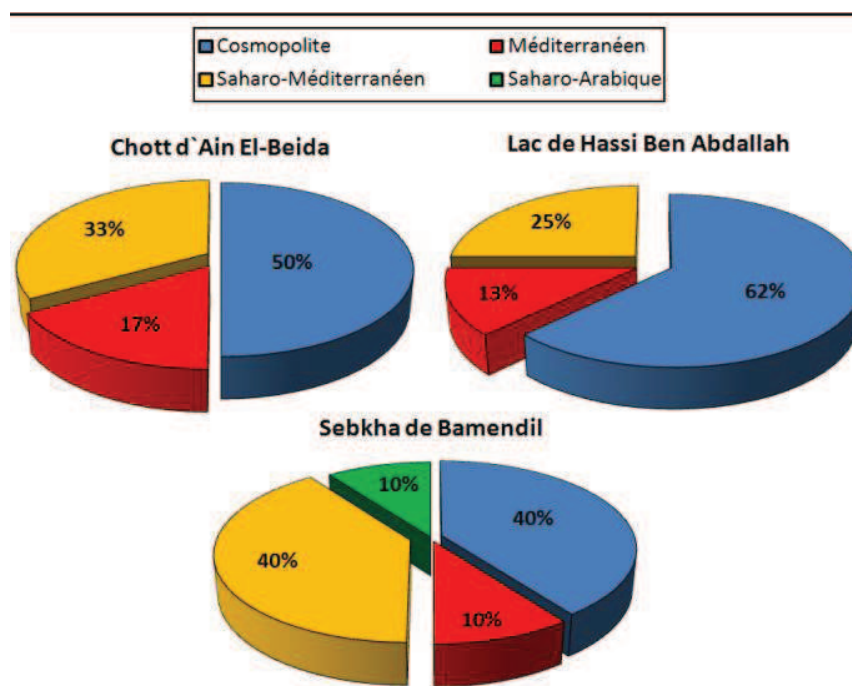


Figure 25. Spectres biogéographiques bruts des sites échantillonnés

L'examen de la figure 25 montre la prédominance des cosmopolites et des Saharo-Méditerranéennes dans les trois sites de prélèvement et particulièrement au Lac de Hassi Ben Abdallah (62%); notamment plusieurs espèces des zones humides ont des répartitions géographiques très étendues s'étendant à plusieurs continents, les menant pour être classées comme cosmopolites, et approximativement 60% de ces espèces ont des portées dépassant le seuil d'un seul continent (SCULTHORPE, 1967).

L'importance de l'élément méditerranéen, peut s'expliquer par le fait que la zone d'étude, vu sa position septentrionale au domaine Saharo-Méditerranéen, est bordée du domaine Maghrébin-Steppique auquel s'ajoutent des pénétrations méditerranéennes. La flore du Sahara septentrional est relativement homogène et les pénétrations méditerranéennes font d'elle l'une des régions les plus riches du Sahara (QUEZEL, 1978).

Les «formes biologiques» (DELPECH et *al.*, 1985) constituent un élément de référence intervenant dans la définition des formations végétales. Depuis le premier système de classification, purement descriptif, basé sur l'observation de la capacité d'une plante à fleurir et fructifier une ou plusieurs années successives, la plupart des auteurs ont tenté d'intégrer les variables écologiques dans les systèmes de classification proposés (GRISEBACH, 1872; WARMING, 1908; OZENDA, 1977 cités par KAABACH, 1990).

Toutefois, la classification la plus utilisée, celle de RAUNKIAER (1905, 1918) est de nature «morphologique». Rappelons qu'elle prend en compte la position, par rapport au sol, des bourgeons de «renouveau» du végétal et permet de reconnaître, en ce qui concerne les «végétaux vasculaires», les 5 principaux types biologiques suivants: Phanérophyte, Chaméphyte, Hémicryptophyte, Cryptophyte, Thérophyte.

Cette classification a été depuis élargie à l'ensemble du Règne végétal (BRAUNBLANQUET, 1928; ROTHMALER, 1955 *in* KAABECHE, 1990); d'autre part, diverses catégories ont été définies à l'intérieur d'un même type (GODRON et *al.*, 1968). Cependant, le classement d'une plante dans un type plutôt que dans un autre n'est pas évident, l'observation sur le terrain a montré que le type biologique d'une même plante peut changer selon le climat, ce qui implique que les types biologiques sont naturellement à noter tels qu'ils sont dans la végétation étudiée, non pas tels qu'ils sont habituellement (EMBERGER, 1966 cité par KAABECHE, 1990).

Selon la participation de chaque type biologique à l'ensemble de la flore, le spectre biologique peut être dressé et donne de précieuses indications sur la structure, la physionomie et les stratégies adaptatives de la communauté végétale (GILLET, 2000).

Pour la présente étude sur les hydro-halophytes, il est utilisé la classification des types biologiques citée par BENOIT BOCK (1999) (TELABOTANICA, 2011) et par différents

auteurs (AJMAL KHAN *et al.*, 2006; SHALTOUT *et al.*, 2008) dans des études de zones humides halophiles dans le domaine désertique (Annexe 2).

Deux spectres biologiques ont été établis à partir des types biologiques des principales espèces recensées dans les relevés phytocécologiques effectués dans les trois sites de relèvement (Tab. 14, 15 et 16). Un premier spectre biologique global des sites étudiés (fig. 26), a été construit à partir du nombre d'espèces de chaque type biologique (spectre biologique simple).

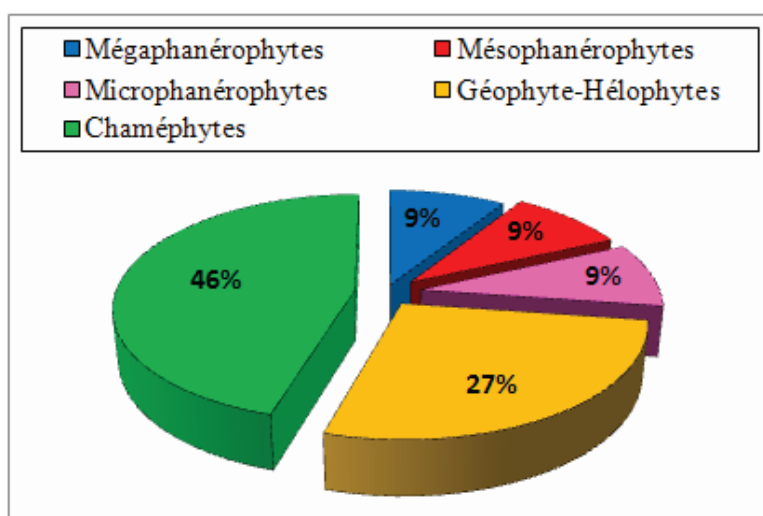


Figure 26. Spectre biologique simple global des trois sites de prélèvement

Le spectre biologique global présenté montre une prédominance des Chaméphytes (46%) et des Géophyte-Hélophytes (27%) sur les autres formes biologiques dans les sites étudiés. Notons que la totalité des espèces recensées sont des espèces vivaces. Ces dernières, étant plus adaptées, se retrouvent de façon permanente dans le milieu, et traduisent au mieux les conditions écologiques.

Tableau 14. Liste des espèces recensées dans la station du Chott d'Ain El-Beida (GH: Géophyte-Hélophyte, Ch: Chaméphyte, MIP: Microphanérophyte, MSP: Mésophanéophyte; T.B.: type biogéographique)

Espèces	Familles	Genres	T.B.
<i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl.	Graminées	<i>Aeluropus</i> Trin.	GH.
<i>Halocnemum strobilaceum</i> (Pall.) M.B.	Chénopodiacées	<i>Halocnemum</i> Marsch.	Ch.
<i>Juncus maritimus</i> Desf.	Joncacées	<i>Juncus</i> L.	GH.
<i>Phragmites communis</i> Trin. Ar.	Graminées	<i>Phragmites</i> Adans.	MIP.
<i>Suaeda fruticosa</i> Forsk.	Chénopodiacées	<i>Suaeda</i> Forsk.	Ch.
<i>Tamarix gallica</i> L.	Tamaricacées	<i>Tamarix</i> L.	MSP.

Tableau 15. Liste des espèces recensées dans la station du Lac de Hassi Ben Abdallah (GH: Géophyte-Hélophyte, Ch : Chaméphyte, MIP: Microphanérophyte, MSP: Mésophanérophyte)

Espèces	Familles	Genres	T.B.
<i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl.	Graminées	Aeluropus Trin.	GH.
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Graminées	Cynodon Rich.	GH.
<i>Juncus maritimus</i> Desf.	Joncacées	Juncus L.	GH.
<i>Phragmites communis</i> Trin. Ar.	Graminées	Phragmites Adans.	MIP.
<i>Sonchus maritimus</i> L.	Composées	Sonchus L.	Ch.
<i>Suaeda fruticosa</i> Forsk.	Chénopodiacées	Suaeda Forsk.	Ch.
<i>Tamarix gallica</i> L.	Tamaricacées	Tamarix L.	MSP.
<i>Zygophyllum album</i> Linné.	Zygophyllacées	Zygophyllum L.	Ch.

Tableau 16. Liste des espèces recensées dans la station de la Sebkhha de Bamendil (GH: Géophyte-Hélophyte, Ch : Chaméphyte, MIP: Microphanérophyte, MSP: Mésophanérophyte, MP: Mégaphanérophyte)

Espèces	Famille	Genre	T.B.
<i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl.	Graminées	Aeluropus Trin.	GH.
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Graminées	Cynodon Rich.	GH.
<i>Halocnemum strobilaceum</i> (Pall.) M.B.	Chénopodiacées	Halocnemum Marsch.	Ch.
<i>Juncus maritimus</i> Desf.	Joncacées	Juncus L.	GH.
<i>Limonium delicatulum</i> (de Gir.) O. K.	Plombaginacées	Limonium Miller.	Ch.
<i>Phoenix dactylifera</i> L.	Palmacées	Phoenix L.	MP.
<i>Phragmites communis</i> Trin. Ar.	Graminées	Phragmites Adans.	MIP.
<i>Suaeda fruticosa</i> Forsk.	Chénopodiacées	Suaeda Forsk.	Ch.
<i>Tamarix gallica</i> L.	Tamaricacées	Tamarix L.	MSP.
<i>Zygophyllum album</i> Linné.	Zygophyllacées	Zygophyllum	Ch.

Pour une étude comparative de la flore des stations d'étude, à partir des résultats concernant la flore recensées au cours des relevés phytoécologiques, rappelons que dans chaque site, il est échantillonné (03) transects différents de manière à relever la totalité des espèces hydro-halophytes présentes dans la station. Notons que les sites 1, 2, et 3 correspondent respectivement aux Chott de Ain El-Beida, Lac de Hassi Ben Abdallah, et Sebkhha de Bamendil.

Pour les spectres biologiques pondérés des sites de prélèvement, il est établi un deuxième spectre biologique par site de prélèvement (fig. 27). Ils sont obtenus à partir de

la pondération des espèces, avec le produit de leur fréquence relative ou de leur recouvrement moyen dans les relevés (spectre biologique pondéré) (GILLET, 2000).

Le spectre biologique pondéré présenté, a été construit à partir de la pondération des espèces rencontrées dans les sites avec le produit de leurs recouvrements moyens afin de permettre une figuration de la structure et de la physionomie des communautés végétales propres à chaque habitat.

L'examen de la figure 27 montre une prédominance des Microphanérophytes dans les deux sites (Chott d'Ain El-Beida, et Sebkhha de Bamendil) avec une contribution respectivement de 52% et 44%, ce qui renseigne sur la physionomie imposée par *Phragmites communis* qui couvre en moyenne 61,65% dans le chott et 41,40% dans la sebkha, et qui prédomine à première vue donnant une physionomie de phragmitaie très dense. Par contre, au niveau du Lac de Hassi Ben Abdallah, se remarque une forte dominance des Géophytes-Hélophytes avec une contribution de 62%, où l'espèce *Juncus maritimus* couvre en moyenne à elle seule 52,81% imposant une physionomie de jonchaie autour du lac.

Pour le Chott d'Ain El-Beida, les Mésophanérophytes dont *Tamarix gallica* occupe une portion de 18% des types biologiques présents et couvre en moyenne 21,84% à elle seule du fait qu'elle prédomine dans toute la partie Nord-Ouest du chott et constitue une **phragmitaie formation arbustive** clairsemée au dessous de laquelle s'installent les Chaméphytes dont l'*Halocnemum strobilaceum* est très abondante. Une faible contribution des Géophytes-Hélophytes de (10%) dont *Aeluropus littoralis* (abondante) et *Juncus maritimus* (peu abondante) couvrent 11,48%.

Au Lac de Hassi Ben Abdallah, les Chaméphytes dont *Zygophyllum album* (abondante aux extrémités des formations végétales), *Suaeda fruticosa* (peu abondante sauf dans la partie Nord-Est du lac), et *Sonchus maritimus* (très abondante que dans la rive Ouest du lac) occupent une portion de 5% des types biologiques et couvrent 8,17%. Les Mésophanérophytes, présentées par l'espèce *Tamarix gallica* (peu abondante), occupe seule 8%.

Pour la Sebkhha de Bamendil, les espèces Géophytes-Hélophytes occupent une portion de 39% des types biologiques où *Juncus maritimus* et *Aeluropus littoralis* (abondantes) couvrent 36,29%. Les Mésophanérophytes dont *Tamarix gallica* occupent 9% de l'ensemble des types biologiques existants avec un recouvrement moyen de 8,43%. Une faible contribution des Chaméphytes avec 6% dont les espèces *Zygophyllum album* (abondante aux extrémités des formations végétales), *Halocnemum strobilaceum* (peu abondante), *Suaeda fruticosa* (peu abondante) et *Limonium delicatulum* (très peu abondante) couvrent 5,51%. Et une très faible contribution des Mégaphanérophytes représentées par *Phoenix dactylifera* (occasionnelle) occupant 2%.

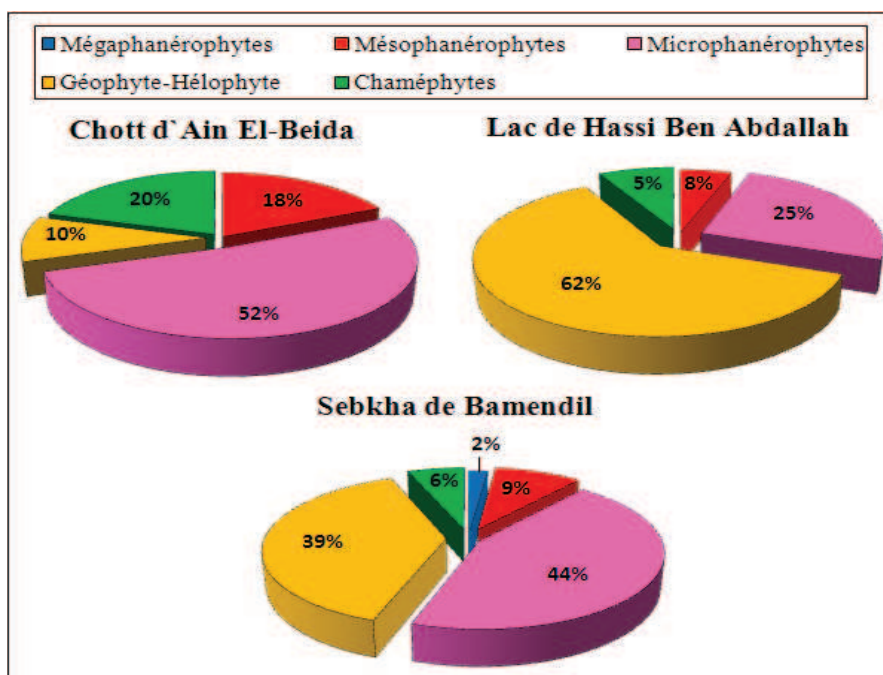


Figure 27. Spectres biologiques pondérés des trois sites de prélèvement

Les indices de similarité de SORENSEN et de JACCARD, calculés sur la base des données rapportées dans le tableau 17.

Tableau 17. Comparaison des compositions floristiques des stations d'étude (a: nombre d'espèces commune aux deux sites, b: nombre d'espèces présentes dans le premier site et absente dans le second, c: nombre d'espèces absentes dans le premier site et présentes dans le second, d: nombre d'espèces absente dans les deux sites, Site1: Chott d'Ain El-Beida, Site2: Lac de Hassi Ben Abdallah, Site3: Sebkhha de Bamendil)

Espèces	Sites 1 et 2				Sites 2 et 3				Sites 1 et 3			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
<i>Aeluropus littoralis</i>	1				1				1			
<i>Cynodon dactylon</i>		1			1						1	
<i>Halocnemum strobilaceum</i>			1				1		1			
<i>Juncus maritimus</i>	1				1				1			
<i>Limonium delicatulum</i>				1			1				1	
<i>Phoenix dactylifera</i>				1			1				1	
<i>Phragmites communis</i>	1				1				1			
<i>Sonchus maritimus</i>			1			1						1
<i>Suaeda fruticosa</i>	1				1				1			
<i>Tamarix gallica</i>	1				1				1			
<i>Zygophyllum album</i>			1		1						1	
Total	5	1	3	2	7	1	3	0	6	0	4	1

Les résultats du tableau 18 montrent que, quel que soit l'indice utilisé, la similarité est toujours plus élevée entre les trois sites étudiés. La plus importante est celle entre le Lac de Hassi Ben Abdallah et la Sebkha de Bamendil, suivie de celle entre le Chott d'Ain El-Beida et la Sebkha de Bamendil et celle entre le Chott d'Ain El-Beida et le Lac de Hassi Ben Abdallah.

Les valeurs importantes de similarité (ou de communauté) traduisent l'homogénéité écologique entre les sites étudiés, et la différence du degré de similarité entre sites est fonction de l'ampleur des conditions d'hydro-halomorphie notant que les conditions prennent ampleur dans l'ordre: lac, sebkha, chott.

Tableau 18. Indices de similarité entre les trois sites

Coefficients de similarité	Sites 1 et 2	Sites 2 et 3	Sites 1 et 3
SORENSEN (S_s)	0.71	0.77	0.75
JACCARD (S_j)	0.55	0.63	0.6

Pour la richesse spécifique, les résultats obtenus sont donnés dans le tableau 19. Le tableau 19 montre que les sites étudiés sont floristiquement très pauvres selon l'échelle de richesse floristique de DAGET et POISSONET (1991). Quoiqu'il existe de faibles différences entre les sites, ils se ressemblent du point de vue richesse floristique, ce qui confirme les degrés de similitude élevés obtenus.

La richesse la plus élevée est celle de la Sebkha de Bamendil avec une richesse totale de 10 espèces et un indice de 0,78 suivie de celle du Lac de Hassi Ben Abdallah avec 8 espèces et un indice de 0,63, puis celle du Chott de Ain El-Beida avec 6 espèces et un indice de 0,42. Cette pauvreté commune de la composition floristique montre une certaine homogénéité écologique entre les sites étudiés, et traduit que de telles stratégies adaptatives sont requises dans ces types d'habitats.

Tableau 19. Richesse spécifique entre les trois sites

(S: Richesse totale, S_m : Richesse moyenne, Site1: Chott d'Ain El-Beida, Site 2: Lac de Hassi Ben Abdallah, Site 3: Sebkha de Bamendil)

	S	S_m	Indice de MARGALEF
Site 1	6	5	0,42
Site 2	8	6,66	0,63
Site 3	10	7,33	0,78

Concernant l'étude des peuplements végétaux, il sera présenté les résultats de mesure de l'évolution de dominance, du recouvrement et de densité des espèces végétales rencontrées le long des transects échantillonnés dans les sites étudiés : Chott d'Ain El-Beida, Lac de Hassi Ben Abdallah et Sebkha de Bamendil.

L'évolution de la dominance des espèces végétales dans le chott est représentée sur la figure 28.

L'examen de la figure 28, à partir du centre du chott vers son extrémité, montre que *Halocnemum strobilaceum* est présente dans tous les transects. Elle commence à s'installer seule à partir des premiers abords dans les deux premiers transects et à partir de 60 m dans le troisième. Elle prédomine avec un indice variant de 0,013 à 1,00 comme indice optimal souvent atteint dans les premières placettes où elle existe seule. La dominance de cette espèce paraît légèrement décroissante en allant vers l'extrémité du chott. Cette diminution est due au rabattement de la nappe et l'augmentation de la salinité du sol. Les impacts de rabattement et de salinisation ont des effets hautement significatifs sur la dominance de cette espèce.

Quant à *Tamarix gallica*, elle s'installe à partir de 35 m dans le premier transect par contre dans les deux derniers, elle n'apparaît qu'à partir de 70 m avec quelques pieds chétifs. Son indice de dominance varie de 36.10^{-5} à un maximum de 1,00 atteint vers 130 m dans le troisième transect où elle domine totalement l'espace avec des pieds très vigoureux. La dominance de cette espèce est par contre croissante en allant du centre vers l'extrémité. Elle suit le rabattement de la nappe. L'effet de rabattement montre une très haute significativité sur la dominance de cette espèce.

Suaeda fruticosa, montre une faible dominance. Son indice marque un optimum de 0,012. Elle s'installe à partir de 55 m (ABT₁) et de 95 m (ABT₃). Son indice note une légère croissance en allant vers l'extrémité du Chott. Cette évolution suit la diminution de salinité de la nappe. En effet, l'impact de la salinité de l'eau phréatique a un effet significatif sur la dominance de cette espèce.

Juncus maritimus n'apparaît que vers les 80 m. Sa dominance est imperceptible dans tous les transects avec un indice très faible inscrivant au maximum 0,01. Elle croît avec la diminution de l'alcalinité et de la salinité des eaux phréatiques et la diminution de la salinité du sol. Ces paramètres en montrent des effets significatifs.

Les deux graminées *Phragmites communis* et *Aeluropus littoralis* sont totalement absentes dans le premier transect. Par contre dans les deux autres transects elles s'installent à partir du plan d'eau (ABT₃) et à partir de 40 m (ABT₂) et elles prédominent respectivement avec des indices maximums de 0,81 et 0,12.

La dominance de *Phragmites communis* croît avec remontée de nappe plus saline, et avec augmentation de l'alcalinité et de la salinité du sol. Ces paramètres ont un effet significatif à très hautement significatif sur la dominance de cette espèce. Pour *Aeluropus littoralis*, elle paraît progressive avec la diminution de l'alcalinité des eaux phréatiques qui montre un effet très hautement significatif sur la dominance de cette espèce.

L'évolution de la dominance des espèces végétales aux alentours du lac est rapportée sur la figure 29. L'examen de la figure 29 à partir du centre du lac vers son extrémité, laisse apparaître que *Phragmites communis* est présente dans tous les transects. Elle s'installe aux voisinages du plan d'eau jusqu'aux limites des formations végétales, et dans certains endroits elle pousse dans l'eau avec *Aeluropus littoralis*, *Juncus maritimus* et *Sonchus maritimus*. Elle prédomine avec un indice qui varie légèrement le long des transects inscrivait un maximum de 0,88. Sa dominance se superpose à la remontée de nappe et à l'augmentation de son alcalinité. La remontée des eaux phréatiques et leur alcalinité en montrent respectivement un effet très hautement significatif et significatif.

Pour *Aeluropus littoralis*, son indice varie de 0,008 à 0,203. La dominance de cette espèce paraît légèrement croissante en allant vers l'extrémité. Elle semble être liée à l'élévation de la salinité des eaux phréatiques et à la diminution de la teneur en eau du sol. La salinité de la nappe et l'humidité du sol montrent des impacts respectivement hautement significatif et significatif sur la dominance de cette espèce.

Sonchus maritimus est présente seulement dans le premier transect. Elle ne pousse que dans l'eau ou dans les sols trop inondés et prédomine avec un indice variant de 0,001 à 0,042. L'indice décroît en allant vers l'extrémité à cause de l'abaissement de la teneur en eau du sol et l'augmentation de l'alcalinité et de la salinité des eaux phréatiques.

L'indice de dominance de *Juncus maritimus* varie dans tous les transects atteignant un maximum de 0,011. La dominance de cette espèce varie suivant des modes différents dans les transects. Elle suit aux premiers abords un mode progressif et par la suite un mode régressif (HBAT₂ et HBAT₃). La dominance de cette espèce paraît conditionnée par une teneur en eau du sol excessive, et une nappe superficielle à salinité amoindrie.

Tamarix gallica s'installe dans tous les transects au-delà de 40 m avec des pieds non vigoureux et une très faible dominance. En allant vers l'extrémité l'espèce montre une dominance progressive inscrivait un maximum de 0,007 d'indice avec des pieds plus vigoureux. Cette progression de la dominance est conditionnée par le rabattement de la nappe phréatique et par l'abaissement de la salinité du sol.

Suaeda fruticosa n'est présente que dans le deuxième transect vers 75 m avec un indice de dominance de 0,0038, et *Cynodon dactylon* dans les deux autres transects, s'installe au-delà de 60 m avec un indice croissant inscrivait un maximum de 0,35. L'abondance de ces deux espèces paraît liée au rabattement de la nappe phréatique.

Zygophyllum album reste l'espèce qui domine la dernière ceinture végétale. Elle s'installe au-delà de 50 m avec une dominance croissante en allant plus vers l'extrémité. Son indice atteint l'optimum de 1,00 à l'extrémité de la formation. Cette croissance est due au rabattement de la nappe phréatique et la diminution de la teneur en eau du sol.

L'évolution de la dominance des espèces végétales dans la station de la Sebkha de Bamendil est rapportée sur la figure 30.

L'examen de la figure montre que *Halocnemum strobilaceum* est présente dans tous les transects prélevés dans la station. Elle s'installe aux premiers abords de la sebkha avec un indice de dominance qui décroît en allant vers l'extrémité et atteint un minimum de 0,0001. Cette régression de dominance est due au rabattement de la nappe phréatique.

Suaeda fruticosa, sa présence est marquée par une très faible dominance inscrivant un indice minime de $0,78.10^{-6}$ avec un maximum de 0,034. Son abondance paraît là où les eaux sont assez profondes. L'impact du rabattement de la nappe montre un effet significatif sur la dominance de cette espèce.

Juncus maritimus, est présente dans tous les transects avec une dominance faible qui marque un indice optimum de 0,227 dans le premier transect. Sa dominance est conditionnée par des eaux phréatiques superficielles. L'impact de remontée des eaux en montre un effet significatif.

Phragmites communis est présente dans tous les transects avec une dominance très importante qui atteint un maximum de 0,96, son indice montre une progression due à la remontée des eaux phréatiques donc une teneur en eau du sol élevée dans le transect (BT1), et à l'abaissement de la salinité du sol dans les deux autres transects.

Tamarix gallica, elle s'installe dans tous les transects avec quelques pieds chétifs et montre une faible dominance d'indice variant de 10^{-6} à 0,004 et qui suit le rabattement des eaux phréatiques qui en montre un impact significatif.

Cynodon dactylon et *Limonium delicatulum* sont présentes que dans le premier transect avec des indices de dominance atteignant respectivement les maximum de 0,002 et de 0,078.

Aeluropus littoralis est présente dans tous les transects avec un indice de dominance atteignant un maximum de 0,221 dans le premier transect. La dominance de cette espèce est liée à l'augmentation de la teneur en eau du sol mais aussi à la diminution de sa salinité. Toutefois, l'humidité du sol en montre un impact significatif.

Phoenix dactylifera, existe dans les deux premiers transects avec pieds non vigoureux marquant une dominance très faible où le maximum d'indice inscrit est de 0,006.

Pour le *Zygophyllum album* qui s'installe aux dernières ceintures végétales dans les transects BT₂ et BT₃, son indice montre un mode progressif atteignant l'optimum de 1,00 vers les extrémités. Cette évolution est due au rabattement de la nappe phréatique et donc la diminution de l'humidité du sol.

L'évolution du recouvrement des espèces végétales dans la station du Chott d'Ain El-Beida, est rapportée sur la figure 31.

D'après la figure 31, il apparaît que le mode d'évolution du recouvrement de toutes les espèces est similaire et la différence réside à l'échelonnement par rapport au centre du chott.

Halocnemum strobilaceum constitue seule une première ceinture végétale à partir de 15 à 35 m, et qui s'étend par la suite en association avec d'autres espèces.

Le recouvrement d'*Halocnemum strobilaceum* est le plus important dans le premier transect atteignant un maximum de 74,53%.

Dans le troisième transect, *Halocnemum strobilaceum* n'apparaît qu'à partir de 60 m avec un recouvrement réduit. Ce recouvrement décroît avec l'élévation de l'alcalinité et de la salinité des eaux phréatiques et de l'humidité et la salinité du sol. En effet, ces paramètres ont des impacts significatifs à très hautement significatifs sur le recouvrement de cette espèce.

Tamarix gallica, apparaît au-delà de 30 m avec un recouvrement allant d'un minimum de 1,2% à un optimum de 98,36%. La progression de ce recouvrement en allant du centre vers l'extrémité du chott est due au rabattement de la nappe phréatique, à la diminution de l'alcalinité et de la salinité de son eau.

Suaeda fruticosa commence à apparaître au-delà de 50 m dans les trois transects, son recouvrement évolue de 1,22% à 9,84%. Cette augmentation suit une diminution de la salinité des eaux phréatiques.

Ultérieurement, *Juncus maritimus* apparaît avec un recouvrement évoluant de 4,12% jusqu'à 29,43%. Cette évolution est due d'une part à la diminution du pH et de la salinité de l'eau phréatique et d'autre part à la diminution de la salinité du sol.

Pour *Phragmites communis* et *Aeluropus littoralis*, elles s'installent dans le transect ABT₃ dès les premiers abords en constituent la première ceinture végétale, et dans le transect ABT₂ elles apparaissent vers 40 m constituant avec *Halocnemum strobilaceum* la deuxième ceinture végétale.

Le recouvrement d'*Aeluropus littoralis* varie de 2,57 à 50,13% suivant une teneur en eau et une salinité élevées du sol, et celui de *Phragmites communis* évolue de 22,35 à 97,03%. Ce recouvrement croît avec l'élévation de la teneur en eau, l'alcalinité et la salinité du sol.

L'examen de la figure 32 montre que le recouvrement le plus élevé des espèces végétales dans la station du lac de Hassi Ben Abdallah, est celui de *Juncus maritimus*, ce qui donne à première vue des formations végétales de la station du lac une physionomie de jonchaie entourant le plan d'eau.

Juncus maritimus s'installe à partir du plan d'eau jusqu'à 90 m dans le transect HBAT₁. Le long des transects son recouvrement évolue progressivement puis régressivement entre 1,22% et 92,43%. Ainsi, la progression du recouvrement paraît liée à une diminution de la salinité du sol avec une teneur en eau élevée conditionnée par remontée d'eaux phréatiques à salinité réduite.

Phragmites communis, s'associe aux joncs à partir du plan d'eau jusqu'à 90 m dans le transect HBAT₁. Son recouvrement évolue suivant différents modes d'évolution et varie entre 6,06% et 52,40%. La progression de ce recouvrement est liée à la remontée des eaux phréatiques.

Le recouvrement d'*Aeluropus littoralis* varie de 5,22% à un maximum de 31,77% suivant un mode progressif puis régressif en allant du centre du lac vers son extrémité. La progression de ce recouvrement est conditionnée par la diminution de la salinité du sol. Ainsi, l'impact de la salinité du sol montre un effet significatif sur le recouvrement de cette espèce.

Pour *Sonchus maritimus*, qui n'est présente que dans le premier transect, elle couvre 5,74% dans l'eau et progressivement atteint 9,58% vers 15 m, et par la suite régresse jusqu'à un minimum de 1,17% atteint à 60 m. Le recouvrement de cette espèce est conditionné par une nappe superficielle à salinité et alcalinité réduites, ainsi que par un substrat à teneur en eau excessive et à salinité réduite aussi.

Le *Tamarix gallica* apparaît au-delà de 40 m de la rive du lac avec un recouvrement qui oscille entre 1,12% et 65,44%. Celui-ci s'élève en allant vers l'extrémité du lac à cause du rabattement de la nappe et la diminution de la teneur en eau du sol.

Suaeda fruticosa est présente dans les deux premiers transects avec un recouvrement évoluant de 1,12% à 9,78% conditionné par le rabattement de la nappe phréatique.

Cynodon dactylon, est présente dans le premier et le troisième transect avec un recouvrement évoluant de 3,41% à 14,60%. Celui-ci est hautement corrélé au rabattement de la nappe phréatique et donc à la diminution de la teneur en eau du sol.

Pour *Zygophyllum album*, qui constitue seule la dernière ceinture végétale entourant le lac, son recouvrement est progressif en allant vers l'extrémité et atteint un maximum de 62,67%. En effet, le rabattement de la nappe phréatique montre un impact très hautement significatif sur le recouvrement de cette espèce.

L'évolution du recouvrement des espèces végétales dans les transects échantillonnés dans la station de la Sebkha de Bamendil est représentée sur la figure 33.

L'examen de la figure 33, montre que *Halocnemum strobilaceum*, est l'espèce qui constitue la première ceinture végétale aux abords de la sebkha, avec un recouvrement qui varie de 2,93% à 17,11%.

Le recouvrement d'*Halocnemum strobilaceum*, décroît avec l'élévation de l'humidité et la salinité du sol. En effet, ces paramètres ont des impacts significatifs sur le recouvrement de cette espèce.

Suaeda fruticosa, est présente dans les deux premiers transects avec un recouvrement maximum de 7,52% qui décroît jusqu'à un minimum de 1,10%. Cette régression est due à la remontée des eaux phréatiques.

Juncus maritimus atteint le maximum de recouvrement dans le premier transect avec 76,91%. Ce recouvrement montre une progression à partir du centre. Cette évolution est due à la remontée des eaux phréatiques et à la diminution de la salinité du sol.

Limonium delicatulum n'est présente que dans le premier transect avec un recouvrement progressant de 2,35% à 10,72%. Cette évolution est due à la diminution de la teneur en eau du sol.

Aeluropus littoralis est présente avec un recouvrement progressif aux premiers abords atteignant un maximum de 38,16%. La progression de ce recouvrement est due à la diminution de la salinité du sol. Ainsi, l'impact de la salinité du sol montre un effet significatif sur le recouvrement de cette espèce.

Phragmites communis montre un recouvrement très important dans tous les transects. Elle atteint un maximum de 99,88%. Ce recouvrement suit un mode progressif en allant du centre de la sebkha vers son extrémité.

La progression du recouvrement de *Phragmites communis* paraît liée à la diminution de la salinité des eaux et du sol.

Tamarix gallica est présent dans tous les transects avec un recouvrement maximum de 57,68%. Le recouvrement de cette espèce est conditionné par le rabattement de la nappe phréatique qui en montre un impact significatif.

Phoenix dactylifera est présent dans le premier et le deuxième transect avec des pieds non vigoureux couvrant un maximum de 52,74%.

Parallèlement, *Zygophyllum album* constitue dans tous les transects la dernière ceinture végétale avec un recouvrement progressif atteint un maximum de 26,82%. Cette progression est due au rabattement de nappe phréatique.

L'étude de la densité des espèces végétales des différentes stations d'étude, donne pour la station du chott (fig. 34), une densité d'*Halocnemum strobilaceum* évoluant de 29,80 à 257,76 pieds/100 m². Cette densité évolue avec la diminution de l'alcalinité et la salinité, des eaux phréatiques et du sol et la diminution de sa teneur eau.

La densité de *Tamarix gallica* évolue de 4 à 17,32 pieds/100 m². Elle suit la diminution de l'alcalinité et de la salinité des eaux, et la diminution de l'humidité et de la salinité du sol.

La densité de *Suaeda fruticosa* progresse de 4 à 29,96 pieds/100 m². Cette progression est due à la diminution de la salinité de la nappe phréatique. Pour *Juncus maritimus* la densité évolue de 4 à 28,68 pieds/100 m². Elle suit la diminution de l'alcalinité et de la salinité des eaux phréatiques et la diminution de la salinité du sol.

La densité de *Phragmites communis* évolue de 657,48 à 6343,72 pieds/100 m². Cette progression est due à la remontée de la nappe, à l'augmentation de sa salinité et à l'augmentation de l'alcalinité et de la salinité du sol.

La densité d'*Aeluropus littoralis* croît de 95,44 à 1193,28 pieds/100 m² suivant la remontée de la nappe et l'augmentation de la salinité du sol. Celle de *Juncus maritimus* évolue de 4 à 28,68 pieds/100 m².

Les résultats de l'évolution de la densité des espèces végétales dans la station du lac sont représentés ci-après dans la figure 35. L'examen de la figure 35, donne que la densité de *Phragmites communis* évolue de 196,52 à 1873,48 pieds/100 m², elle augmente avec une teneur en eau excessive du sol.

La densité d'*Aeluropus littoralis* évolue de 153,68 à 739,46 pieds/100 m², suivant la diminution de la salinité du sol. Celle de *Sonchus maritimus* évoluant de 53,32 à 354,96 pieds/100 m², suit une teneur excessive en eau à salinité et à alcalinité réduites, ainsi qu'avec une salinité de sol aussi réduite.

La densité de *Juncus maritimus* évolue de 4 à 72,44 pieds/100 m². Elle croît avec la diminution de la salinité du sol, et la diminution de l'alcalinité et de la salinité des eaux phréatiques. La densité de *Tamarix gallica* de 4 à 12 pieds/100 m², elle croît avec le rabattement des eaux phréatiques et la diminution de leur alcalinité et de leur salinité, ainsi qu'avec la diminution de salinité du sol.

Pour *Suaeda fruticosa* la densité évolue de 4 à 23,92 pieds/100 m², elle augmente avec le rabattement de la nappe phréatique; et celle de *Cynodon dactylon* évolue de 31,88 à 102,16 pieds/100 m² suivant significativement le rabattement de la nappe phréatique.

Pour *Zygophyllum album*, la densité elle évolue de 4 à 93 pieds/100 m². Elle augmente là où les eaux phréatiques sont plus profondes.

Les résultats de l'évolution de la densité des espèces végétales dans les transects échantillonnés dans la Sebkha de Bamendil sont représentés ci-après dans la figure 36. La densité d'*Halocnemum strobilaceum* évolue de 17,12 à 114,16 pieds/100 m². Cette densité évolue avec la diminution de l'humidité et de la salinité du sol. La densité de *Suaeda fruticosa* évolue de 4 à 12 pieds/100 m² suivant le rabattement de la nappe phréatique qui en montre un impact significatif. Pour *Tamarix gallica*, elle évolue de 4 à 16 pieds/100 m². Elle augmente avec le rabattement de la nappe phréatique. La densité de *Juncus maritimus* évolue de 21,36 à 160,76 pieds/100 m², elle augmente avec la remontée des eaux phréatiques et, avec la diminution de la salinité des sols.

La densité de *Phragmites communis* évolue de 134,84 à 4459,68 pieds/100 m². Elle augmente avec une teneur en eau élevée et avec la diminution de la salinité des eaux et du sol. Celle d'*Aeluropus littoralis* varie de 46,280 à 954,04 pieds/100 m², elle suit la diminution de la salinité du sol et l'augmentation de sa teneur en eau qui en montrent des impacts significatifs. Pour *Cynodon dactylon* et *Limonium delicatulum*, la densité varie respectivement de 32 à 60 pieds/100 m² et de 87,28 à 446,88 pieds/100 m², et pour *Phoenix dactylifera* elle est de 4 pieds/100 m².

La densité varie pour *Zygophyllum album* de 28,44 à 38,96 pieds/100 m². Elle augmente avec le rabattement de la nappe phréatique, et donc avec diminution de la teneur en eau du sol.

Les appréciations de vigueur et de sociabilité des individus de chaque espèce végétale recensée dans les transects échantillonnés sont données dans le tableau 20. Il est remarqué que les indices de vigueur et de sociabilité évoluent significativement en fonction des conditions d'hydro-halomorphie du sol. La vigueur et la sociabilité augmentent pour :

- *Aeluropus littoralis* avec diminution de la salinité du sol;
- *Cynodon dactylon* avec rabattement de la nappe et diminution de la salinité du sol;
- *Halocnemum strobilaceum* avec diminution de l'humidité, de l'alcalinité et de la salinité du sol;
- *Juncus maritimus* avec augmentation de l'humidité du sol et avec diminution de sa salinité;
- *Phragmites communis* avec remontée des eaux phréatiques et diminution de leur alcalinité et de leur salinité;
- *Sonchus maritimus* avec augmentation de la teneur en eau du sol et diminution de leurs salinités;
- *Suaeda fruticosa* avec rabattement des eaux phréatiques et diminution de leur salinité;
- *Tamarix gallica* avec rabattement de la nappe et diminution de la salinité du sol;
- *Zygophyllum album* avec rabattement des eaux phréatiques.

Tableau 20. Indices de vigueur et de sociabilité des individus d'espèce

Espèces végétales	Indices des stations d'étude					
	Chott		Lac		Sebkha	
	Vig.	Soc.	Vig.	Soc.	Vig.	Soc.
<i>Aeluropus littoralis</i>	[1 - 5]	[1 - 3]	[1 - 4]	[1 - 3]	[1 - 4]	[1 - 3]
<i>Cynodon dactylon</i>	-	-	[3 - 4]	[2]	[2]	[2]
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	[1 - 5]	[1 - 4]	-	-	[1 - 3]	[1 - 2]
<i>Juncus maritimus</i>	[1 - 3]	[1 - 2]	[2 - 5]	[1 - 5]	[1 - 4]	[1 - 4]
<i>Limonium delicatulum</i>	-	-	-	-	[1 - 2]	[1 - 4]
<i>Phoenix dactylifera</i>	-	-	-	-	[3]	[1]
<i>Phragmites communis</i>	[1 - 5]	[1 - 5]	[1 - 4]	[1 - 5]	[1 - 4]	[1 - 5]
<i>Sonchus maritimus</i>	-	-	[3 - 4]	[1 - 2]	-	-
<i>Suaeda fruticosa</i>	[1 - 3]	[1]	[2 - 3]	[1 - 2]	[1 - 3]	[1]
<i>Tamarix gallica</i>	[1 - 5]	[1 - 2]	[1 - 4]	[1]	[1 - 3]	[1]
<i>Zygophyllum album</i>	-	-	[1 - 4]	[1 - 2]	[2 - 5]	[1 - 2]

L'état phénologique de chacune des espèces végétales recensées est représenté dans le tableau 21.

Tableau 21. Etat phénologique des espèces végétales recensées durant la période d'étude

Espèce	Etat phénologique
<i>Aeluropus littoralis</i>	Fleurie
<i>Cynodon dactylon</i>	Feuillée
<i>Halocnemum strobilaceum</i>	Feuillée
<i>Juncus maritimus</i>	Feuillée
<i>Limonium delicatulum</i>	Feuillée
<i>Phoenix dactylifera</i>	Feuillée
<i>Phragmites communis</i>	Fleurie
<i>Sonchus maritimus</i>	Fleurie
<i>Suaeda fruticosa</i>	Feuillée
<i>Tamarix gallica</i>	Fleurie
<i>Zygophyllum album</i>	Fleurie

Il est à noter que dans certains secteurs, certaines espèces sont présentes par des individus non vigoureux. Il est à signaler l'existence de pieds de tamarix chétifs et stériles même en période de floraison et voire même morts ou totalement desséchés dans des placettes près du centre du lac, ou de la sebkha. Pour UNGAR (1995), les Halophytes varient dans leurs limites supérieures de tolérance de sel.

Pour une classification hydro-halomorphe de la flore, il est fait appel aux relations préexistantes entre les indices écologiques étudiés et les conditions d'hydro-halomorphie dans les stations d'étude. Ces outils de diagnostic (indices écologiques) sont renforcés principalement par l'Analyse en Composantes Principales (ACP) de l'indice de dominance en relation avec les conditions d'hydro-halomorphie. Cette approche a permis de classer les espèces étudiées en groupements de différents degrés de tolérance à l'hydro-halomorphie du sol. Le choix de traiter particulièrement l'indice de dominance, est porté sur la raison qu'il se réfère à l'ampleur à laquelle, une ou plusieurs espèces soient abondantes d'une façon disproportionnée dans la communauté végétale. L'abondance des espèces varie le long de gradients environnementaux ou par rapport à des impacts sur l'environnement (INGRAM, 2008).

Pour rappel, les applications les plus communes de l'indice de dominance (indice de SIMPSON) incluent les comparaisons de différents assemblages de la communauté végétale à travers des emplacements dans un même écosystème, et est plus utile pour évaluer des différences en structure de la communauté à travers des environnements minimes et complexes où la composition des communautés demeure relativement constante mais où l'abondance des espèces varie en raison de variables environnementales ou de perturbations connues (INGRAM, 2008).

Concernant le bilan du diagnostic de la station du Chott d'Ain El-Beida, pour *Halocnemum strobilaceum*, il est noté une augmentation de sa dominance avec élévation de la teneur en eau du sol et diminution de sa salinité (à fourchettes de salinités élevées). En outre le recouvrement et la densité de cette espèce suivent la diminution de l'alcalinité et de la salinité des eaux phréatiques et la diminution de l'humidité et de la salinité du sol. Notons que l'indice de dominance se réfère à l'abondance d'une espèce par rapport à l'abondance des autres espèces présentes dans la communauté végétale étudiée. Dans cette station l'espèce est présente seule aux alentours immédiats de la sebkha. C'est pourquoi la corrélation entre la dominance de cette espèce et la remontée de la nappe paraît plus importante (fig. 37). Par contre le recouvrement suit la diminution de l'humidité du sol, ce qui est exprimé par le bon accroissement des individus et donc leur vigueur qui suit la diminution de l'humidité, de l'alcalinité et de la salinité du sol.

Tamarix gallica, a montré une dominance qui suit le rabattement de la nappe phréatique (fig. 37), et un recouvrement suivant le rabattement des eaux phréatiques et la diminution de leur alcalinité et de leur salinité, de même pour la densité qui en plus évolue avec la diminution de la salinité du sol. Il est à noter que dans les stations étudiées, les plants de tamarix deviennent plus vigoureux en allant vers l'extrémité du chott ou du lac, là où la nappe est profonde et à alcalinité réduite, et où le sol est moins salin.

Pour *Suaeda fruticosa*, la dominance, le recouvrement et la densité évoluent avec la diminution de la salinité des eaux phréatiques. En plus pour la dominance, la figure 37

montre qu'elle suit une teneur en eau du sol importante. Pour *Juncus maritimus*, la dominance, le recouvrement et la densité augmentent avec diminution de l'alcalinité et de la salinité des eaux phréatiques et la diminution de la salinité du sol. La vigueur de cette espèce paraît beaucoup plus liée à la diminution de l'alcalinité de l'eau phréatique. La dominance de cette espèce suit aussi une teneur en eau du sol élevée (fig. 37). Elle suit beaucoup plus le rabattement de la nappe que la teneur élevée en eau du sol, cela peut être traduit par le fait que l'eau phréatique est alcaline et excessivement saline.

Phragmites communis a montré une dominance, un recouvrement et une densité croissants avec remontée d'eau phréatique à salinité élevée, et augmentation de l'alcalinité et de la salinité du sol. Les pieds les plus vigoureux se trouvent là où la nappe est peu profonde et présente une alcalinité réduite. Pour la dominance de cette espèce nous remarquons qu'elle fuit l'humidité du sol (fig. 37), cela peut être traduit par le fait qu'il existe parmi les transects échantillonnés qui en influent, le transect ABT₁ dans la station du chott qui est dépourvu totalement de cette espèce, et ABT₂ où l'espèce n'existe qu'à partir de 40 m donc une teneur en eau du sol réduite par rapport aux premières placettes.

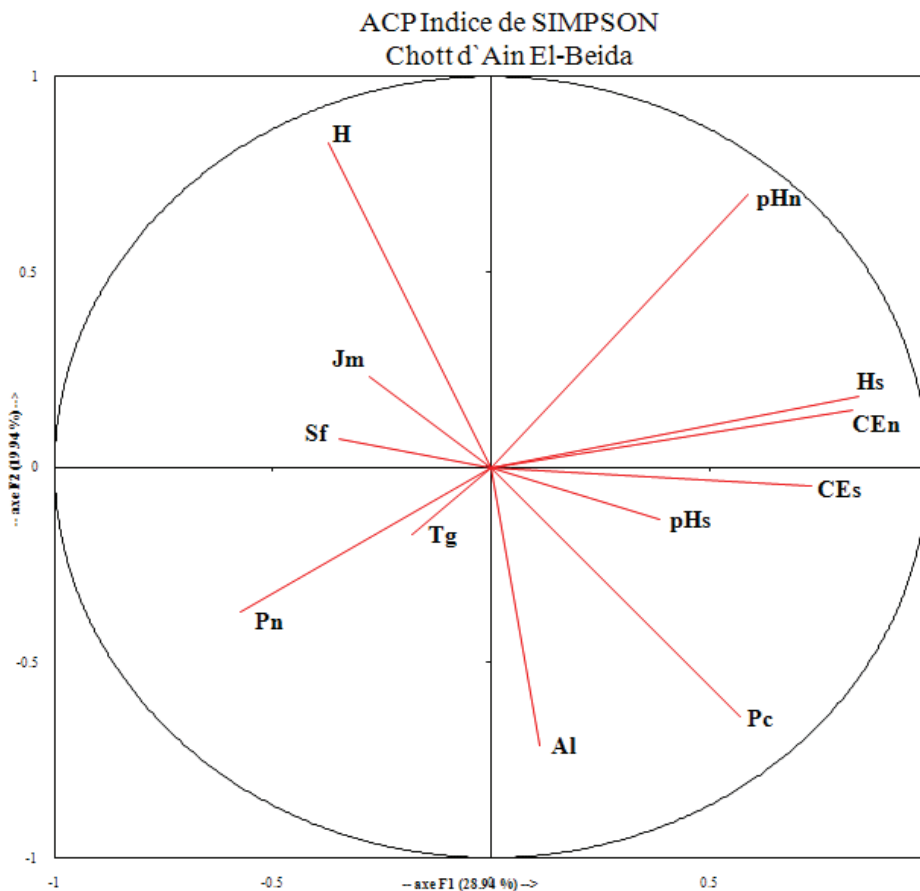


Figure 37. ACP de l'indice de SIMPSON et des paramètres mesurés pour la station du Chott d'Ain El-Beida

Aeluropus littoralis, montre une dominance progressive avec la diminution de l'alcalinité des eaux phréatiques, un recouvrement et une densité qui augmentent avec la remontée et l'augmentation de la salinité du sol. La vigueur de cette espèce suit une nappe peu profonde à alcalinité réduite. La figure 37 montre que la dominance fuit l'humidité du sol, cela est traduit par la même raison que pour *Phragmites communis*, et en plus par le fait que l'eau phréatique est alcaline.

Dans la station du Lac de Hassi Ben Abdallah, *Phragmites communis*, a montré une dominance qui s'élève avec remontée d'eaux phréatiques plus alcalines. Le recouvrement et la densité sont liés à la remontée des eaux phréatiques. Selon la figure 38, la dominance de cette espèce suit aussi l'alcalinité et la salinité du sol beaucoup plus que la salinité de l'eau phréatiques. La dominance d'*Aeluropus littoralis* est liée à l'élévation de la salinité de l'eau phréatique et à la diminution de la teneur en eau du sol. Le recouvrement et la densité sont liés à la diminution de la salinité du sol. La figure 38 montre en plus que la dominance de cette espèce suit aussi le rabattement de l'eau phréatique qui est très alcaline du fait qu'elle fuit l'alcalinité de l'eau et du sol.

La dominance de *Sonchus maritimus* s'élève avec l'augmentation de la teneur en eau du sol et l'abaissement de l'alcalinité et de la salinité des eaux phréatiques. Le recouvrement et la densité de cette espèce sont conditionnés par une nappe superficielle à salinité et alcalinité réduites, ainsi que par un sol à teneur en eau excessive et à salinité réduite. Ainsi, les individus les plus vigoureux se trouvent là où la teneur en eau est élevée et les salinités sont réduites. La dominance de cette espèce fuit l'alcalinité et la salinité de l'eau et du sol (Fig. 38), cela est par rapport à des fourchettes d'alcalinité et de salinité élevées. *Juncus maritimus* dans cette station, a montré une dominance qui suit une teneur en eau du sol excessive, d'une nappe superficielle à salinité réduite, un recouvrement qui progresse avec une teneur en eau élevée du sol, une diminution de la salinité du sol et de la nappe, et une densité qui croît avec la diminution de la salinité du sol, et la diminution de l'alcalinité et de la salinité des eaux phréatiques. Les joncs les plus vigoureux sont là où le sol est humide et moins salin.

La dominance de *Tamarix gallica*, est conditionnée par le rabattement de la nappe phréatique et l'abaissement de la salinité du sol. Son recouvrement évolue avec diminution de la teneur en eau du sol. Quant à sa densité, elle augmente avec rabattement de la nappe et diminution de l'alcalinité et de la salinité de son eau, ainsi qu'avec la diminution de la salinité du sol. Les pieds les plus vigoureux de tamarix sont à l'extrémité où la teneur en eau du sol devient faible. La figure 38 montre que l'espèce fuit les sols inondés, très salés et très alcalins.

Suaeda fruticosa, a montré une dominance, un recouvrement et une densité qui augmentent avec rabattement de la nappe phréatique. Les individus les plus vigoureux de

cette espèce se trouvent là où la nappe est plus profonde. L'espèce tolère l'alcalinité et la salinité du sol (fig. 38).

Cynodon dactylon, montre un recouvrement et une densité qui s'élèvent avec rabattement de la nappe phréatique. Les individus vigoureux sont à l'extrémité où la teneur en eau est réduite. La figure 38 montre que l'espèce tolère moyennement l'alcalinité et la salinité du sol. Pour *Zygophyllum album*, tous les indices augmentent avec rabattement de la nappe phréatique et donc diminution de la teneur en eau du sol . Effectivement, les pieds les plus vigoureux de cette espèce constituent la dernière ceinture végétale entourant le lac. Selon la figure 38 la tolérance de cette espèce envers l'alcalinité et la salinité du sol est faible.

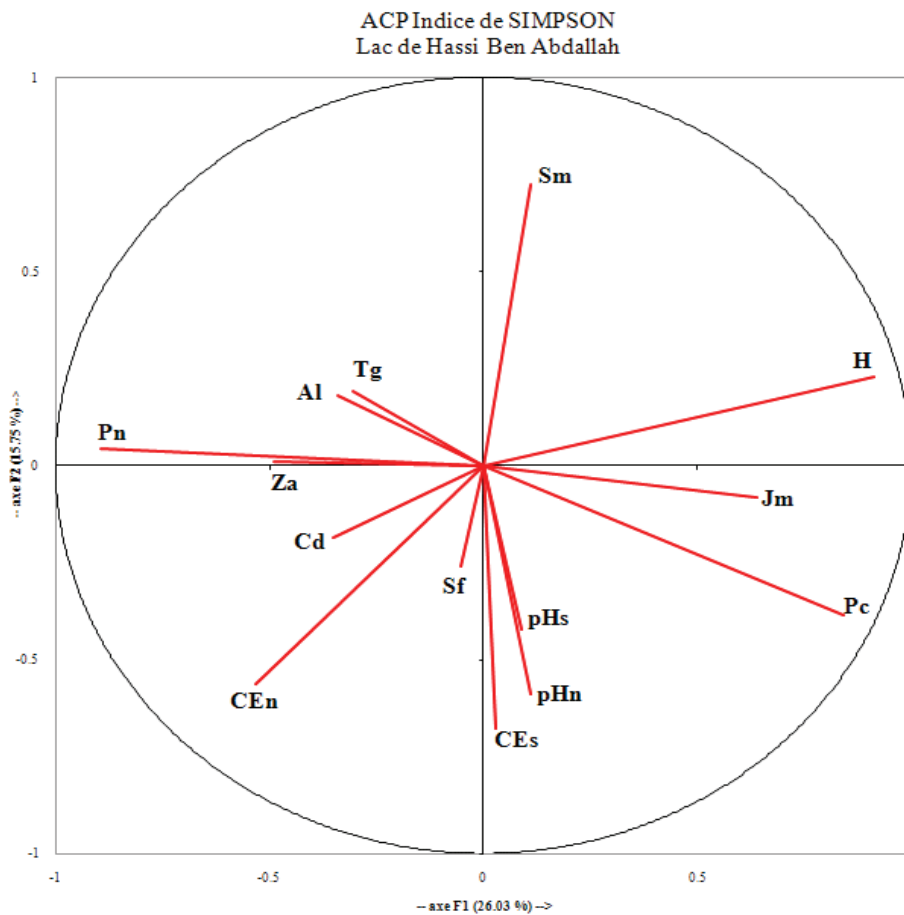


Figure 38. ACP de l'indice de SIMPSON et des paramètres mesurés pour la station du Lac de Hassi Ben Abdallah

La station Sebkhha de Bamendil laisse apparaître une dominance d'*Halocnemum strobilaceum* progressant avec remontée de la nappe phréatique. Le recouvrement et la densité progressent avec diminution de la salinité et de la teneur en eau sol . La tendance de l'indice de dominance de cette espèce montre qu'elle se supporte bien sur un sol salin, et qu'elle tolère l'alcalinité élevée (fig. 39).

Les indices de *Suaeda fruticosa*, augmentent avec rabattement de la nappe phréatique qui en montre un impact significatif. La figure 39 montre en outre que l'espèce tolère l'alcalinité et la salinité du sol.

La dominance de *Juncus maritimus*, augmente avec des teneurs en eau du sol élevées (fig. 39). Le recouvrement et la densité augmentent avec une teneur en eau élevée, ainsi qu'avec une diminution de la salinité du sol. Les individus les plus vigoureux de cette espèce se trouvent là où le sol est humide moins salé.

Les indices de *Phragmites communis* progressent suite à l'augmentation de la teneur en eau du sol, et à l'abaissement de la salinité des eaux phréatiques et du sol. Les pieds les plus vigoureux de cette espèce existent là où le sol est humide moins salé, et où les eaux phréatiques sont moins salines. La figure 39 montre que l'espèce ne suit pas exactement la teneur en eau du sol du fait que l'eau phréatique est saline.

Les indices de *Tamarix gallica*, évoluent avec le rabattement des eaux phréatiques (fig. 39). En effet, en allant vers l'extrémité de la sebka les pieds de tamarix deviennent plus vigoureux.

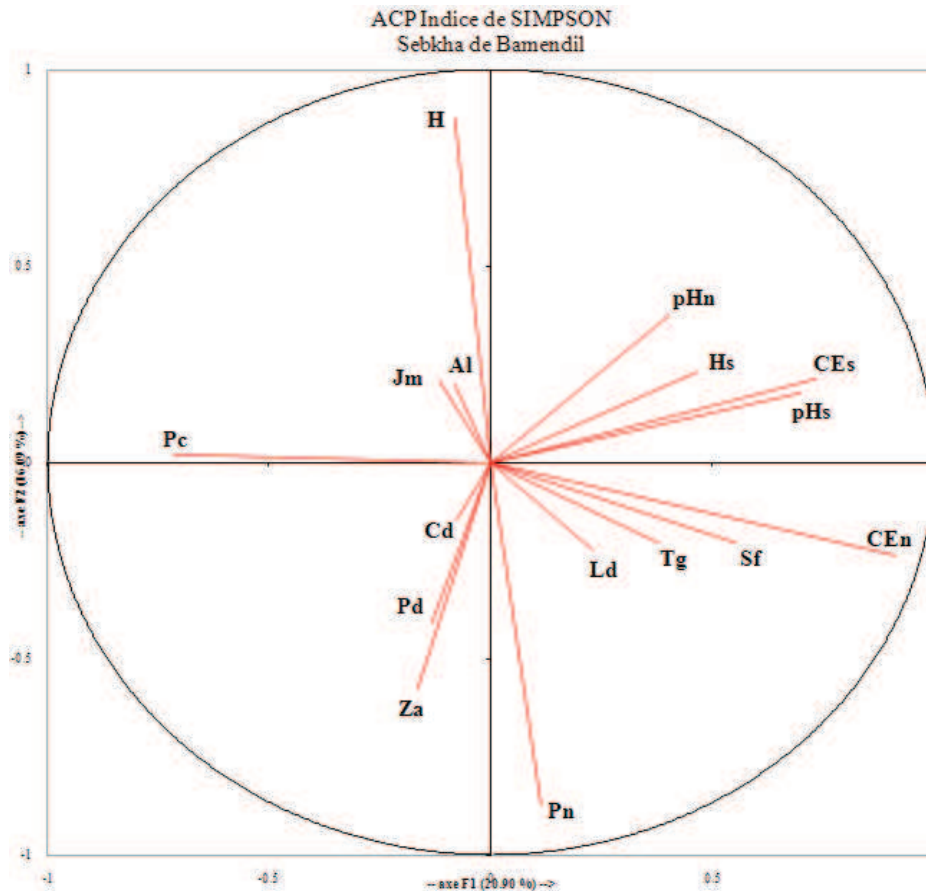


Figure 39. ACP de l'indice de SIMPSON et des paramètres mesurés pour la station de la Sebka de Bamendil

La dominance et la densité d' *Aeluropus littoralis*, évoluent avec l'augmentation de la teneur en eau du sol et la diminution de sa salinité (fig. 39). Les individus les plus vigoureux de cette espèce sont là où le sol est humide mais légèrement salé. Pour *Zygophyllum album* l'évolution de ses indices est liée au rabattement de la nappe phréatique. Ainsi, les sujets les plus vigoureux de cette espèce se retrouvent à l'extrémité de la formation végétale où le sol est plus sec. L'examen de la figure 39 montre que cette espèce fuit aussi les sols très salés.

Pour la tendance globale des espèces étudiées envers l'hydro-halomorphie, nous avons tenté par le moyen d'une ACP globale des stations de mettre en relief des groupements d'espèces ayant sommairement des tendances plus ou moins similaires face aux gradients d'hydro-halomorphies (fig. 40).

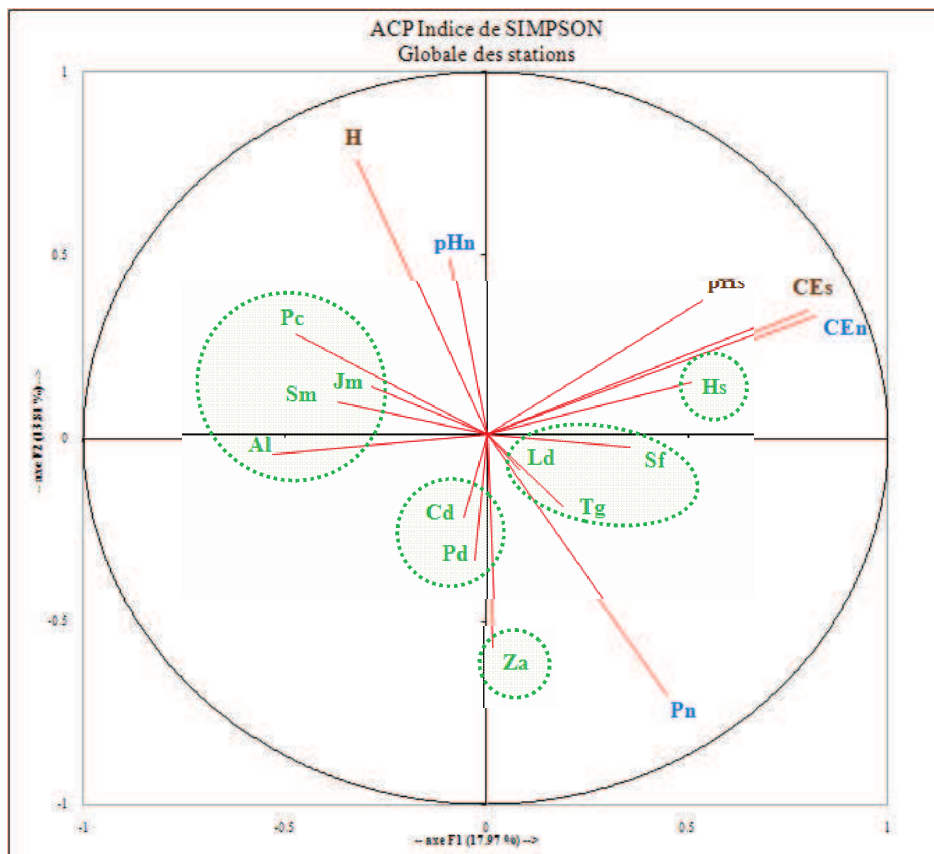


Figure 40. Tendances globales des espèces dans les stations d'étude

Sur la base des résultats numériques obtenus, de leurs analyses statistiques (ACP et tests des corrélations) et des observations sur les sites d'échantillonnage, il est recherché à évaluer le degré de tolérance des espèces végétales recensées vis-à-vis de l'hydro-halomorphie des sols sur la base des fourchettes des variations de ces deux paramètres avec les limites de présence de chacune d'elles dans les transects échantillonnés. Les halophytes des habitats hydro-halomorphes sont connues pour tolérer des variables

suivant des marges différentes (FUNK *et al.*, 2004, SILVESTRI *et al.*, 2005). La distribution des espèces est étroitement liée à la présence ou l'absence des facteurs abiotiques influençant la croissance (FUNK, *al.*, 2004; SILVESTRI *et al.*, 2005).

UNGAR (1998) a proposé que les limites inférieures de la distribution des halophytes dans ces écosystèmes soient souvent déterminées par des facteurs physico-chimiques tels que la salinité et l'humidité du sol. CHAPMAN (1974) a décrit que l'inondation et la salinité comme «les facteurs principaux» déterminant la distribution et la fréquence des espèces végétales dans les habitats hydro-halomorphes. L'halomorphie et l'hydromorphie des sols sont considérées parmi les facteurs abiotiques les plus influents sur la distribution et la structure de végétation (ADAM, 1990 ; SILVESTRI *et al.*, 2005).

Les résultats obtenus ont prouvé que l'halomorphie des sols est le facteur le plus important en affectant la distribution de la végétation halophytique. Ces résultats sont conformes aux résultats rapportés par plusieurs auteurs dans des régions arides, telles que UNGAR (1976) aux Etats Unis d'Amérique ; TOTH *et al.*, (1995) et PAN *et al.*, (1998) en Chine; ROGEL *et al.*, (2001) en Espagne et ABD EL-GHANI et EL-SAWAF (2005) en Egypte.

Pour le recouvrement, nous remarquons pour l'ensemble des espèces une variation des recouvrements suivant les gradients d'hydromorphie et d'halomorphie, ainsi l'ampleur de la variabilité de la composition floristique et du recouvrement dans les marais salants varie aussi largement que leur distribution (ADAM, 1990). Le changement du niveau de la nappe phréatique peut affecter la croissance (KLIMESOVA, 1994, 1995) et peut également causer des changements à la distribution de la biomasse aux tissus du système racinaire, et de ce fait affectant la quantité des tissus aériens, l'activité photosynthétique et par conséquent la productivité de l'écosystème (MANN et WETZEL 1999). Car les adaptations aux conditions salines sont souvent aux dépens du taux de croissance des plantes, ce qui explique la pénétration étroite des hydro-halophytes dans les environnements terrestres et d'eau douce (ADAM, 1990).

Le semis est une étape plus vulnérable dans le cycle de vie des plantes, et la germination détermine quand et où la croissance des semis débute (KOLLER, 1964; GUTTERMAN, 1993; KIGEL, 1995 cité par GUL *et al.*, 2001). Ainsi, pour la réussite de l'installation des plantes dans les environnements salins, les graines doivent demeurer viables à des conditions de salinité élevée et germent une fois la salinité diminue (UNGAR, 1991). La tolérance de salinité des halophytes au stade la germination varie d'une espèce à l'autre (YOKOISHI et TANIMOTO, 1994; UNGAR, 1995; KHAN *et al.*, 2002, 2006; LIU *et al.*, 2006). Les Halophytes varient dans leurs limites supérieures de tolérance aux sels et l'augmentation de la salinité retarde habituellement leur germination (UNGAR, 1995). Par conséquent, les réponses appropriées à la germination des espèces

halophytes face aux paramètres environnementaux déterminent leur distribution dans les environnements salins (GUL *et al.*, 2001).

Les résultats obtenus révèlent que l'*A. littoralis* est une espèce fortement hydro-halophile. Ce qui traduit sa forte abondance le long des gradients suivis (Tab. 22). Dans une étude de la germination des graines de quelques halophytes des régions arides, les graines de cette espèce étaient plus tolérantes, où elles ont germé avec un taux plus élevé à 50 dS.m^{-1} dans la solution de NaCl que d'autres espèces halophytes (GUL *et al.*, 2001).

C. dactylon a montré une tolérance qualifiée modérée envers l'hydro-halomorphie des sols du fait qu'elle s'installe dans des secteurs moyennement hydro-halomorphes. Notamment elle est absente au niveau de la station du Chott d'Ain El-Beida où ces deux paramètres sont culminants. Elle est fréquente dans la station du Lac de Hassi Ben Abdallah.

Pour *H. strobilaceum*, les résultats laissent apparaître que c'est une espèce très hydrophile et très fortement halophile. Car nous remarquons dans l'ensemble des relevés dans la station de la Sebkha de Bamedil et du Chott d'Ain El-Beida que cette espèce se trouve seule à proximité du plan d'eau où la salinité et la teneur en eau du sol sont plus élevées (secteurs inondés exceptés). Cette espèce est connue comme la phanérogame supportant les plus forts taux de salure à l'échelle de la planète et c'est souvent la seule à pouvoir se développer à l'intérieur du chott (DJEBAILI, 1978). Elle forme une première ceinture végétale dans la majorité des habitats salins étudiés en Egypte. Elle présente une tolérance à des salinités et à des teneurs en eau du sol élevées et crée une première formation mono spécifique (ASHRAF, 2009).

Pour *J. maritimus*, est une espèce fortement hygrophile et très halophile selon sa présence le long des gradients suivis (Tab. 22). Nous remarquons pour le cas de la station du Chott d'Ain El-Beida une rareté de cette espèce. Ceci peut être dû non aux impacts des facteurs abiotiques mais à d'autres facteurs biotiques. Cette station montre la forte dominance surtout de *P. communis* et l'intensité de son développement en phragmitaie très dense ne laissent de place à aucun autre végétal. Certains auteurs ont prouvé que les facteurs abiotiques ne sont pas les seuls déterminants des modèles et de la dynamique de végétation dans les communautés des hydro-halophytes et que la concurrence et les interactions biotiques sont également influentes (LEVINE *et al.*, 1998; LENSSEN *et al.*, 2004). La concurrence doit également être prise comme un facteur quand des facteurs limitants abiotiques sont absents ou réduits (CLARKE et HANNON, 1971). Elle est particulièrement importante quand les espèces montrent des associations semblables avec le même facteur abiotique et occupent le même biotope (CLARKE et HANNON, 1971).

P. communis est une espèce qualifiée fortement hydro-halophile. Cette forte tolérance est traduite par sa forte abondance le long des gradients suivis (Tab. 22). Dans une étude

de KHAN et QAISER (2006), sur les caractéristiques et la distribution de quelques halophytes des écosystèmes des sebkhas au Pakistan, il est qualifiée comme espèce Hyper-hydro-halophyte. *S. maritimus* est une espèce fortement hydrophile et très halophile du fait qu'elle s'installe sauf dans les secteurs inondés dans la station du Lac de Hassi Ben Abdallah. Cette espèce est qualifiée Hyper-hydro-halophyte (KHAN et QAISER, 2006).

Pour *S. fruticosa*, nos résultats ont révélé qu'elle est hydrophile et très halophile car nous remarquons qu'elle s'installe souvent aux dernières ceintures végétales entourant le lac ou la sebkha. C'est-à-dire là où les eaux phréatiques sont plus profondes et donc des teneurs en eau du sol réduites, notamment comme suggéré dans les tests de corrélation, les indices écologiques de cette espèce sont négativement corrélés avec l'humidité du sol. CLARKE et HANNON (1970) ont conclu que cette espèce est intolérante à l'inondation et à l'ombrage. L'augmentation du linéaire de salinité réduit considérablement le taux de germination des graines de *S. fruticosa* plus que *A. littoralis* (ASHRAF et ATHAR, 2006). Pour l'ombrage, ceci est encore soutenu par cette étude pendant que les individus de cette espèce sont abondants en agrégats ou groupes denses dans des secteurs généralement plus secs et dépourvus d'autres espèces. C'est le cas de la partie Est de la station du Chott d'Ain El-Beida et la partie Nord-ouest de celle du Lac de Hassi Ben Abdallah.

T. gallica a montré une très forte abondance au niveau des dernières ceintures végétales entourant le centre du chott, du lac ou de la sebkha, dans des secteurs très hydromorphes et très fortement halomorphes. Elle est qualifiée comme espèce hygrophile mais qui ne tolère pas de longues périodes d'inondation (présence d'individus morts au niveau des secteurs inondés aux rives du lac) et elle est fortement halophile formant une association végétale avec *H. strobilaceum* dans la partie Nord-ouest du Chott d'Ain El-Beida où elles constituent la deuxième ceinture végétale.

Pour *Z. album* qui forme toujours la dernière ceinture végétale entourant ces habitats hydro-halomorphes, est qualifiée intolérante à l'hydromorphie mais tolérante à l'halomorphie des sols, et est une espèce xéro-halophile (KHAN et QAISER, 2006). Cette intolérance à l'hydromorphie peut être due à la salinité élevée des eaux phréatiques car cette espèce est une halophyte succulente. Les succulents manquent souvent de la capacité de sécréter des sels, mais contrecarrent à l'élévation des concentrations salines par une augmentation de leur teneur en eau, et deviennent de plus en plus succulents pendant leur développement (BRECKLE, 1983).

La classification des espèces végétales recensées vis-à-vis à l'hydromorphie et à l'halomorphie des sols reste restreinte et, est en fonction de leurs abondances le long des gradients d'hydromorphie et d'halomorphie suivis (Tab. 22).

Fig. 1

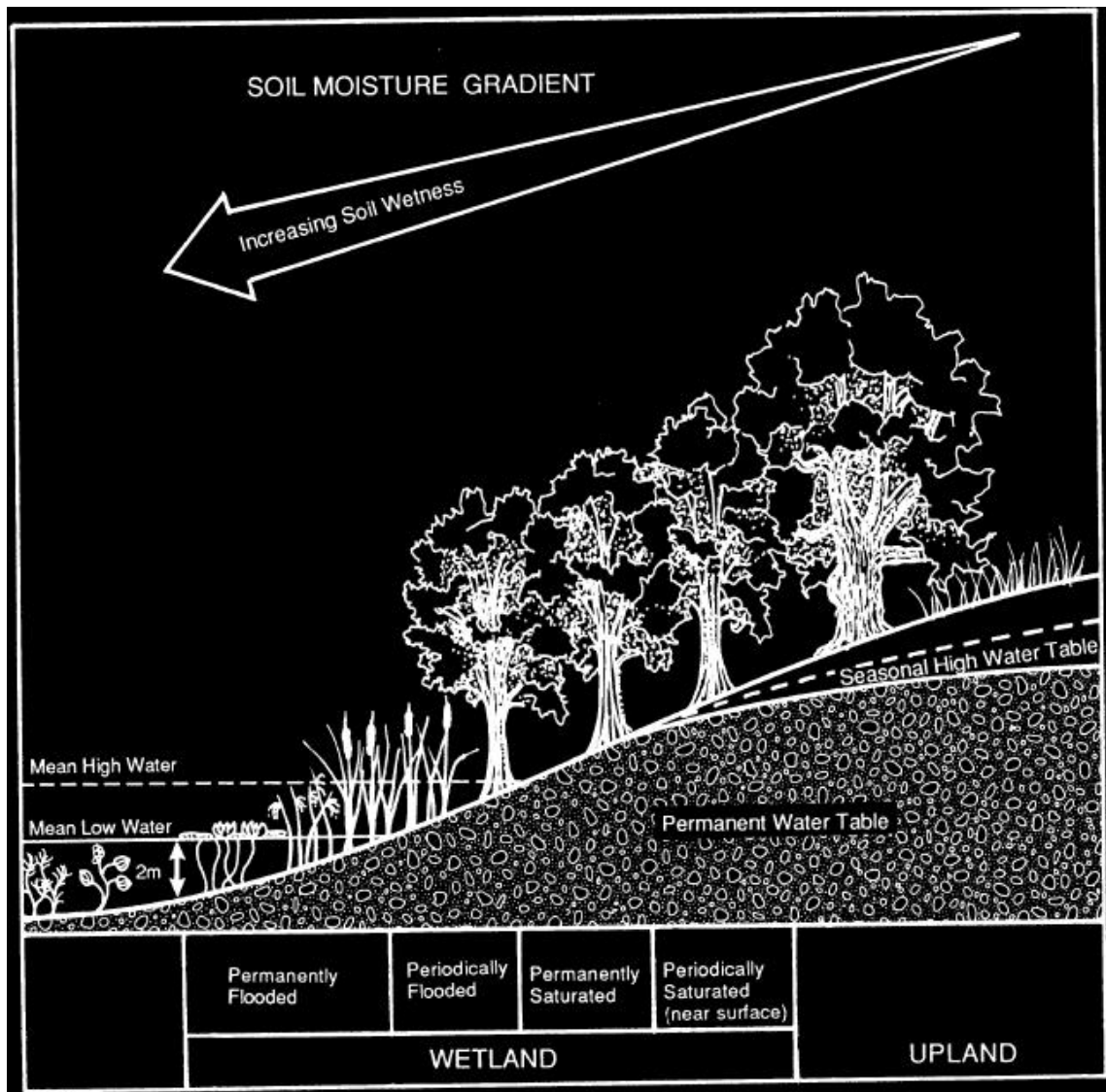


Figure 1. Emplacement général des zones humides le long d'un gradient d'humidité (TINER, 1991)

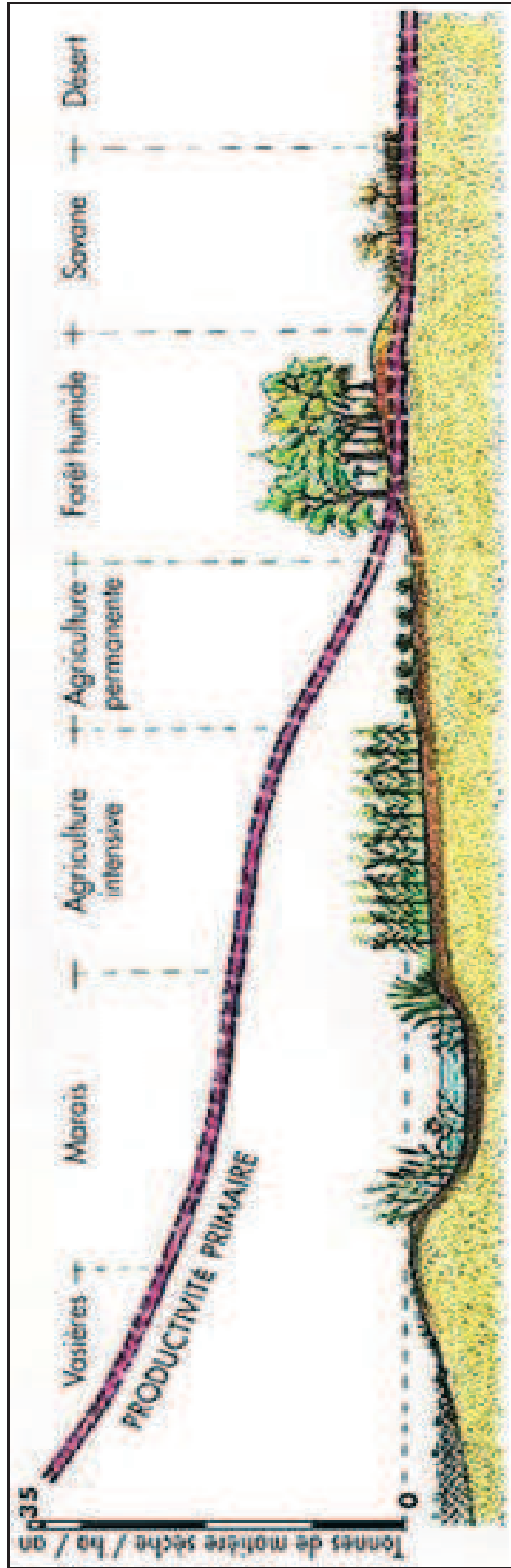


Figure 2. Quantité de matière vivante produite par an par les êtres autotrophes chlorophylliens selon les différents milieux (SAVAGE, 1995)

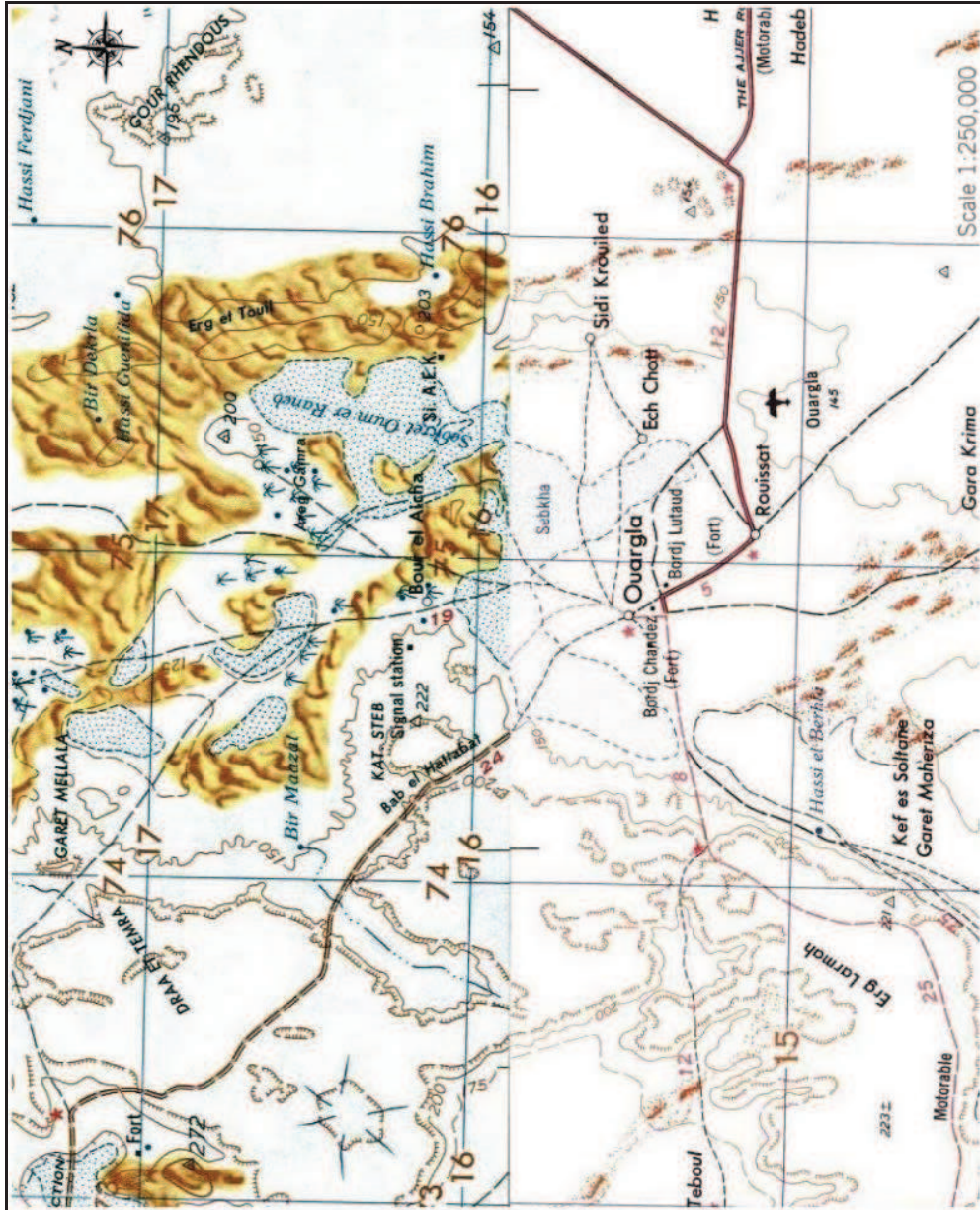


Figure 3. Carte géographique de la cuvette d’Ouargla (AMSCE, 1953)

Fig. 5

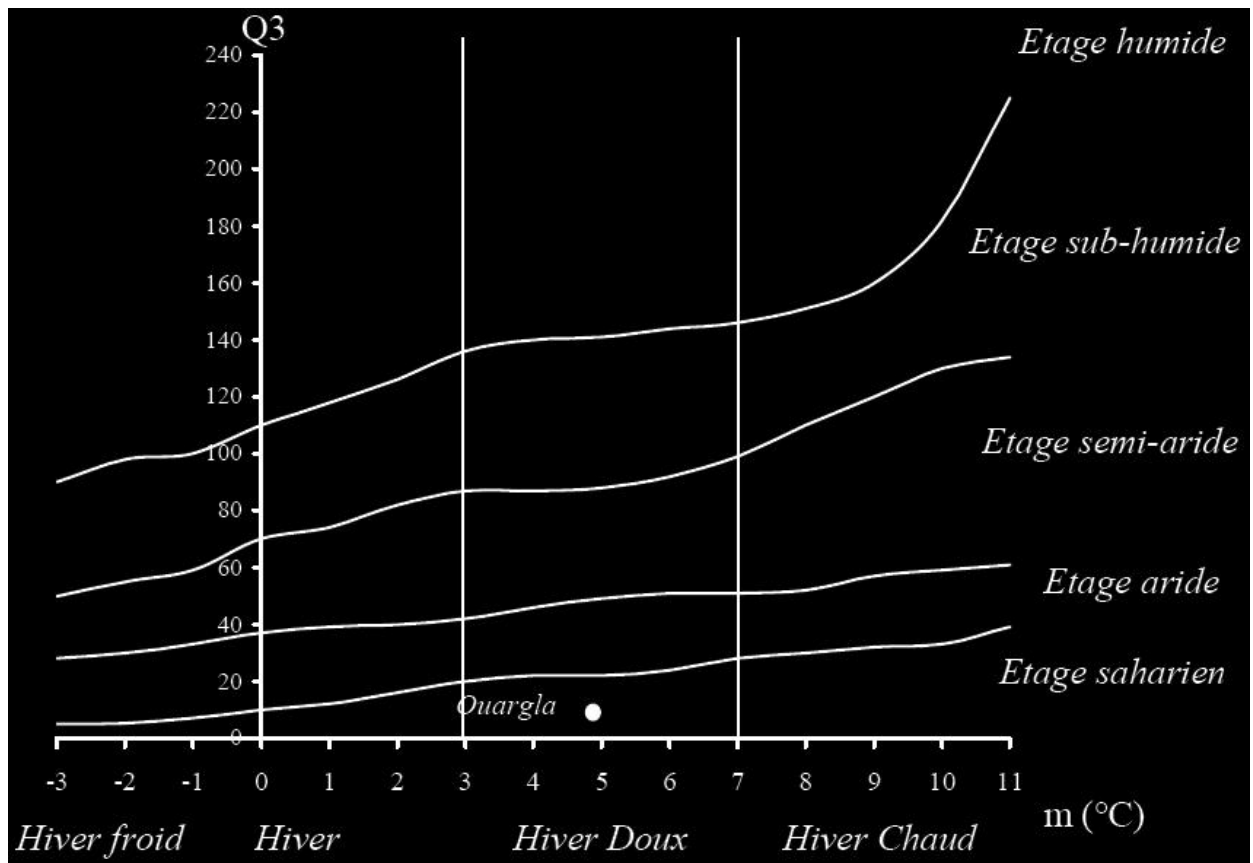


Figure 5. Position bioclimatique de la station météorologique de la cuvette d' Ouargla sur le climagramme d'EMBERGER dans la période de [1997 -2008]

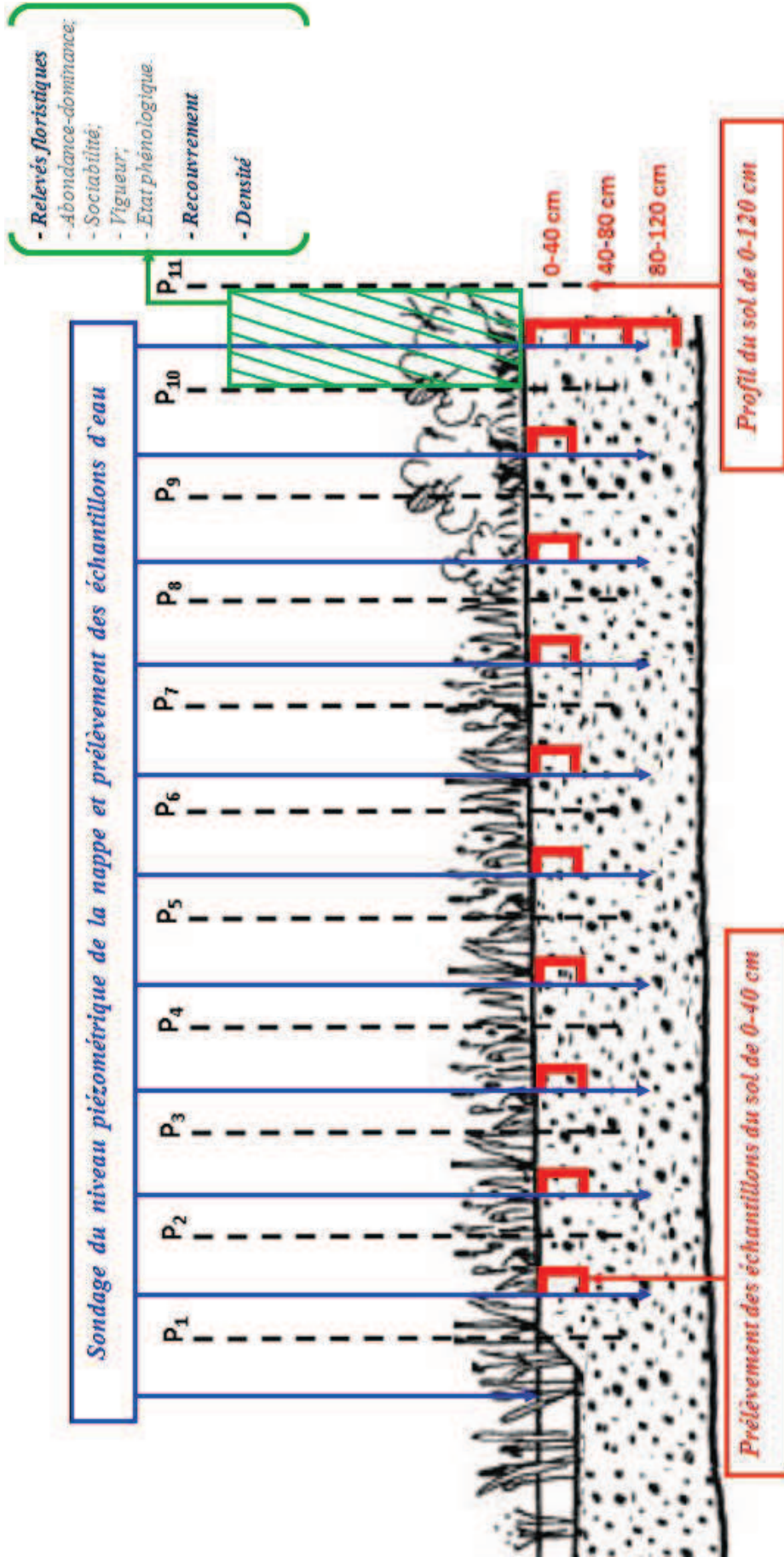


Figure 10. Schématisation globale de l'échantillonnage procédé

Fig. 10

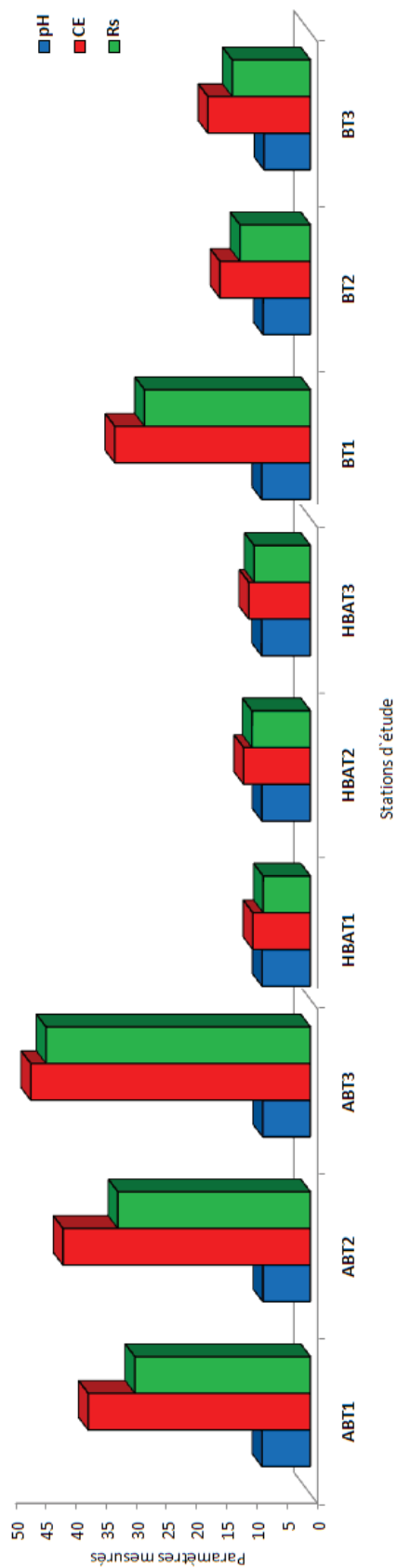


Figure 14. Moyennes des variations de la salinité et du pH des eaux phréatiques le long des transects dans les stations d'étude (AB : station du Chott d' Ain El-Beida, HBA : station du Lac de Hassi Ben Abdallah, B : station de la Sebkhha de Bamendil, T1, 2, 3 : Transects)

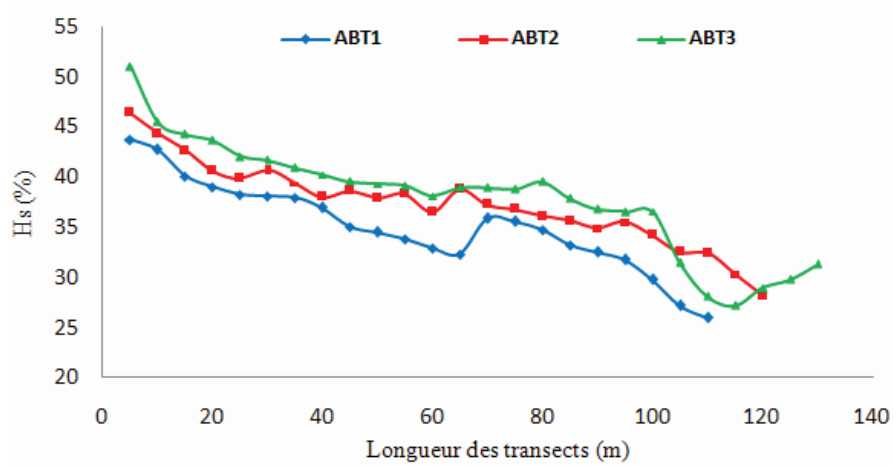


Figure 18. Fourchettes de variations de l'humidité du sol le long des transects du Chott d'Ain El-Beida

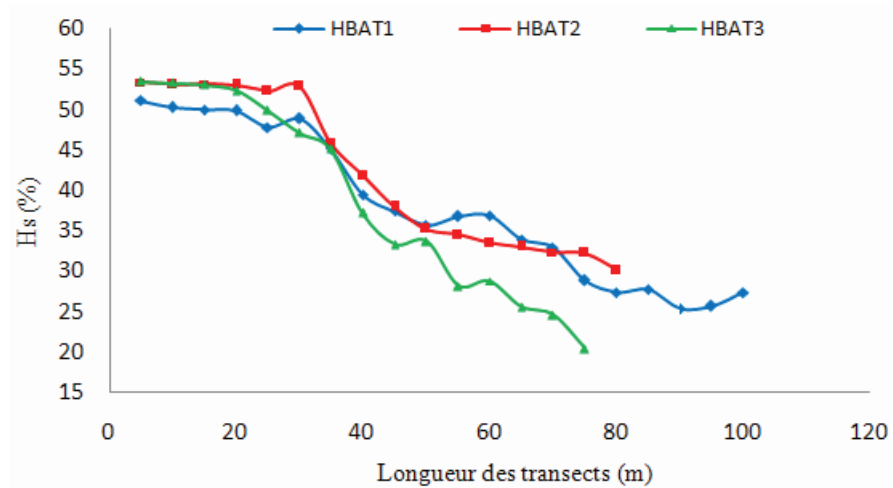


Figure 19. Fourchettes de variations de l'humidité du sol le long des transects du Lac de Hassi Ben Abdallah

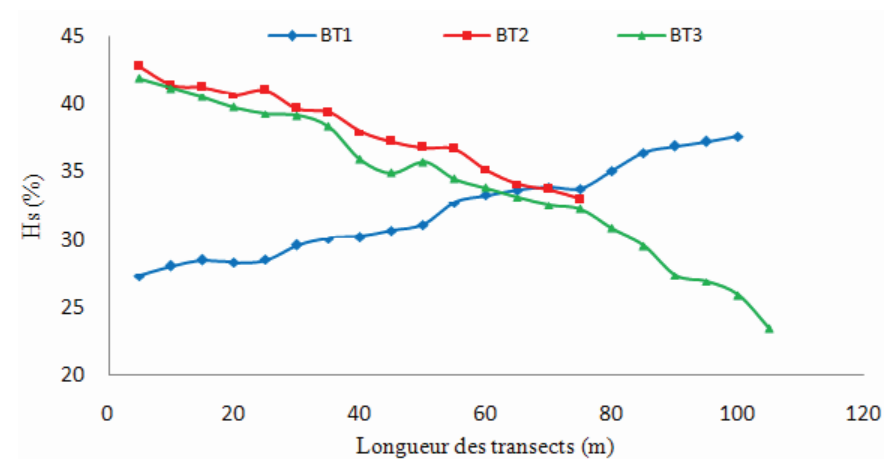


Figure 20. Fourchettes de variations de l'humidité du sol le long des transects de la Sebkhha de Bamendil

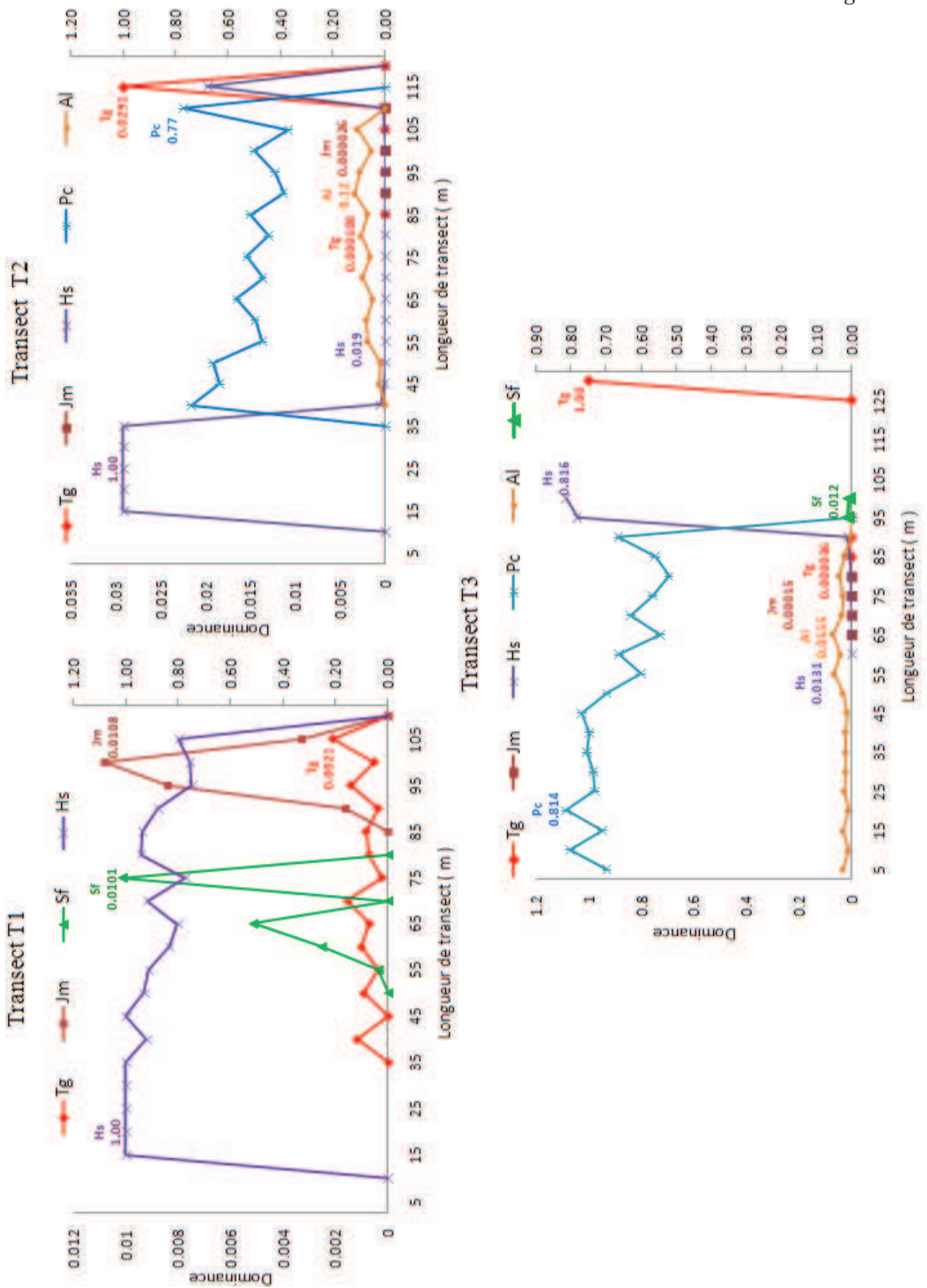


Figure 28. Variations de la dominance des espèces dans la station du Chott d'Ain El-Beida

Fig. 29

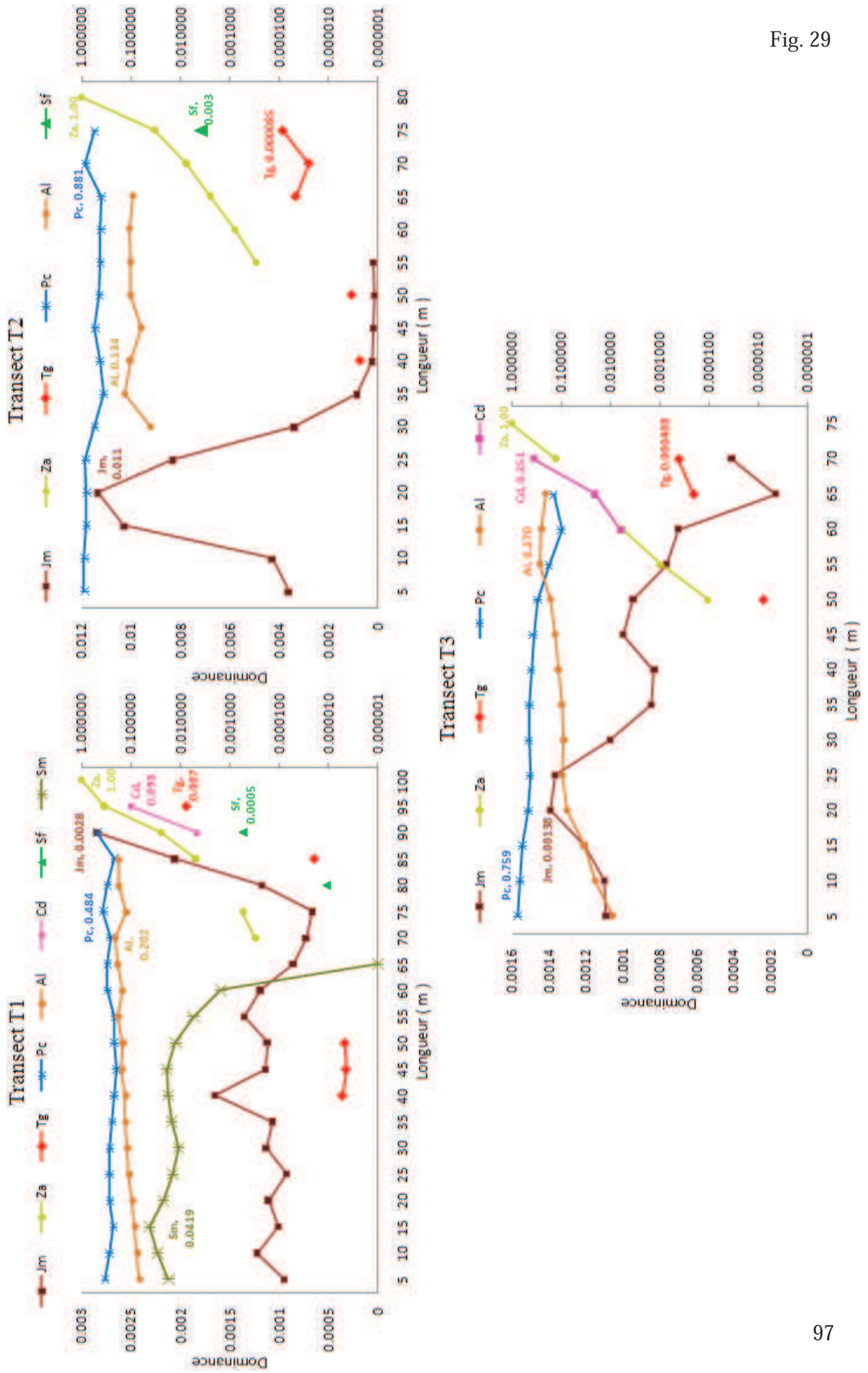


Figure 29. Variations de la dominance des espèces dans la station du Lac de Hassi Ben Abdallah

Fig. 29

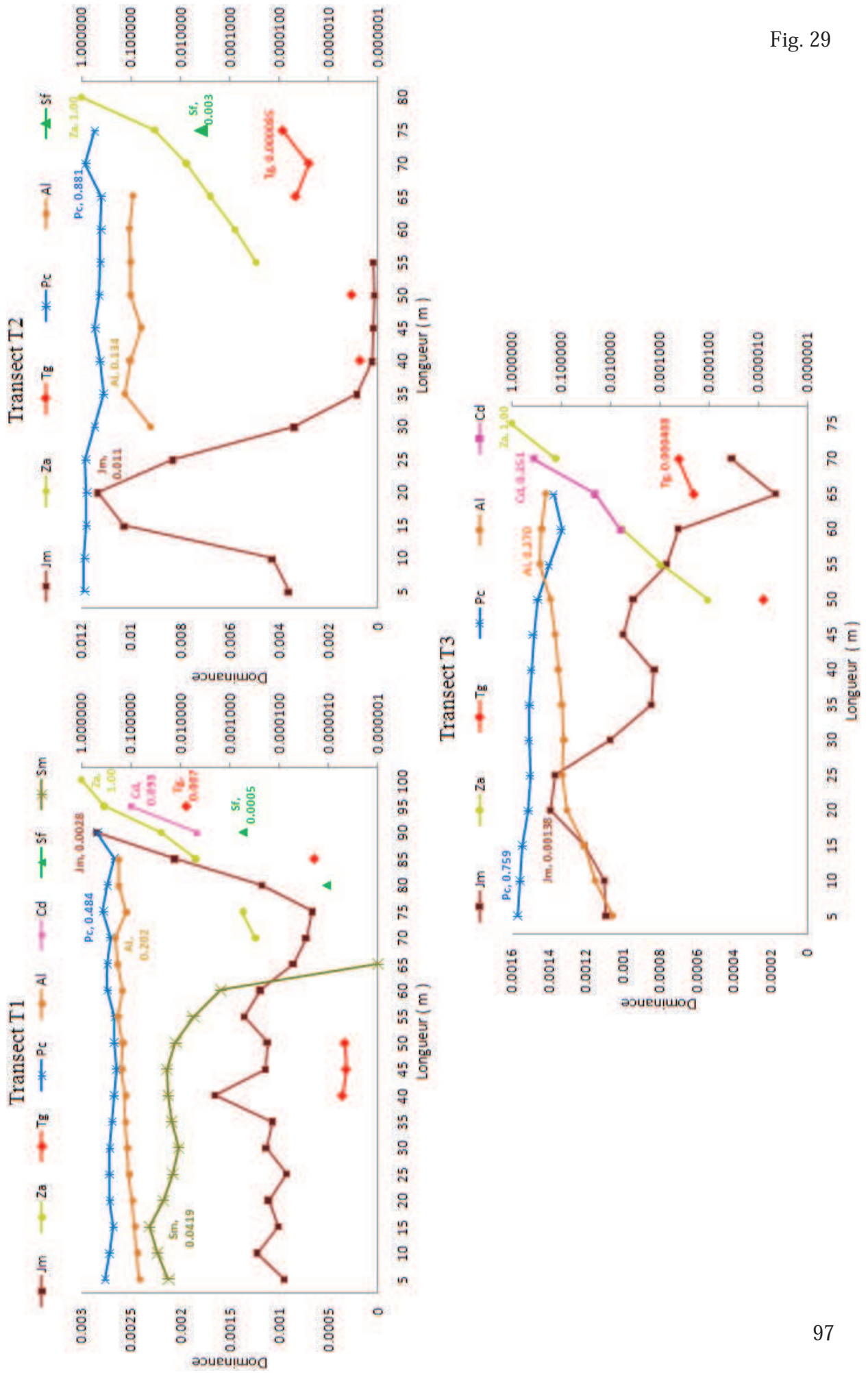


Figure 29. Variations de la dominance des espèces dans la station du Lac de Hassi Ben Abdallah

Fig. 30

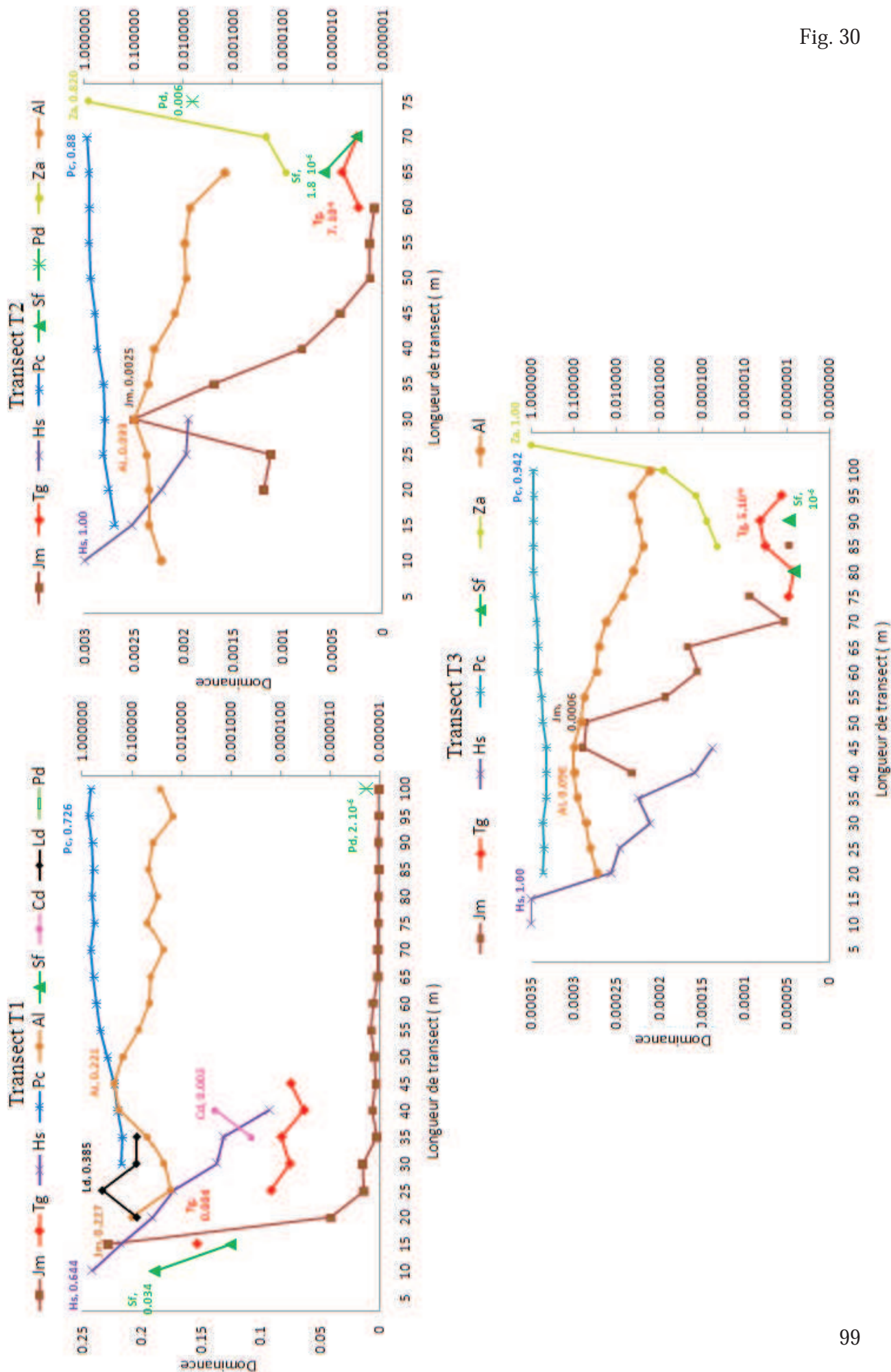


Figure 30. Variations de la dominance des espèces dans la station de la Sebkhha de Bamendil

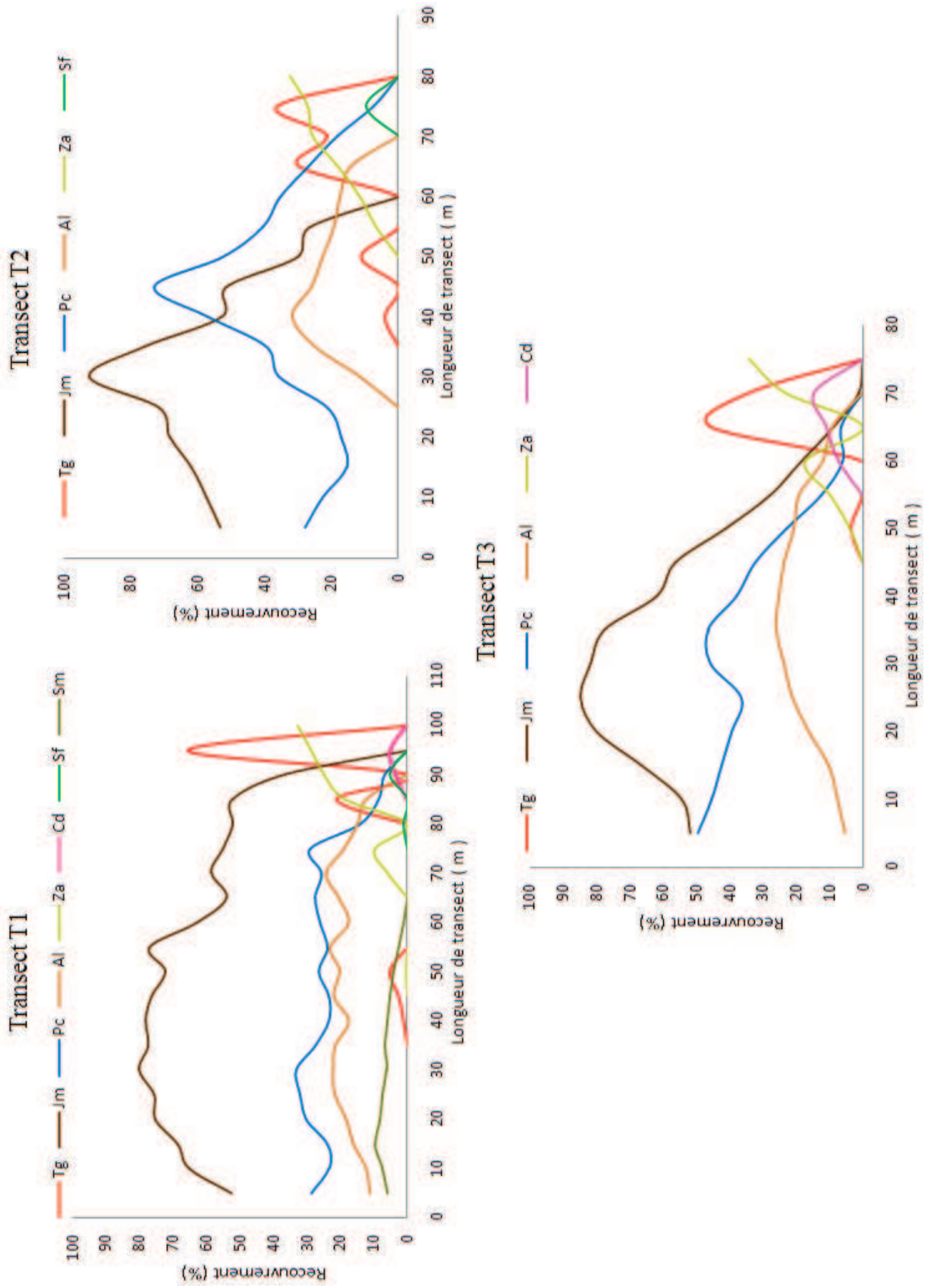


Figure 32. Variations du recouvrement des espèces dans la station du Lac de Hassi Ben Abdallah

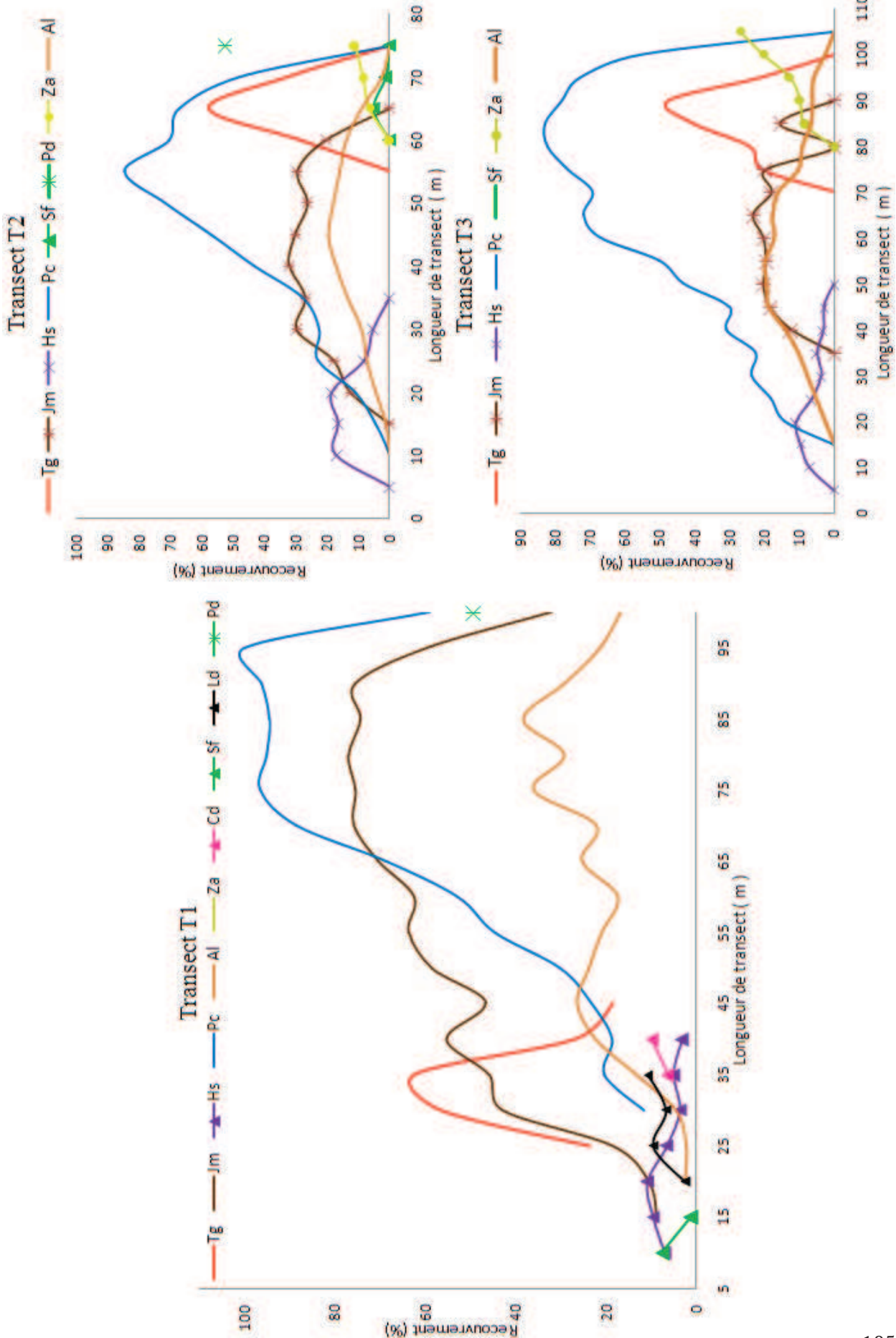


Fig. 33

Figure 33. Variations du recouvrement des espèces dans la station de la Sebka de Bamendil

Fig. 34

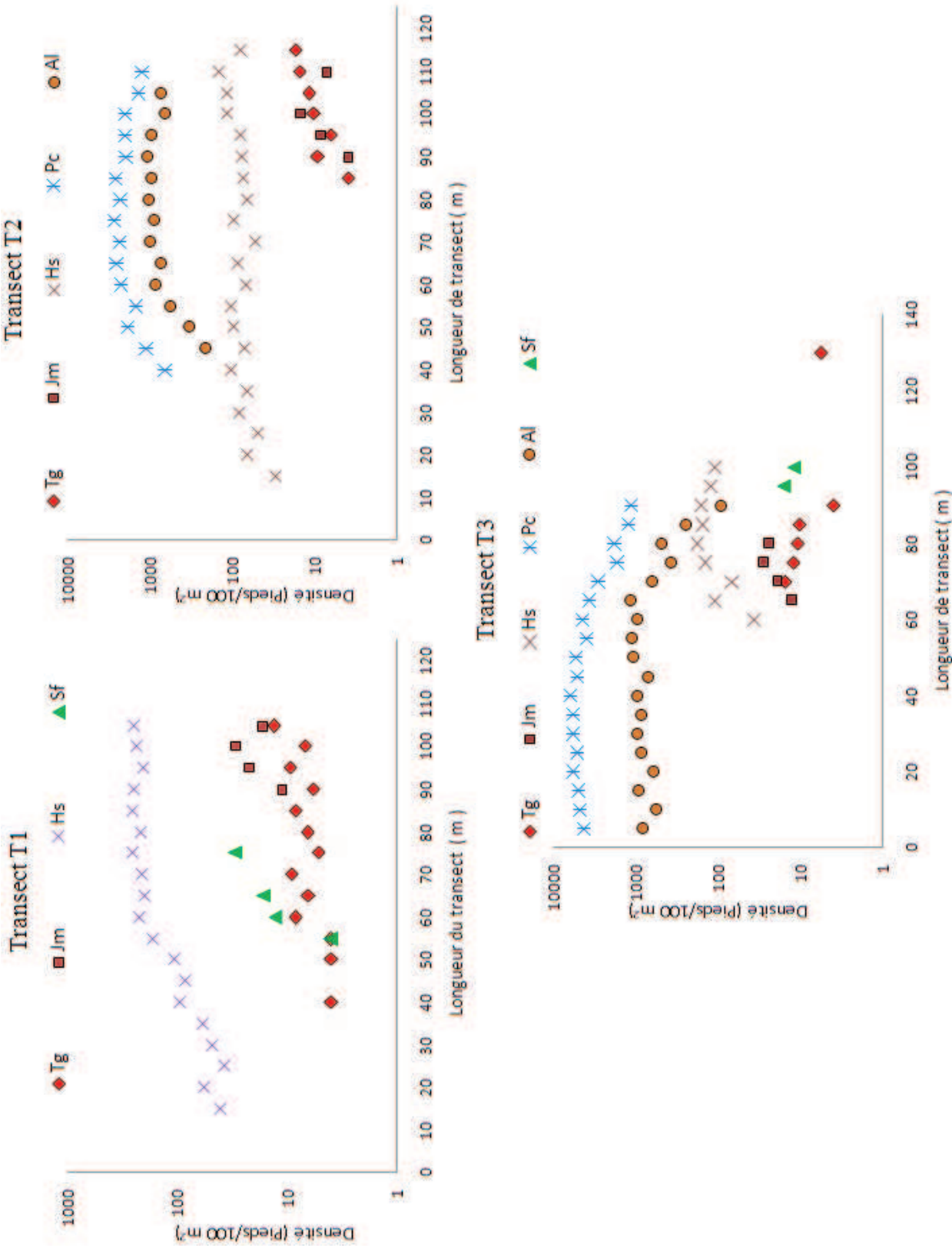


Figure 34. Variations de la densité des espèces dans la station du Chott d' Ain El-Beida

Fig. 35

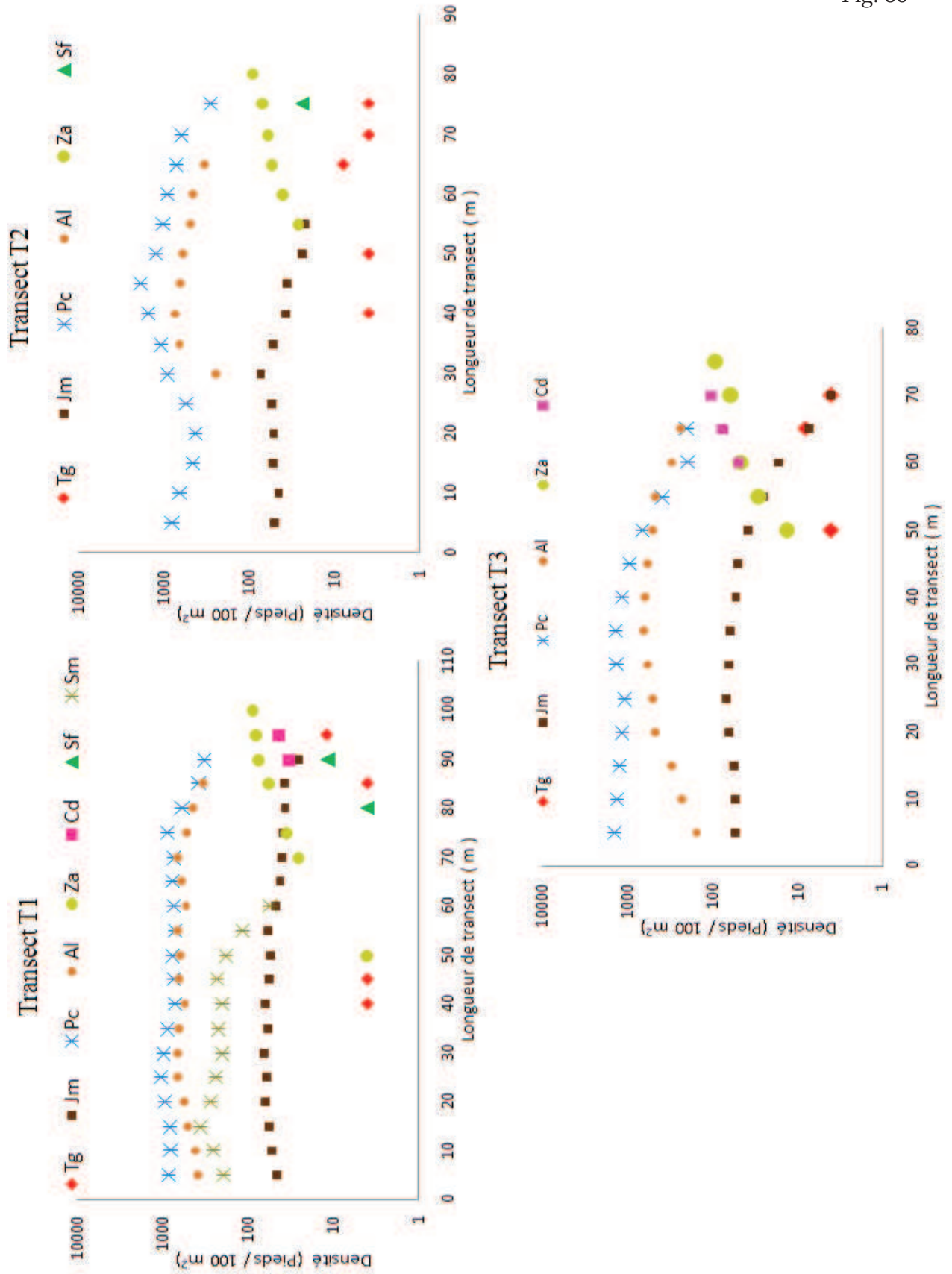


Figure 35. Variations de la densité des espèces dans la station du Lac de Hassi Ben Abdallah

Fig. 36

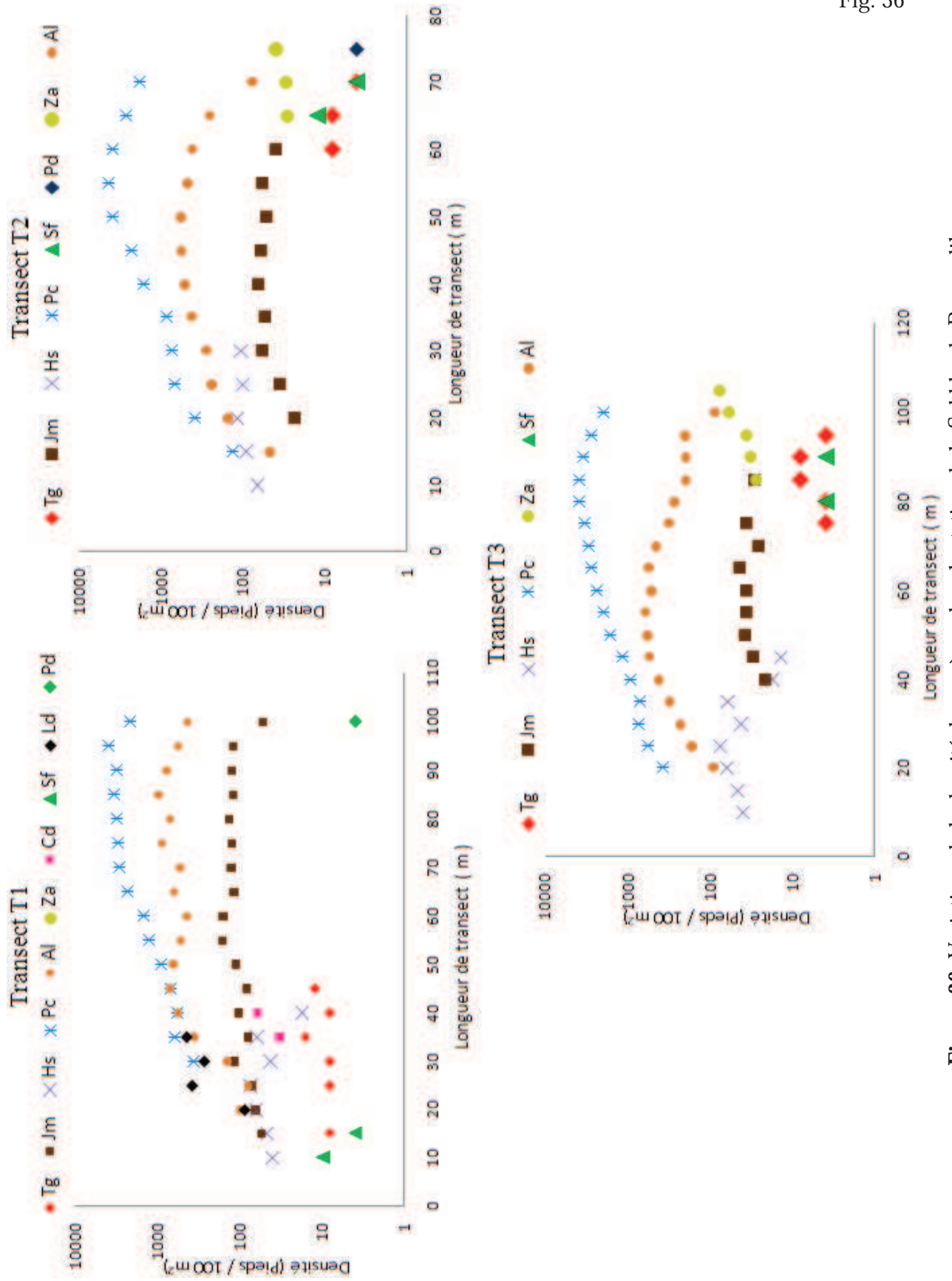


Figure 36. Variations de la densité des espèces dans la station de la Sebkha de Bamendil

Liste des figures

	Page
Fig.1 Emplacement général des zones humides le long d'un gradient d'humidité	22
Fig.2 Quantité de matière vivante produite par an par les êtres autotrophes chlorophylliens selon les différents milieux	29
Fig.3 Carte géographique de la cuvette d'Ouargla	31
Fig.4 Schéma géomorphologique de la cuvette d'Ouargla	34
Fig.5 Position bioclimatique de la cuvette d'Ouargla sur le climagramme d'EMBERGER	42
Fig.6 Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN appliqué à la région d'Ouargla	43
Fig.7 Direction de l'échantillonnage dans les transects	58
Fig.8 Croquis des transects des placettes échantillonnées	59
Fig.9 Prélèvement de l'échantillon sol au niveau des parcelles d'étude	65
Fig.10 Schématisation globale de l'échantillonnage procédé	69
Fig.11 Variations du niveau des eaux phréatiques dans le Chott d'Ain El-Beida	70
Fig.12 Variations du niveau de la nappe phréatique dans le Lac de Hassi Ben Abdallah	71
Fig.13 Variations du niveau de la nappe phréatique dans la Sebkha de Bamendil	71
Fig.14 Moyennes des variations de la salinité et du pH des eaux phréatiques le long des transects dans les stations d'étude	73
Fig.15 Bilans ioniques des eaux phréatiques des différentes stations d'étude	74
Fig.16 Répartition de la salinité dans les profils d'Ain El-Beida	79
Fig.17 Répartition de la salinité dans les profils de la Sebkha de Bamendil	80
Fig.18 Fourchettes de variations de l'humidité du sol le long des transects du Chott d'Ain El-Beida	81
Fig.19 Fourchettes de variations de l'humidité du sol le long des transects du Lac de Hassi Ben Abdallah	81
Fig.20 Fourchettes de variations de l'humidité du sol le long des transects de la Sebkha de Bamendil	81

Fig.21	Salinité le long des transects du Chott d'Ain El-Beida	82
Fig.22	Salinité le long des transects du Lac de Hassi Ben Abdallah	83
Fig.23	Salinité le long des transects de la Sebkha de Bamendil	84
Fig.24	pH du sol en fonction de la conductivité électrique et le résidu sec dans les stations d'étude	85
Fig.25	Spectres biogéographiques bruts des sites échantillonnés	87
Fig.26	Spectre biologique simple global des trois sites de prélèvement	89
Fig.27	Spectres biologiques pondérés des trois sites de prélèvement	92
Fig.28	Variations de la dominance des espèces dans la station du Chott d'Ain El-Beida	95
Fig.29	Variations de la dominance des espèces dans la station du Lac de Hassi Ben Abdallah	97
Fig.30	Variations de la dominance des espèces dans la station de la Sebkha de Bamendil	99
Fig.31	Variations du recouvrement des espèces dans la station du Chott d'Ain El-Beida	101
Fig.32	Variations du recouvrement des espèces dans la station du Lac de Hassi Ben Abdallah	103
Fig.33	Variations du recouvrement des espèces dans la station de la Sebkha de Bamendil	105
Fig.34	Variations de la densité des espèces dans la station du Chott d'Ain El-Beida	107
Fig.35	Variations de la densité des espèces dans la station du Lac de Hassi Ben Abdallah	108
Fig.36	Variations de la densité des espèces dans la station de la Sebkha de Bamendil	110
Fig.37	ACP de l'indice de SIMPSON et des paramètres mesurés pour la station du Chott d'Ain El-Beida	113
Fig.38	ACP de l'indice de SIMPSON et des paramètres mesurés pour la station du Lac de Hassi Ben Abdallah	115
Fig.39	ACP de l'indice de SIMPSON et des paramètres mesurés pour la station de la Sebkha de Bamendil	116
Fig.40	Tendances globales des espèces dans les stations d'étude	117

Liste des tableaux

	Page
Tab.1 Echelle de la salinité pour l'extrait aqueux au 1/5	5
Tab.2 Classification des sols selon le pH de l'extrait aqueux au 1/5	6
Tab.3 Quelques familles renfermant des genres halophytiques	10
Tab.4 Quelques données climatiques de la cuvette d'Ouargla (1997 -2008)	39
Tab.5 Espèces endémiques de quatorze familles de la flore saharienne	50
Tab.6 pH et salinité des eaux phréatiques dans les transects des stations d'étude	72
Tab.7 Analyse granulométriques des sols étudiés	75
Tab.8 Caractérisation des profils dans la station du Chott d'Ain El -Beida	76
Tab.9 Caractérisation des profils dans la station du Lac de Hassi Ben Abdallah	77
Tab.10 Caractérisation des profils dans la station de la Sebkha de Bamendil	78
Tab.11 pH et salinité des sols dans les stations d'étude	85
Tab.12 Liste des familles avec le nombre de genres et des espèces	86
Tab.13 Listes des espèces rencontrées et leur type biogéographique	87
Tab.14 Liste des espèces recensées dans la station du Chott d'Ain El -Beida	89
Tab.15 Liste des espèces recensées dans la station du Lac de Hassi Ben Abdallah	90
Tab.16 Liste des espèces recensées dans la station de la Sebkha de Bamendil	90
Tab.17 Comparaison des compositions floristiques des stations d'étude	92
Tab.18 Indices de similarité entre les trois sites	93
Tab.19 Richesse spécifique entre les trois sites	93
Tab.20 Indices de vigueur et de sociabilité des individus d'espèce	111
Tab.21 Etat phénologique des espèces recensées durant la période d'étude	111
Tab.22 Classification des espèces recensées en fonction des variations de quelques caractéristiques hydro-édaphiques	121

Références bibliographiques

- ALBERT R., PFUNDNER G., HERTENBERGER G., KASTENBAUER T., WATZKA M., 2000- The physiotype approach to understanding halophytes and xerophytes. In: Breckle S-W, Schweizer B, Arndt U, Ed. *Ergebnisse weltweiter ökologischer Forschung*. Stuttgart, Germany: Verlag Günter Heimbach: 69-87.
- ABD EL-GHANI M. M. and EL-SAWAF N. A., 2005- The coastal roadside vegetation and environmental gradients in the arid lands of Egypt. *Community Ecol.*, 6: 143-154.
- ABDELKRIM H., 1984- Approche phytoécologique et phytosociologiques de quelques nappes alfatières de la région de Djelfa et Tebessa. Mém. Magister, Int. Nat. Agrono. , Alger, 128 p.
- ADAM P., 1990- Salt marsh ecology. Cambridge university press, New York. 10 (2): 123-139.
- AFES-INRA, 1995- Baize D. et Girard M. C., Coord. - Référenciel pédologique, principaux sols d'Europe. I.N.R.A., Paris, 271 p.
- AFNOR, 1999- Qualité des sols. Ed. AFNOR, vol. 1 et 2, Paris, 973 p.
- AIDOUF F., 1984- Contribution à la connaissance des groupements à Sparte (*Lygeum Spartum* L.) des Hauts Plateaux Sud Oranais. Etude phytoécologique et syntaxonomique. Th. Doct. 3^{ème} Cycle. Univ. Sci. Tech. H., Boumediene, Alger, 253 p.
- AIDOUF A., 1989- Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques pâturés des Hautes Plaines Algéro-Oranaises. Fonctionnement, évaluation et évolution des ressources végétales. Th. Doct., Univ. Sci. Tech. H. Boumediene, Alger, 240 p.
- AMMOUR F. et TOUIL Y., 2007- Etudes des possibilités de la réutilisation des eaux de drainage dans la cuvette d'Ouargla. Journées Scientifiques de Traitement et Réutilisation des Eaux. 3 avril 2007, MVRE/ENSH, 35p.
- ANRH, 2000- Notes relatives à la remontée des eaux dans la cuvette de Ouargla. Ed. Agence Nationale des Ressources Hydriques, Ouargla, 11 p.
- ASHRAF M., et ATHAR H., 2006- Pakistan journal of Botany. A Bimonthly Publication of Pakistan Botanical Society Vol. 38 (5): 1529-1538.
- ASHRAF M. Y., 2009- Salt Tolerance Mechanisms in Some Halophytes from Saudi Arabia and Egypt. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, Univ., Cairo, Egypt. 5 (5): 623-638.
- AUBERT G., 1978- Méthodes d'analyses des sols. Ed. CRDP, Marseille, 191 p.
- BAAMEUR M., 2006- Contribution à l'étude de la répartition biogéographique de la flore spontanée de la région de Ouargla (Sahara septentrional Est algérien). Mém. Mag., Univ. Ouargla, 100 p.

BAGNOULS F., GAUSSEN H., 1953- Saison sèche et indice xéothermique. Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse, 88 : 193-239.

BALLESTEROS E., DELGADO O., RODRIGUEZ-PRIETO C. et GACIA E., 1996- Lack of severe nutrient limitation in *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh, an introduced seaweed spreading over the oligotrophic northwestern Mediterranean. *Botanica Marina* 39: 61 -67.

BELKHODJA K., 1972- Origine, évolution et caractères de la salinité dans les sols de la plaine de Kairouan (Tunisie centrale). Contribution à l'étude de leur mise en valeur. Sols de Tunisie N°4, 105 p.

BENABID A., 1984- Etude phytoécologique des peuplements forestiers et préforestiers du Rif centre-occidental (Maroc), Trav. Inst. Sc., Sb. bot. N°34, Rabat, 64 p.

BENABI F., KERFOUF A., HAMEL L. et CHARIF K., 2008- Dynamique de la reproduction du zooplancton du lac Sidi M'Hamed Benali. *Revue d'Ecologie-Environnement*, Numéro spéciale: 65-71.

BERTNESS M. D. and HACKER S. D., 1994- Physical stress and positive associations among marsh plants. *American Naturalist.*, 144: 363–372.

BOUTEYRE G. et LOYER J. Y., 1992 - Sols salés, eaux saumâtres des régions arides tropicales et méditerranéennes : principaux faciès, conséquences pour l'agriculture. In : LE FLOCH E. (ED.), GROUZIS MICHEL (ED.), CORNET ANTOINE (ED.), BILLE JEAN -CLAUDE (ED.). *L'aridité : une contrainte au développement : caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés.* ORSTOM, Paris : 69–80.

BRAUN-BLANQUET J., 1964- *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde.* Springer-Verlag, Wien and New York, 865 p.

BRECKLE, S. W., 1982- The significance of salinity, in B. Spooner and H. S. Mann (eds.), *Desertification and development, dryland ecology in social perspective*, Academic Press : 277-292.

BRECKLE S. W., 2002- Salinity, halophytes and salt affected natural ecosystems. In: Läubli A, Lüttge U, eds. *Salinity: environment–plants–molecules.* Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers : 53–77.

BRINSON M. M., 1993- A Hydrogeomorphic Classification for Wetlands. Wetlands Research Program Technical Report WRP-DE-4. U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. 79 p.

BUREAU P., ROEDERER P., 1961 - Contribution à l'étude des sols gypseux du Sud tunisien: croûtes et encroutements gypseux de la partie sud du Golfe de Gabb, rapport multigr. 40 p.

CARDINALE B. J., HILLEBRAND H., and CHARLES D. F., 2006 - Geographic patterns of diversity in streams are predicted by a multivariate model of disturbance and productivity. *Journal of Ecology* 94: 609–618.

- CARTER V., BEDINGER M. S., NOVITZKI R. P., and WILEN W. O., 1979- Water resources and wetlands. In *Wetland Functions and Values: The State of Our Understanding*. P.E. Greeson, J. R. Clark, and J.E. Clark, Eds. Minneapolis, MN. American Water Resources Association : 344–376.
- CELLES J. C., 1975- Contribution a l'étude de la végétation des confins Saharo-Constantinois (Algérie). Th. Doct. Univ., Nice, 336 p.
- CHAPMAN V. J., 1974- Salt Marshes and Salt Deserts of the World. Ed. 2nd, supplemented reprint. Lehre: J. Cramer, 392 p.
- CHEHMA A., 2005- Etude floristique et nutritive des parcours camelin du Sahara septentrional algérien. Cas des régions de Ouargla et Ghardaïa. Th. Doc. Univ. M. Badji, Annaba, 178 p.
- CHEHMA A., 2006- Catalogues des plantes spontanées du Sahara septentrional algériens. Labo. Eco. Sys., Univ. Ouargla, 140 p.
- CHESSSEL D., DEBOUZIE D., DONADIEU P., KLEIN D., 1975 - Introduction à l'étude de la structure horizontale en milieu steppique. I. Echantillonnage systématique par distance et indice de régularité, *Oecol. Plant.*, 10 (1): 25-42.
- CLARKE L. D. and HANNON N. J., 1970- Mangrove Swamp And Salt Marsh Communities Of Sydney District .3. Plant Growth In Relation To Salinity And Waterlogging. *Journal Of Ecology* 58 (2), 351 p.
- COLMER T. D., FLOWER T. J., MUNNS R., 2006- Use of wild relatives to improve salt tolerance in wheat. *J Exp Bot* 57: 1059-1078.
- COOK C. D. K., 1996- Aquatic Plant Book. The Hague. SPB Academic Publishing: 2nd, revised Edition, Amsterdam: 228 p.
- COQUE R., 1962- La Tunisie présaharienne (étude géomorphologique). Th. Fac. Let., Armand Colin, 488 p.
- COQUE R., 2002- Géomorphologie. Ed Armand. Colin, Paris. Collection U. 6^{ème} édition.
- COUTINET S., 1965- Méthodes d'analyses utilisables pour les sols salés, calcaires et gypseux. Analyses d'eaux. *Agronomie tropicale*. Ed. IRATCV, Paris:1242-1253.
- COWARDIN L. M., CARTER, V., GOLET, F. C., and LAROE, E. T., 1979- Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States, Washington, D.C. U.S. Department of the Interior, U.S. Fish and Wildlife Service. 103 p.
- CRONK J. K. et FENNESSY M. S., 2001- *Wetland plants : biology and ecology* / Julie K. Cronk and M. Siobhan Fennessy. LEWIS PUBLISHERS. New York. 2001.
- CUARTERO J. R., PEREZ-SEMPERE J. I., GOMEZ V., OTAL J., 1992 - El empleo de la grasa by-pass en la alimentación de la oveja Manchega durante el ordeño. *Investigación Agraria en Castilla-La Mancha, Area de Producción Animal n°4*, 13 p.

CUSHMAN J. C., MICHALOWSKI C. B. and BONHERT H. J., 1990- Developmental control of crassulacean acid metabolism inducibility by salt stress in the common ice plant. *Plant Physiol.*, 94 : 1137-1142.

D.P.A.T., 2005- Direction de Planification et de l'Aménagement de Territoire, Bilan des productions agricoles (de 1986/1987 à 2003/2004), 214 p.

DADDIBOUHOUN M., BRINIS L., SAKER M. L., COTE M. and RABIER J. , 2009 - Effects of hydro-edaphic environment on the rooting of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) Deglet Noor in the Ouargla Basin (south-east Algeria). *International Journal of Mediterranean Ecology. ecologia mediterranea*, Vol. 35 : 41-48.

DAGET P. et POISSONET J., 1991- Prairies et pâturages, méthodes d'étude. Montpellier, France, Institut de Botanique, 354 p.

DAGET P. et POISSONET J., 1997- Biodiversité et végétation pastorale. *Revue Elev. Med. vet., Pays tropicaux.*, 50 (2) : 141-144.

DAGET P., 1982 - Sur le concept de mesure et son application en écologie générale. *Vie et Milieu*, 32: 281-282.

DAGNELIE P., 1975- Analyses statistiques à plusieurs variables. Ed. Presses. Agro., Gembloux: 286-306.

DAJOZ R., 1971- Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434 p.

DAJOZ R., 1975- Précis d'écologie. Ed. Gauthier – Villars, Paris, 549 p.

DAJOZ R., 1982- Précis d'écologie. Ed. Gauthier-Villars, Paris, 503 p.

DAUBENMIRE, R. F., 1968- *Plant Communities: A Textbook of Plant Synecology*. New York. Harper & Row, 300 p.

DAY A. and LUDEKE K., 1993- *Plant Nutrients in Desert Environments*. Ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest, 117 p.

DELPECH R., DUME G. et GALMICHE, 1985 - *Typologie des stations forestières, vocabulaire*. Inst. Dével. Fores., Minist. Agr., Direction des forêts, 243 p.

DEMANGEOT J., 1981 - *Les Milieux naturels désertiques*. Paris, SEDES, nouvelle éd, 261 p.

DEYSSON G., 1967- *Physiologie et biologie des plantes vasculaires*. Tome III, Ed. SEES, Paris, 335 p.

DGF, 2005- DIRECTION GENERALE DES FORETS, Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar. Chott Aïn El Beïda (Wilaya de Ouargla) . 15. Octobre 2005, Alger, 12 p.

DJEBAILI S., 1970- Etude phytocéologique des parcours de Tademaït (Algérie). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord.*, 61, 3 - 4, Alger : 175-226.

- DJEBAILI S., 1978- Recherches phytosociologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse doctorat es-science, Université de Montpellier, 229 p.
- DJEBAILI S., 1984- Steppe algérienne. Phytosociologie et écologie. OPU, Ben-Aknoun, Alger. 177 p.
- DJELLOULI Y., DJEBAILI S., 1984 - Synthèse des relations flore-climat en zone aride: cas de la wilaya de Saida. Bull. Soc. Bot. Fr., 181, Actual. Bot. 2, 3, 4: 249 -264.
- DREUX P., 1980- Précis d'écologie. Ed. Presse universitaire de France, Paris, 231 p.
- DRIOUICH A., OUHSSINE M., OUASSOU A., BENGUEDDOUR R., 2001- Effet du NaCl sur l'activité du phosphénol pyruvate carboxylase (PEPC) foliaire et son rôle sur la synthèse du malate et de la proline chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Science Letters, Vol. 3, No. 3: 1 -7.
- DUBIEF J., 1950- Evaporation et coefficients climatiques au Sahara. Ed. : IRS, Tome VI, Alger: 13-43.
- DUBIEF J., 1959-1963- Le climat du sahara. Inst. Rech. Sahara, mem. Inst. Rech. Sah. Alger, 314 p.
- DUCHAUFOR. P., 1977 - Pédogénèse et classification. Ed. MASSON & CIE, Paris, 477 p.
- DURAND J. H., 1958- Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imbert, Alger, 190 p.
- DURANTON J. F., LAUNOIS M., LAUNOIS-LUONG M. H. et LECOQ M., 1982 - Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche. Ed. CERDAT, Paris, 401 p.
- FLOWERS, T. J., P. F. TROKE, and YEO A. R., 1977- The mechanism of salt tolerance in halophytes. Annu. Rev. Plant Physiol., 28: 89-121.
- FLOWERS, T. J., HAJIBAGHERI M. A. and CLIPSON A. R. W., 1986- Halophytes. The Quarterly Review of Biology, Vol. 61, N°. 3 : 313-337.
- FLOWERS T., TROKE P. F. and YEO A. R., 1977- The mechanism of salt tolerance in halophytes. Ann. Rev. Plant Physiol., 28: 89-121.
- FUNK D. W., NOEL L. E. and FREEDMAN A. H., 2004- Environmental Gradients, plant distribution, and species richness in arctic salt marsh near Prudhoe Bay, Alaska. Wetlands Ecology and Management, 12: 215-233.
- GAMBRELL R. P. and PATRICK W. H., 1978- Chemical and microbiological properties of anaerobic soils and sediments. In Plant Life in Anaerobic Environments. D.D. Hook and R.M.M. Crawford, Eds., pp. 375-423. Ann Arbor, MI. Ann Arbor Science Publishers.
- GARDI R., 1973 - Sahara. Ed. Kummerly et Frey, 3^{ème} édition, Paris: 49-51.

- GAUCHER G et BURDIN S., 1974- Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Presses Universitaires de France, Imp. Boudin, Paris, 234 p .
- GILLET F., 2000- LA PHYTOSOCIOLOGIE SYNUSIALE INTEGREE. *Guide méthodologique*. Documents du laboratoire d'écologie végétale et de phytosociologie . Doc.1. mars 2000, 1^{ère} édition, Univ. Neuchâtel – Inst. Bot. Suisse : 68 p.
- GIRARD J. F., LEGCHENKO A. and BOUCHER M., 2005 - Stability of MRS signal and estimating data quality, *Near Surface Geophysics*, 2005, 3, 187 -194.
- GOBAT J. C., ARAGNO M. et MATTHE Y., 1998 - Le sol vivant: Basse de Pédologie - biologie des sols, Paris, 572 p.
- GOOD R., 1974 - The Geography of the Flowering Plants, 4th edn. London: Longman, Worth perusing, 518 p
- GOUNOT M., 1969 - Méthodes d'études quantitatives de la végétation. Masson et Cie. Paris. 314 p.
- GUINOCHET M., 1973- Phytosociologie. Ed. Masson, Paris, 227 p.
- GUL B., WEBER D. J. and KHAN M. A., 2001- Growth, ionic and osmotic relations of an *Allenrolfea occidentalis* population in an inland salt playa of the Great Basin Desert. *J. Arid Environ.*, 48: 445-460.
- FLOWERS T., TROKE P. F., and YEO A. R., 1977- The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 28: 89-121.
- GUNTENSPERGEN G.R., STEARNS F. and KADLEC J.A., 1989- Wetland vegetation. In *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. D.A. Hammer : 73-88.
- HACINI M., 2006- Géochimie des sels et des saumures et calcul des vitesses de précipitation de quelques minéraux évaporitiques. Th. Doc. Univ. M. Badji, Annaba, 200 p.
- HALILAT M.T., 1993- Etude de la fertilisation azotée et potassique sur le blé dur (variété al dura) en zone saharienne (région d'Ouargla).Thèse magistère INFS d 'agronomie, Batna, 132 p.
- HALITIM A., 1988- Sols des régions arides d'Algérie. Ed. OPU, Alger, 384 p.
- HAMDI-AISSA B., et GIRARD M. C., 2000- Utilisation de la télédétection en régions sahariennes pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des p édopaysages. *Sécheresse*, 11 (3): 179 - 188.
- HAMDI-AISSA B., 2001- Le fonctionnement actuel et passé de sol du Nord Sahara (cuvette d'Ouargla). Thèse doc, Inst. nati. agro., Grignon, 194 p.
- HAMDI-AISSA B., OUELD-EL-HADJ M. D., CHEHMA A., HADJAIDJI F., BEN SETTI A., HACINI H., MOKHTARA F. et LEKHCHAKHECH E., 2005 - Contribution à l'étude des

conditions édaphiques de la flore spontanée de la médecine traditionnelle de la région de Ouargla. Sem. Int. Val. Plantes Médicinales dans les Zones Arides, Univ. Ouargla, 16 p.

HAOUALA F., FERJANI H., BEN EL-HADJ S., 2006- Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{+2}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2007 11 (3), 235–244.

HAYON J. C., 1968- Recherches phytoécologiques sur les marais salés de la Lorraine. Thèse Sci. Nancy, Faculté des. Sciences: 212 p.

HELLER R., ESNAULT R. and LANCE C., 2004 - Physiologie végétale. Nutrition. Ed. Dunod, 323 p.

HERIBERT H., 2004- Plant Responses to Abiotic Stress. Inst. For Microbio. and Genetics. ISSN 1610-2096. Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 320 p.

HERNANDEZ S., 1997- Mécanismes physiologiques et métaboliques de la résistance à la contrainte saline chez les végétaux supérieurs. Rapports bibliographiques, Uni. Rennes I, 20 p.

HEYWOOD V. H., 1978- Flowering Plants of the World. University Press, Oxford University Press, New York, N.Y., 248 p.

HOPKINS W. G., 2003- Physiologie végétale. De boeck, 512 p.

HUETZ DE LEMPS A., 1970- La végétation de la terre. Ed. Masson et Cie, Paris, 133 p.

HUTCHINSON G. E., 1975- A Treatise on Limnology III. Aquatic Macrophytes and Attached Algae. New York, Wiley, 660 p.

INGRAM J. C., 2008- Berger- Parker Index. Encyclopedia of Ecology. The Earth Institute at Columbia University, New York, ed. Elsevier, N.Y., USA: 339-346.

IVANOVA E. N., ROSANOV A. N., 1939- Classification of salinized soils. Pedology (URSS), 7: 44-52.

JORGENSEN S. E., LOFFLER H., RAST W. and STRASKRABA M., 2005- Lake and Reservoir Management. Amsterdam, Elsevier, 11-42.

KAABECHE M., 1990- Les groupements végétaux de la Région de Bou-Saada. Essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb. Th. Doct. es Sce., Univ. Paris-Sud., Fac. Sces, Orsay, 134 p.

KAUL R.D., 1976- Anatomical observations on floating leaves. Aquatic Botany 2: 215-234.

KELLY W. P., 1957- A general discussion of the chemical and physical properties of alkali soils. First intern-conf. Soil. Sci. Proc., vol. 4. In: Les problèmes de la salinité dans les régions arides. Coll. Teheran, UNESCO : 483-489.

- KHAN M. A. and GUL B., 2002- Salt tolerant plants of coastal sabkhas of Pakistan. In: *Sabkha Ecosystems*. H. Barth and B. Boer (eds.). Kluwer Academic Press, Netherlands, 123-140.
- KHAN M. A., AHMED M. Z. and A. HAMEED. 2006- Effect of sea salt and L-ascorbic acid on the seed germination of halophytes. *J. Arid Environ.*, 65: 535-540.
- KHAN M.A. and QAISER M., 2006- Halophytes of Pakistan: Distribution, Ecology, and Economic Importance. In: *Sabkha Ecosystems*. M.A. Khan, H. Barth, G.C. Kust and B. Boer (eds.). Vol. II: Springer, Netherlands: 129 -153.
- KLIMESOVA J., 1994- The effects of timing and duration of floods on growth of young plants of *Phalaris arundinacea* L and *Urtica dioica* L: an experimental study. *Aquatic Botany* 48: 21–29.
- KLIMESOVA J., 1995- Population dynamics of *Phalaris arundinacea* L. and *Urtica dioica* L. in a floodplain during a dry period. *Wetlands Ecol. Manage* , 3: 79–85.
- KARMER D., ANDERSON W. P. and PRESTON J., 1978- Transfer cells in the root epidermis of *Atriplex hastata* L. as a response to salinity: *a comparative cytological and X-ray microprobe investigation*. *Australian J. Plant Physiol.*, 5: 739–47.
- LACOSTE A., et SALANON R., 2001 - *Eléments de biogéographie et d'écologie*. Ed. Nathan Université, Paris, 318 p.
- LAKHCHAKHECHE E., 2002- Contribution à l'étude des relations sol-végétation dans l'écosystème de la cuvette de Ouargla. *Mém. Ing, Univ. Ouargla* , 117 p.
- LARCHER W., 1995- *Physiological plant ecology*. Ed. Springer -verlagm, Berlin, 506 p.
- LÄUCHLI A. and LÜTTGE U., 2004- *Salinity: Environment-Plants-Molecules*. Ed. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 551 p.
- LE HOUEROU H. N., HOSTE S. H., 1977 - Rangeland production and animal rangeland relation in the mediterranean basin and in african sahelo -sudanien zone. *J. Range Management*, 30 (3) : 181-189.
- LE HOUEROU H. N., 1959- *Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale*. *Mém. h., Inst Rech. Sahar., Univ. d'Alger*, 510 p.
- LE HOUÉROU H. N., 1968- La désertisation du Sahara septentrional et des steppes limitrophes (Libye, Tunisie, Algérie). *London Ann. Alg. Géogr.* : 2-27.
- LE HOUEROU H. N., 1969- La végétation de la Tunisie steppiques (avec référence au Maroc, à l'Algérie et à la Lybie). *Ann. Ins. Nat. Rech. Agro., Tunis*, 42 (5), 624 p.
- LE HOUEROU H. N., 1975- *Problèmes et potentialités des terres arides de l'Afrique du Nord*. *Options Médit., Paris*, 26: 17-35.

LE HOUÉROU H. N. 1993- Salt-tolerant plants for the arid regions of the Mediterranean isoclimatic zone. In: Lieth H, Masoon A Al, eds. Towards the rational use of high salinity tolerant plants, vol. 1. Dordrecht, the Netherlands, Kluwer : 403-422.

LE HOUEROU H. N., 1995- Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique; Diversité biologique, développement durable et désertisation. CIHEAM/ACCT, Série B, N°10, 408 p.

LEMEE G., 1967- Précis de la biogéographie. Masson et Cie, 285 p.

LEMEE G., 1978- Précis d'écologie végétale. Ed. Masson et Cie, Paris, 285 p.

LENSSEN J. P. M., MENTING F. B. J. and VAN DER P. W. H., 2004- Do competition and selective herbivory cause replacement of *Phragmites australis* by tall forbs. *Aquat. Bot.*, 78: 217-232.

LEUBERT M., 1952- Conditions structurales de reliefs dans le Sahara. Ed. Inst. Rech. Sah., Alger, Tome 8: 189 - 190.

LEVIGNERON A., LOPEZ F., VANSUYT G., BERTHOMIEU P., FOURCROY P. et CASSE-DELBART F., 1995- Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*, 4: 263 -273.

LEVINE, J., BREWER, J.S., and BERTNESS, M. D., 1998 - Nutrients, competition and plant zonation in a New England salt marsh. *Journal of Ecology* , 86: 285–292.

LIU X., QIAO H., LI W., TADANO T. and KHAN M. A., 2006- Comparative effect of NaCl and Seawater on seed germination of *Suaeda salsa* and *Atriplex centralasiatica*. In: *Biosaline agriculture and salinity tolerance in plants*. M. Ozturk, Y. Waisel, M. A. Khan and G. Gork (eds.). Birkhauser Verlag, Switzerland: 45-53.

LONG G., 1974- Diagnostic phytoécologique et aménagement de territoire. Masson et Cie, Paris : 22 - 252.

LUTTGE U., KLUGE M., et BANER G., 1992- Botanique. Ed. Tec & Doc-lovoisier, 574 p.

MABERLY S. C. and SPENCE D. H. N., 1989- Photosynthesis and photorespiration in freshwater organisms: amphibious plants. *Aquatic Botany* 34: 267 –286.

MACKENZIE D. I., NICHOLS J. D., LACHMAN G. B., DROEGE S., ROYLE J. A. and LANGTIMM C. A., 2002- Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology*, 83: 2248-2255.

MANN C. J. and WETZEL, R. G., 1999- Photosynthesis and stomatal conductance of *Juncus effusus* in a temperate wetland ecosystem. *Aquatic Botany* , 63: 127–144.

MARC T., JEAN-PAUL V., ANNIE O., JEAN-CLAUDE G. and JEAN-CLAUDE L., 2003- Vegetation dynamics and plant species interactions under grazed and un-grazed conditions in a western European salt marsh. *Acta Oecol.*, 24: 103-111.

MASS E.V. and NIEMAN R. H., 1978- Physiology of plants tolerance to salinity, In: Crop Tolerance to Subtropical Land Conditions. Jung, G.A. (ed.), pp. 277–99. ASA Special Publication 32.

MATTHEWS G. V. T., 1993- The Ramsar Convention; Its History and Development. Gland, Switzerland. Ramsar Convention Bureau, 180 p.

MENZEL U. and LIETH H., 1999- Halophyte Database Vers. 2.0. Halophyte Uses in different climates I: Ecological and Ecophysiological Studies. Progress in Biometeorology, Vol. 13. Edited by H. Lieth, M. Moschenko, M. Lohman, H. –W. Koyro and A. Hamdy. Backhuys Publishers, The Netherlands : 77–88.

MITSCH W. J. and GOSELINK J. G., 2000- Wetlands, 3rd edition, 920 pp. New York. John Wiley & Sons.

MONOD T., 1992- Du désert. Secheresse, 3 (1) : 7–24.

NEDJRAOUI D., 1990- Adaptation de l'Alfa (*Stipa tenacissima*) aux conditions stationnelles. Contribution a l'étude du fonctionnement de l'écosystème steppique. Th. Doc. Univ. S ci. Tech. H. Boumediene, Alger, 256 p.

NIU X., BRESSAN R. A. and HASEGAWA P. M., 1995- Ion homeostasi in NaCl stress environment. Plant Physiology, 109: 735–742.

O.N.M., 2008- Bulletin d'informations climatiques. Ed. Office National Meteorologique, Ouargla, 5 p.

OMER L. S. 2004- Small-scale resource heterogeneity among halophytic plant species in an upper salt marsh community. Aquat. Bot., 78: 337–348.

O.N.A., 2003- Office National de l'Assainissement. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires pluviales et d'irrigation: Mesures de lutte contre la remontée de la nappe phréatique; ONA, Ouargla, 42 p.

OZENDA P., 1978- Flore du Sahara septentrional et central. Ed. CNRS, Paris, 486 p.

OZENDA P., 1982- Les végétaux dans la biosphère. Ed. Doin éditeurs, Paris, 431 p.

OZENDA P., 1983- Flore du Sahara. Ed. CNRS, Paris, 622 p.

PARTRIDGE T. R. and WILSON J. B., 1987- Salt tolerance of salt marsh plants of Otago, New Zealand. New Zealand Journal of Botany, 25: 559–566.

PETTINI C., 1992- Stratégie d'échantillonnage prenant en compte différents niveaux de structuration spatiale. Application à deux insectes ravageurs de la châtaigne (*Curculia elephas* et *Cydia splendana*) et à une graminée l'Alfa (*Stipa tenacissima*). Th. Doc., Univ. Claude Bernard, Lyon I, 331 p.

- PHILIPPEAU G., 1986- Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales. ITCF, Paris, 63 p.
- PITMAN M. G., LAUCHLI A., 2002- Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: Salinity: Environment-Plants-Molecules. Eds. A. Lauchli, V. Lutge, Kluwer, The Netherlands : 3–20.
- POLJAKOFF-MAYBER A, 1975- Morphological and anatomical changes in plants as a response to salinity stress. In : Plants in Saline Environment, ed. A Poljakoff-Mayber, J Gale, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 97–117.
- POUGET M., 1971- Etude agro-pédologique du bassin du Zahrez Rharbi (feuille de rocher de sel). Université d'Alger, 158 p.
- POUGET M., 1980- Les relations sol-végétation dans les steppes sud algéroises. Th. Doc., Univ. Aix-Marseille, 555 p.
- QUEZEL et SANTA, 1962/1963- Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed. CNRS, T2, Paris: 551–558.
- QUEZEL P., 1955- La végétation du Sahara, du Tchad à la Mauritanie. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, 328 p.
- QUEZEL P., 1978- Analyses of the flora Mediterranean and Saharan Africa . Annals of the Missouri Botanical Garden : 479–535.
- RAMADE F., 1984- Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale. Ed. Mc Graw-Hill, Paris, 379 p.
- RAMADE F., 2002 - Dictionnaire de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2^{ème} édition, Ed. Dunod, Paris: 249–373.
- RAMADE F., 2003- Eléments d'écologie, écologie fondamentale. Ed. Dunod, Paris, 690 p.
- RAMADE F., 2008 - Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité. Ed. Dunod, Paris, 737 p.
- RAVEN P. H., EVERT R. F. et EICHORN S. E., 2003- Biologie végétale. De boeck. 944 p.
- DE FOUCAULT B., 1997- Approche systémique de la végétation aquatique in TEISSIER - ENSMINGER A. et SAJALOLI B. (1997) « Radioscopie des mares » . Ed. L'Harmattan, 288 p.
- ROBERTS J. K. M., 1989- Cytoplasmic acidosis and flooding tolerance in crop plants. In The Ecology and Management of Wetland Plants, Vol. 1 , D. D. Hook et al., Portland, OR. Timber Press: 392–397.
- RODIER J., 1996- L'analyse de l'eau. Ed. DUNOD, Paris, 1383 p.

ROGEL J. Á., SILLA R. O. and ARIZA F. A., 2001- Edaphic characterization and soil ionic composition influencing plant zonation in a semiarid Mediterranean salt marsh. *Geoderma*, 99: 81–98.

ROUVILLOIS-BRIGOL N., 1975- Le pays de Ouargla (Sahara algérien) variations et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Ed. Département de Géographie, Univ. de Sorbonne, Paris, 316 p.

SAUVAGE C., 1963- Le quotient pluviothermique d'EMBERGER, son utilisation et la représentation géographiques de ses variations au Maroc. *Ann. Serv. Phys. Gl. Météorol. de l'Inst. Sci. Chérif.*: 11-23.

SAVAGE J. M., 1995- Systematics and the biodiversity crisis. *Bioscience*, 45: 673–679.

SCAMONI A. and PASSARGE H., 1963- Einführung in die praktische Vegetationskunde. Jena, 236 p.

SCOTT D. A. and JONES T. A., 1995- Classification and inventory of wetlands: a global overview. *J. Vegetation*, 118: 3–16.

SCULTHORPE C. D., 1967- The Biology of Aquatic Vascular Plants. Edward Arnold Publishers, 610 p.

SERRANO R., ALI R., CULIANEZ-MACIA F. A., FERRANDO A., GARCIA M. J., GAXIOLA R., GLASSER H. U., MARQUEZ J. A., MIRALLES V. J., MONTESINOS C., MONTRICHARD F., MURGUÍA J. R., RIOS G., RODRIGUEZ P. L. and RONNERE C., 1996- Crucial reactions for salt tolerance in yeast. In : Physical stress in plants. Ed. S. Grillo, A. Leone, Berlin, Heidelberg, New York : 95–100.

SERVANT J., 1970- Etude expérimentale de l'influence des conditions salines sur la perméabilité des sols. Conséquences pédologiques. *Science du sol*, N°2: 87–101.

SERVANT J., 1973- Le profil salin des sols. Méthodes d'études et signification. Application aux sols halomorphes du Midi de la France. *Ann. Agro.*, 24, 3: 375–393.

SERVANT J., 1975- Contribution à l'étude pédologique de terrains halomorphes. L'exemple des sols salés du Sud et du Sud-ouest de la France. Thèse d'état. Université de Montpellier, 200 p.

SERVANT J. M., 1978- La salinité dans le sol et les eaux: caractérisation et problèmes d'irrigation drainage. *Bull. BRGM, Sec n°2* : 123–142.

SHALTOUT Æ. YASSIN M. AL-SODANY, 2008- Vegetation analysis of Burullus Wetland: a RAMSAR site in Egypt. *Wetlands Ecol Manage*, Springer: 19 p.

SILVESTRI S., DEFINA A. and MARANI M., 2005- Tidal regime, salinity and salt marsh plant zonation. *Estua. Coast Shelf Sci.*, 62: 119–130.

SOLTNER D., 1989- Les bases de la production végétale. Le sol. Ed. Angers, 468 p.

STENGEL E. and SOEDER C. J., 1995- Control of photosynthetic production in aquatic ecosystems. In *Photosynthesis and Productivity in Different Environments*. J.P. Cooper , Cambridge University Press : 645–660.

STEWART P., 1969- Quotient pluviothermiques et degradation biospheriques: quelques reflexions. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord* (59): 23–36.

TALLEY D. M., 2008- *Salinity: Encyclopedia of Ecology*. Elsevier, Amsterdam : 45–60.

THOMSON W., 1975- The structure and function of salt glands. In : *Plants in Saline Environment*, Ed. A Poljakoff-Mayber, J Gale. Springer-Veriag, Berlin, Heidelberg, New York : 118–143.

TINER R. W., 1999- *Wetland Indicators: A Guide to Wetland Indentification, Delineation, Classification and Mapping*, 392 pp, Boca Raton, FL CRC Press.

TOTH T., MATSUMOTO S., MAO R. and YIN Y., 1995- Precision of predicting soil salinity based on vegetation categories of abandoned lands. *Soil Sci.*, 160: 218 –231.

TOUTAIN G., 1979- *Eléments d'agronomie saharienne, de la recherche au développement*. Ed . INRA, Paris, 276 pages.

TRICART J., 1954- Une forme de relief climatique: *les sebkhas*. *Rev. Géomorph. Dyn.*, 5: 97–101.

U.S. Army Corps of Engineers., 1987- *U.S. Army Corps of Engineers Wetlands Delineation Manual*, Technical Report Y-87-1. Vicksburg, MS. U.S. Army Corps of Engineers, Environmental Laboratory, Waterways Experiment Station , 207 p.

U.S. National Research Council., 1995- *Wetlands: Characteristics and Boundaries*. Committee on Characterization of Wetlands, Water Science and Technology Board, Board on Environmental Studies and Toxicology, Commission on Geosciences, Environment, and Resources. Washington, D.C. National Academy Press , 307 p.

UNESCO, 1960- *Les Plantes Médicinales des Régions Arides*. *Recherches sur les Zones Arides*, Paris, 99 p.

UNGAR I. A., 1976- Vegetation-soil relationships on saline soils in North Kansas. *Am. Mid. Nat.*, 78: 98–120.

UNGAR I. A., 1991- *Ecophysiology of Vascular Halophytes*. CRC Press, Boca Raton, F.L., 108 p.

UNGAR I. A., 1995- Seed germination and seed-bank ecology of halophytes. In: *Seed development and germination*, J. Kigel and G. Galili (eds.). Marcel and Dekker, New York: 599 – 628.

UNGAR I. A., 1998- Are biotic factors significant in influencing the distribution of halophytes in saline habitats? *Botanical Review* 64 (2) : 176–199.

- VIEILLEFON, 1979- Contribution à l'amélioration de l'étude analytique des sols gypseux. Cah. OROSTOM, Ser., Pedo., 17, Paris: 195–201.
- VILLAIN M., 1999- Méthodes expérimentales en agronomie: Pratique et analyse. Ed. Technique et Documentation, Paris, 337 p.
- WASEL Y., 1972- The biology of halophytes. London, UK: Academic , 395 p.
- WALBRIDGE M. R., 1993- Functions and values of forested wetlands in the southern United States. Journal of Forestry, 91: 15–19.
- WALTERS B. B., 2006- Local mangrove planting in the Philippines: are fisherfolk and fishpond owners effective restorationists?, Restoration Ecology, 8: 237–246.
- WANG S. M., ZHENG W. J., REN J. Z. and ZHANG C. L., 2002- Selectivity of various types of salt-resistant plants for K⁺ over Na⁺. Journal of Arid Environments. 52: 457–472.
- WESTHOFF V., 1965- Plantengemeenschappen. In: `Het leven der planten`. 2e druk Zeist-Arnhem : 288–349.
- YOKOISHI T. and TANIMOTO S., 1994- Seed germination of the halophyte *Suaeda japonica* under salt stress. J. Plant Res., 107: 385–388.
- ZAHRANE M., 1995- Les principes d'écologie végétale et leurs applications. Ed. El-Ouafa-Egypte, 267 p.

Sommaire

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1- Généralités sur les plantes halophytes et hydrophytes en relation avec leur biotope	3
1.- Salinité des sols.....	3
1.1.- Définition de la salinité et des sols salins	3
1.2.- Origine des sols salins.....	4
1.3.- Mesure de la salinité	4
1.4.- Echelle de salinité.....	5
1.5.- Typologie des sols salins	6
1.6.- Typologie des formes de profils salins	8
2.- Halophytes.....	9
2.1.- Végétation halophile	9
2.2.- Définition des halophytes	9
2.3.- Catégories d'halophytes	11
2.4.- Classification des halophytes	11
2.5.- Caractéristiques morphologiques, anatomiques et physiologiques	12
2.6.- Mécanismes de résistance à la salinité chez les halophytes	14
3.- Hydrophytes.....	18
3.1.- Habitats des hydrophytes	18
3.2.- Définitions des Zones Humides	18
3.3.- Classification des zones humides	20
3.4.- Plantes des zones humides	21
3.5.- Hydrophytes.....	23
3.6.- Classification des hydrophytes	24
3.7.- Distribution des hydrophytes	25
3.8.- Fonctions écologiques des zones humides	26
CHAPITRE 2- Présentation de la zone d'étude	30
1.- Situation géographique	30
2.- Géologie et lithologie.....	30
3.- Géomorphologie.....	32
4.- Pédologie.....	35
4.1.- Sols salés en surface	35

4.2.- Sols salés en profondeur	36
5.- Hydrologie.....	36
5.1.- Ressources en eaux souterraines	36
5.2.- Ressources en eaux superficielles	38
6.- Caractéristiques climatiques et bioclimatiques	38
6.1.- Températures.....	38
6.2.- Pluviométrie.....	40
6.3.- Evaporation.....	40
6.4.- Insolation.....	41
6.5.- Vents.....	41
6.6.- Synthèse des données climatiques	41
7.- Végétation.....	43
7.1.- Plantes en relation avec les milieux sahariens.....	44
8.- Sol.....	46
8.1.- Principaux types de sols	46
9.- Végétation saharienne.....	49
9.1.- Répartition des différentes formations	51
9.2.- Interaction sol végétation et influence des facteurs édaphiques	52
Chapitre 3.- Méthodologie de travail.....	55
1.- Choix des stations d'étude et des sites de prélèvements	55
1.1.- Choix des stations d'étude	55
1.2.- Choix des sites de prélèvements	55
2.- Présentation des stations d'étude	55
2.1.- Chott Ain El-Beida.....	55
2.2.- Sebkha de Bamendil	56
2.3.- Lac de Hassi Ben Abdallah.....	56
3.- Principe adopté.....	56
4.- Etude des caractéristiques floristiques	57
4.1.- Echantillonnage floristique.....	57
4.2.- Exploitation des résultats par l'application des indices écologiques	60
5.- Etude des caractéristiques pédologiques	65
5.1.- Technique d'échantillonnage	65
5.2.- Analyses du sol.....	65
6.- Etude des caractéristiques hydriques	67
6.1.- Sondage du niveau piézométrique de la nappe	67
6.2.- Prélèvement et conservation d'échantillons d'eau	67
6.3.- Analyse de l'eau.....	68
7.- Exploitation des résultats : Analyse en composantes principales (ACP)	68

Chapitre 4- Résultats et discussion	70
1.- Etude de nappe phréatique	70
1.1.- niveau des eaux phréatiques	70
1.2.- Qualité des eaux phréatiques	72
2.- Etude de la salinité des sols	74
2.1.- Granulométrie des sols	74
2.2.- Profils salins.....	77
2.3.- Humidité du sol.....	80
2.4.- Salinité du sol.....	82
2.5.- pH du sol.....	84
3.- Etude floristique.....	86
3.1.- Spectres biogéographiques	87
3.2.- Spectre biologique global.....	89
3.3.- Etude comparative de la flore des stations d`étude	90
3.3.1.- Spectres biologiques pondérés	90
3.3.2.- Indices de similarité.....	92
3.3.3.- Richesse spécifique.....	93
3.4.- Etude des peuplements végétaux	93
3.4.1.- Dominance des espèces végétales	94
3.4.2.- Recouvrement des espèces végétales	100
3.4.3.- Densité des espèces végétales.....	106
3.4.4.- Vigueur et sociabilité des espèces végétales	109
3.4.5.- Etat phénologique des espèces végétales	111
3.5.- Bilan du diagnostic	112
3.6.- Discussion.....	117
3.7.- Classification des espèces recensées	120
Conclusion générale	122

Références bibliographiques

Annexes