

UNIVERSITE DE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques



N° d'enregistrement:
/...../...../...../...../

THESE

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

Option : Protection des écosystèmes en zones arides

**Etat d'environnement des écosystèmes aquatiques dans
le Bas Sahara algérien**

Présentée et soutenue publiquement

Par: **BAZZINE Meriem**

Le: 21/06/2018

Devant le jury composé de:

Mr. HAMDI-AISSA Baelhadj	Professeur	Université de Ouargla	Président
Mr. HACINI Messaoud	Professeur	Université de Ouargla	Promoteur
Mr. BEGHALIA Mohamed	Professeur	Université de Tissemsilt	Examineur
Mme BOUDJENAH Saliha	M.C.A.	Université de Ouargla	Examineur
Mr. BECHKI Lazhar	M.C.A.	Université de Ouargla	Examineur
Melle. KOULL Naima	M.R.A.	CRSTRA Touggourt	Examineur

Année: 2017/2018

Remerciements

Les travaux de cette thèse ont été réalisés sous la direction du professeur HACINI Messaoud.

Je lui adresse également mes plus vifs remerciements, pour la confiance qu'il a su m'accorder. Je tiens à lui exprimer ma profonde reconnaissance pour son aide, son soutien et de s'être toujours rendu disponible quand j'en ai eu besoin. J'ai énormément appris à ton contact et j'éprouve beaucoup de respect pour ton travail et ta vision de la recherche.

Je remercie les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail en dépit des différentes responsabilités qui leur incombent et pour l'attention qu'ils ont porté au manuscrit de cette thèse.

Parce que les pensées et les idées avancées dans un manuscrit de thèse ne sont évidemment pas le fruit d'une seule personne, je veux également remercier tous ceux et celles, qui de près ou de loin, ont contribué à nourrir ma réflexion sur les vastes sujets que constituent cette thèse. Ma gratitude va aussi à mes compagnons de thèse, aussi bien pour nos discussions scientifiques que pour les beaux moments passés sur le terrain, au laboratoire ou au service d'Hygiène de l'APC d'Ouargla.

Nombreux sont certainement tous ceux qui ont été pour moi une aide précieuse et que malheureusement, je ne pourrai nommer. Que chacun soit assuré de toute ma gratitude. Enfin, il ne nous est pas souvent donné l'occasion de remercier les personnes qui nous sont chères et qui ont une influence sur nos pensées, généralement sur notre vie.

Je tiens donc à adresser ici mes salutations sincères à tous les membres de ma famille, qui m'ont tous encouragé à un moment ou à un autre, et qui y ont participé chacun à sa manière.

Dédicaces

Je dédie cette thèse à toute ma famille, en particulier mes parents, amis et connaissances pour les diverses recommandations et le soutien moral qu'ils m'ont toujours donné tout au long de mes études.

A mon mari,

A mes princesses Malak et Amira et

A mon Ange Abdelmounaim.

Résumé

Les écosystèmes aquatiques constituent un élément indispensable à l'équilibre écologique des zones sahariennes. Leur étude écologique est nécessaire pour tout projet de préservation. Notre travail s'est focalisé sur l'étude de l'état de l'environnement des écosystèmes aquatiques du Bas Sahara algérien représentés par cinq chotts (chott Merouane, chott Sidi Slimane, chott Baghdad, chott Oum El-Ranneb, et chott Aïn Beida) et cinq lacs (Oued Khrouf, lac Ayata, lac Témacine, lac Elbheir et lac Hassi Ben Abdallah).

Les relevés floristiques effectués dans l'ensemble des stations étudiées ont permis de recenser 11 espèces appartenant à 07 familles botaniques. La répartition des espèces varie suivant les stations d'étude. Le lac Témacine et le Chott Baghdad sont les plus riches et les plus diversifiés avec 06 espèces vivaces. Les types biologiques les plus fréquents sont les Chaméphytes (37%) qui caractérisent la végétation désertique avec un recouvrement faible et une hauteur basse. La famille des Amaranthacées regroupe le nombre le plus élevé d'espèces, ce qui indique la capacité de ces espèces à résister à la salinité et à la sécheresse. La majorité des espèces inventoriées dans les écosystèmes aquatiques étudiés sont, soit des halophytes, notamment *Halocnemum strobilaceum*, soit des plantes hydrophytes représentées par *Phragmites communis*, *Juncus maritimus* et *Tamarix gallica*. Les sols sont neutres à alcalins, gypseux, hydromorphes et très salés à extrêmement salés, avec un faciès chloruré calcique. L'hydro-halomorphie suit une allure descendante, tout en s'éloignant des centres des chotts ou des lacs. Les eaux des écosystèmes étudiés sont très chargées en sels solubles. Certaines sont polluées par l'éjection des eaux usées (Lac Ayata). Les eaux influent sur les sols et par conséquent sur la végétation. L'analyse statistique montre que la salinité, l'hydromorphie et la salinité des eaux sont les principaux facteurs qui influent la distribution et la croissance des plantes dans les stations étudiées.

La régression continue de ces zones menace impérativement la diversité biologique notamment faunistique. Face à cette situation, il est nécessaire de préparer un plan d'action gouvernemental de sauvegarde et de reconquête des écosystèmes aquatiques au Sahara, contenant un certain nombre de mesures axées surtout sur: l'inventaire des écosystèmes aquatiques et le renforcement des outils de suivi et d'évaluation, le classement de ces écosystèmes selon leur importance, le lancement d'un programme de recherche sur les écosystèmes aquatiques du Bas Sahara.

Mots clés: écosystèmes aquatiques, flore, sol, eau, écologie, Bas Sahara.

Summary

Aquatic ecosystems are essential for the ecological stability of Saharan zones. Their ecological study is necessary for any conservation project. Our work is focused on the ecological study of aquatic ecosystems in low Algerian Sahara, represented by five chotts and five lakes (Ain Beida, Oum El-Ranneb, Sidi Slimane, Baghdad chott, Merouane chott, Hassi Ben Abdallah Lake, Elbheir Lake, Témacine Lake, Ayata Lake et Oued Khrouf lake). 11 species belonging to 07 families were identified in the studied habitats. Species distribution is heterogeneous according to the stations; it found that Témacine lake and Baghdad chott are the richest with 06 species. The most frequent life-form was Chamaephytes (38%), which characterize the desert vegetation with low cover and low height. The floristic analysis showed that the natural vegetation of the studied wetlands was composed of halophytic species (*Halocnemum strobilaceum*) and hydro-halophytic species (*Phragmites communis*, *Juncus maritimus* and *Tamarix gallica*).

The soils are neutral to alkaline, gypsum, moisture and salty to very salty with dominance of chloride and calcium. The hydro-halomorphy decreased at varying distances around the study ecosystems. studied waters are loaded with soluble salts. Some are polluted by the discharge of wastewater (Ayata). Waters affect the soil and consequently on vegetation. Statistic Analysis showed that salinity, hydromorphy and water salinity are the main factors that influence the distribution and plant growth of halo-hydromorphic habitats.

The continuous regression of these zones menace Threaten necessarily the biological diversity, In particular Faunistique. In front of this situation, it is necessary to prepare a governmental action plan of protection and saving of aquatic ecosystems in low Sahara, containing a number of measures centered especially on the inventory of these ecosystems and the strengthening of the tools of follow-up and evaluation, The classification of these ecosystems according to their importance, the launch of a research program on the aquatic ecosystems of Low Sahara.

Keywords: aquatic ecosystems, flora, soil, water, ecology, Low Sahara.

ملخص

تعتبر الأنظمة البيئية المائية عنصر أساسي لتوازن النظام البيئي الإيكولوجي للمناطق الصحراوية . الدراسة الايكولوجية للنباتات بهذه المناطق ضرورية لأي مشروع للحفاظ عليها. ويتمحور عملنا على الدراسة الايكولوجية للنباتات الأنظمة الايكولوجية المائية في شمال شرق الصحراء الجزائرية، متمثلة في خمسة شطوط وخمس بحيرات) شط عين البيضاء، شط أم الرانب، شط سيدي سليمان، شط بغداد و شط مروان، بحيرة حاسي بن عبد الله، بحيرة واد خروف، بحيرة البحير، بحيرة تماسين وبحيرة عياطة)

دراسة النباتات أثبتت وجود 11 نوعا تنتمي إلى 07 عائلات .المسطحات المائية خالية من النباتات المغمورة. توزيع الأنواع يختلف وفقا للمناطق المدروسة، بحيرة تماسين و شط بغداد هي الأغنى باحتوائها على 6 أنواع مختلفة. الأنواع البيولوجية الأكثر شيوعا هي chamaephytes (38%) والتي تميز الغطاء النباتي الصحراوي بضعف غطاءها وقصر طولها .مما يدل على قدرة هذه الأنواع على تحمل الملوحة والجفاف .غالبية الأنواع التي تم جردها في المحطات المدروسة هي إما نباتات ملحية خاصة *Halocnemum strobilaceum* نباتات مائية خاصة *Tamarix gallica* و *Juncus Phragmites communis ،maritimus*

تصنف التربة في منطقة الدراسة من معتدلة إلى قلبية، غنية بالجبس، مغمورة بالمياه، مالحة جدا إلى شديدة الملوحة وغناها بالكور والكالسيوم .تنقص ملوحة ورطوبة التربة كلما ابتعدنا عن مركز الشط أو البحيرة .مياه الأنظمة البيئية المائية المدروسة غنية جدا بالأملح سريعة الذوبان .بعض منها ملوث نتيجة تصريف مياه الصرف الصحي (بحيرة عياطة).هذه المياه تؤثر على التربة وبالتالي على الغطاء النباتي التحليل الإحصائي للنتائج يبين أن ملوحة ورطوبة التربة وملوحة المياه هي العوامل الرئيسية التي تؤثر على توزيع ونمو النبات في الأوساط الرطبة المالحة .يتوزع الغطاء النباتي حسب درجة ملوحة ورطوبة التربة، ويعتبر *Halocnemum strobilaceum* أكثر الأنواع المتواجدة في التربة الرطبة شديدة الملوحة تحملا للظروف التربة السيئة وتشكل حزام خاص حول الشطوط بينما يتوزع كل من *Phragmites Tamarix gallica* و *Juncus maritimus ،communis* ، بشكل واسع وبكثافة كبيرة على حواف المسطحات المائية .

إن التراجع المستمر لمساحة الأنظمة البيئية المائية بالصحراء المنخفضة يهدد التنوع البيولوجي خاصة الحيواني. إزاء هذه الوضعية أصبح من الضروري وضع سياسة وطنية من أجل الحفاظ على هذه الأنظمة المائية وتسخير الجهود الرامية إلى مراقبتها وتثمينها و كذا تصنيفها من حيث أهميتها، بالإضافة إلى إطلاق برنامج بحث حول المسطحات المائية بالصحراء المنخفضة الجزائرية .

الكلمات المفتاحية : الأنظمة البيئية المائية، النباتات، التربة، المياه، البيئة، الصحراء المنخفضة.

Liste des abréviations

AFNOR : Agence française de normalisation

ANRH : agence nationale des ressources hydrique

CREPA : centre régionale pour l'eau potable et l'assainissement à faible coût

DBO₅: Demande biologique en oxygène de cinq jours

DCO : Demande chimique en oxygène

DGF : Direction générale des forêts

ENASEL : Entreprise Nationale des sels

IBA: Important Bird and Biodiversity Areas (sites importants pour la conservation des Oiseaux).

MedWet : Initiative pour les Zones Humides Méditerranéennes.

MES: Matières en suspension.

M.E.D.D.E : Ministère de l'Ecologie de Développement Durable, de l'Energie

ONM : Office nationale de météorologie

ORE : Observatoire Régional de l'Environnement.

OSS : Observatoire du Sahara et du Sahel

SASS : Système Aquifère du Sahara Septentrional

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure 01	Carte générale du Bas-Sahara	7
Figure 02	Coupe géologique du Sahara	11
Figure 03	Carte Hydrogéologique des deux nappes du Sahara septentrional avec le sens d'écoulement des deux nappes	10
Figure 04	Températures moyennes mensuelles durant la période (2005-2015)	20
Figure 05	Précipitations cumul mensuelles durant la période (2005-2015)	21
Figure 06	Humidité moyenne mensuelle durant la période (2005-2015)	22
Figure 07	Vitesse du vent moyenne mensuelle durant la période (2005-2015)	23
Figure 08	Evaporation moyenne mensuelle durant la période (2005-2015)	24
Figure 09	Durée d'insolation moyenne mensuelle durant la période (2005-2015)	25
Figure 10	Diagramme ombrothermique des régions d'étude (2005-2015)	26
Figure 11	Localisation des régions d'étude dans le Climagramme d'Emberger	27
Figure 12	Localisations des écosystèmes aquatiques étudiés	61
Figure 13	Dispositif de prélèvement des relevés	76
Figure 14	L'emplacement des stations d'étude : a). Chott Oum Erraneb, b). Lac Hassi Ben Abdellah, c). Chott Ain Beida	78
Figure 15	L'emplacement des stations d'étude. a). Chott Baghdad, b). Lac El Bheir	79
Figure 16	L'emplacement des stations d'étude. a). lac Ayata, b). Lac Témacine. c). chott Sidi Slimane	80
Figure 17	L'emplacement des stations d'étude. a) Lac Oued Khrouf. b) Chott Merouane.	81
Figure 18	Schéma représentant le prélèvement des échantillons du sol dans les stations d'étude	88
Figure 19	Schéma représentant les différentes sources d'alimentation des écosystèmes aquatiques étudiés	94
Figure 20	Le canal collecteur de l'Oued Righ	99
Figure 21	Variation de l'évapotranspiration dans la région d'Ouargla et de l'Oued Righ pendant la période (2005-2015)	102
Figure 22	Répartition des espèces inventoriées selon le type biologique	108
Figure 23	Densité floristique au niveau des écosystèmes aquatiques étudiés	113
Figure 24	Taux de recouvrement au niveau des écosystèmes aquatiques étudiés	114
Figure 25	Indice de Shannon-Weaver et l'équitabilité dans les écosystèmes aquatiques étudiés.	116
Figure 26	Recouvrements et fréquences floristiques du Lac Oued Khrouf	117
Figure 27	Recouvrements et fréquences floristiques du lac Ayata	117
Figure 28	Recouvrements et fréquences floristiques du Chott Sidi Slimane	118
Figure 29	Recouvrements et fréquences floristiques du lac Témacine	119
Figure 30	Recouvrements et fréquences floristiques du chott Baghdad	119
Figure 31	Recouvrements et fréquences floristiques du lac Elbheir	120
Figure 32	Recouvrements et fréquences du chott Oum Erraneb	121
Figure 33	Recouvrements et fréquences floristiques du lac Hassi Ben Abdellah	121
Figure 34	Recouvrements et fréquences floristiques du chott Ain Beidha	122
Figure 35	La composition granulométrique des sols des écosystèmes aquatiques étudiés	129
Figure 36	Variation du pH dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés	131

Figure 37	Variation d'humidité dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés	132
Figure 38	Variation de l'humidité du sol selon les sous stations étudiées	133
Figure 39	Variation de la conductivité électrique dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés	135
Figure 40	Variation de la teneur en cations et anions dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés	136
Figure 41	Variation de la teneur en gypse dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés	138
Figure 42	Variation de la teneur en calcaire dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés	140
Figure 43	Variation de la teneur en matière organique dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés	141
Figure 44	Variation de la teneur en azote dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés	142
Figure 45	Variation de la conductivité électrique dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés	146
Figure 46	Variation de la teneur en cations et anions dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés	147
Figure 47	Présentation des teneurs en sels solubles des eaux des écosystèmes aquatiques étudiés dans le diagramme de Piper (1944)	148
Figure 48	Présentation des teneurs en cations et anions des eaux des écosystèmes aquatiques étudiés dans le diagramme de Piper (1944)	149
Figure 49	Variation du pH dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés	151
Figure 50	Variation de la température dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés	152
Figure 51	Variation de l'Oxygène dissous dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés	153
Figure 52	Variation de la teneur en matières en suspension dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés	154
Figure 53	Variation de DBO5 dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés	156
Figure 54	Variation de la DCO dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés	157
Figure 55	Représentation sur le plan factoriel de l'ACP des caractéristiques des eaux des écosystèmes aquatiques étudiés	160
Figure 56	Représentation sur le plan factoriel de l'AFC des groupes des écosystèmes aquatiques suivant la qualité de leurs eaux.	162
Figure 57	Représentation sur le plan factoriel de l'ACP de la répartition des espèces végétales selon la salinité des sols étudiés	164
Figure 58	Représentation sur le plan factoriel de l'ACP de la relation entre la végétation et l'humidité des sols étudiés	165
Figure 59	Représentation sur le plan factoriel de l'ACP de la relation entre la végétation et les caractéristiques du sol	166
Figure 60	Représentation sur le plan factoriel de l'ACP de la relation eau-sol-végétation	167
Figure 61	La structure des écosystèmes aquatiques d'origine géologique	184
Figure 62	Structure des écosystèmes aquatiques d'origine anthropique	184

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau 01	Les principaux types de sols au Sahara algérien	18
Tableau 02	Classification du climat en fonction de la valeur de l'indice de Demartone	28
Tableau 03	Dénombrement hivernal des oiseaux migrateurs	42
Tableau 04	Principaux sites de nidification des oiseaux (région de l'Oued Righ)	47
Tableau 05	Espèces floristiques inventoriées dans les zones humides d'Ouargla et de l'Oued Righ	50
Tableau 06	le programme des sorties aux stations d'étude	73
Tableau 07	Les caractéristiques des écosystèmes aquatiques étudiés	95
Tableau 08	Calcul du bilan hydrique (région de Ouargla et El Hadjira) pour la période (2005-2015)	101
Tableau 09	Calcul du bilan hydrique (région de l'Oued Righ) pour la période (2005-2015)	101
Tableau 10	Liste systématique et types biologiques des espèces végétales inventoriées dans les stations d'étude	106
Tableau 11	Les espèces inventoriées dans les stations d'étude	110
Tableau 12	Les valeurs du rapport C/N des sols des écosystèmes aquatiques étudiés	143
Tableau 13	Matrice de corrélation (Pearson) des caractéristiques des sols étudiés	144
Tableau 14	Matrice de corrélation (Pearson) des caractéristiques des eaux étudiées	159
Tableau 15	Tableau 15. L'exploitation des écosystèmes aquatiques étudiés	170

Liste des photos

N°	Titre	Page
Photo 01	Quelques espèces d'oiseaux observées lors du recensement hivernal	43
Photo 02	Quelques espèces faunistiques vivant près des écosystèmes aquatiques du Sahara	45
Photo 03	Quelques espèces floristiques inventoriées dans les écosystèmes aquatiques sahariens	51
Photo 04	Les écosystèmes aquatiques de la région d'Ouargla (Vue générale)	63
Photo 05	Les écosystèmes aquatiques de la région d'El Hadjira (vue générale)	66
Photo 06	Les écosystèmes aquatiques de la région d'Oued Righ (Vue générale)	68
Photo 07	Etat de surface des sols étudiés dans la région d'El Hadjira	123
Photo 08	Etat de surface des sols étudiés dans la région d'Oued Righ	125
Photo 09	Etat de surface des sols étudiés dans la région d'Ouargla	126
Photo 10	Parcours camelin (Chott Baghdad)	172
Photo 11	Les oiseaux d'eau flamant rose (<i>Phoenicopterus ruber</i>) et Tadorne casarca (<i>Tadorna ferruginea</i>) et canard souchet (<i>Anas clypeata</i>) dans les eaux de lac Ayata et lac Oued Khrouf	173
Photo 12	Extraction des sels par l'ENASEL (Chott Merouane)	174
Photo 13	Pollution des eaux par les rejets des déchets liquides et solides dans les écosystèmes aquatiques étudiés	177

Sommaire

Introduction	1
Première partie : Contexte général	6
Chapitre I. Présentation de la région d'étude (Bas Sahara)	6
I.1. Situation géographique du Bas Sahara	7
I.2. Géomorphologie	8
I.3. Géologie	11
I.4. Hydrogéologie	12
I.5. Pédologie	17
I.6. Climatologie	19
I.6.1. Température	19
I.6.2. Précipitations	21
I.6.3. Humidité de l'air	22
I.6.4. Vents	22
I.6.5. Evaporation	23
I.6.6. Insolation	24
I.6.7. Classification bioclimatique	25
I.6.7.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen	26
I.6.7.2. Climagramme d'EMBERGER	27
Chapitre II. Les écosystèmes aquatiques	30
II.1. Définition des écosystèmes aquatiques	30
II.2. Les écosystèmes aquatiques sahariens	31
II.3. Etat de santé des écosystèmes aquatiques	38
II. 4. Biodiversité des écosystèmes aquatiques	39
II.4.1. la faune des écosystèmes aquatiques sahariens	41
II.4.2. La flore des écosystèmes aquatiques sahariens	48
II.5. Politique nationale pour la gestion des écosystèmes aquatiques	52
II.5.1. Approche écosystémique de la gestion	53
Chapitre III. Présentation des stations d'étude	60
III.1. Les écosystèmes aquatiques d'Ouargla	60
III.2. Les écosystèmes aquatiques d'El Hadjira	64
III.3. Les écosystèmes aquatiques de l'Oued Righ	67

Deuxième partie : Matériel et méthodes	72
I. Principe adopté	72
II. Etude floristique	74
II.1. Choix de méthode d'échantillonnage	74
II.2. Choix de l'emplacement des relevés	75
II.3. Les indices écologiques	82
II.3.1. Recouvrement	82
II.3.2. Taux de recouvrement	82
II.3.3. Coefficient d'abondance / dominance	83
II.3.4. Richesse floristique	83
II.3.5. Densité	84
III. Etude des eaux	84
III.1. Analyses sur terrain	84
III.2. Observations au cours de prélèvement	85
III.3. Analyses au laboratoire	85
IV. Etude des caractéristiques pédologiques	87
IV. 1. Méthodes d'échantillonnage	87
IV.2. Les analyses effectuées au laboratoire	88
V. Traitement des données	91
Troisième Partie : Résultats et discussion	93
III.1. Physionomie générale des écosystèmes aquatiques étudiés	93
III.1.2. Bilan hydrologique	96
III.1.3. Le canal de l'Oued Righ	97
III.1.4. Calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite	100
III.2. Etude floristique	104
III.2.1. Paramètres qualitatifs de la flore des stations étudiées	104
a. Composition floristique	105
b. Les types biologiques	105
III.2.2. Paramètres quantitatifs (densité et taux de recouvrement) de la flore des stations étudiées	112
A. Densité floristique	112
B. Le taux de recouvrement	113
C. Diversité alpha (diversité- α) ou intrabiotope	113

D. L'abondance-dominance des espèces	114
III.3. Etude du sol	123
III.3.1. La structure du sol	123
III.3.2. Composition granulométrique	128
III.3.3. Le pH	130
III.3.4. L'humidité du sol	131
III.3.5. La conductivité électrique	134
III.3.6. Les sels solubles	135
III.3.7. Le gypse	137
III.3.8. Le calcaire	138
III.3.9. La matière organique	140
III.3.10. L'azote total	141
III.3.11. Le rapport C/N	142
III.3.12. Approche statistique des données des sols échantillonnés	143
III.4. Etude des eaux des écosystèmes aquatiques étudiés	145
III.4.1. La conductivité électrique	145
III.4.2. La teneur en sels solubles	146
III.4.3. Le pH	150
III.4.4. La température	151
III.4.5. les indicateurs de pollution	152
a. L'oxygène dissous	152
b. Matières en suspension (MES)	154
c. La Demande Biologique en Oxygène (DBO ₅)	155
d. Demande chimique en oxygène (DCO)	156
III.4.5. Approche statistique	158
III.5. Etude écologique des écosystèmes aquatiques étudiés	163
III.5.1. Relation sol-Végétation	163
a. La salinité du sol	163
b. L'humidité du sol	164
c. Les caractéristiques du sol	166
III.5.2. Relation sol-eau-végétation	167
III.6. Etat de l'environnement des écosystèmes aquatiques étudiés	169
III.6.1. Importance et exploitation des écosystèmes étudiés	170

III.6.2. Les signes de dégradation des écosystèmes aquatiques étudiés	175
III.7. La gestion des écosystèmes aquatiques du Bas Sahara	178
III.7.1. Cadre juridique et réglementaire	178
III.7.1. La contrainte du non application de la réglementation relative à la protection des écosystèmes aquatiques	180
III. 8. Classification des écosystèmes aquatiques étudiés	182
III.8.1. Les écosystèmes aquatiques d'origine géologique	182
III.8.2. Les écosystèmes aquatiques d'origine anthropique	182
Conclusion	186
Références bibliographiques	190
Annexes	200

Introduction

Introduction

Les écosystèmes aquatiques ont donné naissance à la Vie il y a près de 4 milliards d'années. Ils sont caractérisés par la présence d'un fluide beaucoup plus dense et visqueux que l'air. Ce milieu aquatique est continu et les contraintes physiques y sont spécifiques. Ses habitats dépendent de facteurs environnementaux comme la température, la salinité, l'oxygène dissous, le pH, la pression hydrostatique, la présence de polluants... On a l'habitude de séparer les écosystèmes aquatiques en continentaux (eaux douces, rivières, fleuves, lacs, réservoirs...), lagunaires et côtiers, incluant les estuaires, les lagunes, les marais littoraux..., et en marins, rassemblant tous les milieux salés, de la côte au grand large (**Agropolis, 2007**).

L'écosystème aquatique est le résultat d'un équilibre entre un milieu naturel et les espèces animales et végétales qui y vivent.

Les écosystèmes aquatiques sont des écosystèmes, dont l'équilibre peut être rompu et modifié durablement par la pollution. Ces écosystèmes sont de nature très variée (les lacs et les cours d'eau, mais aussi les zones inondables ou humides (marais et tourbières) ; les nappes souterraines constituent les milieux aquatiques). Ils abritent une biocénose diversifiée, la nature et le développement de ces communautés dépendent des conditions du milieu et des habitats disponibles.

Selon **Lévêque (1994)**, Les hydrosystèmes abritent en effet des ressources vivantes exploitables pour la consommation et le loisir (poissons, crustacés, etc.). L'évolution de la disponibilité de ces ressources dépend pour une grande part de l'évolution de la qualité des milieux, avec les conséquences économiques que cela comporte. L'utilisation de variables biologiques permet une évaluation directe de l'état de ces ressources, ces dernières pouvant d'ailleurs être utilisées comme indicateurs.

Les écosystèmes aquatiques jouent partout des rôles très divers, et souvent essentiels, dans la régulation des processus du vivant tout comme au sein des sociétés qui les gèrent à toutes les

échelles. Les enjeux de leur gestion, dans l'esprit de leur préservation et/ou de leur exploitation sont de ce fait multiples et concernent de nombreuses disciplines scientifiques, tant parmi les sciences dites de la Nature que parmi celles de la Société. Certaines activités, ainsi que « l'offre » des ressources qui leur sont associées, dépendent fortement de leur état, et sont donc vulnérables aux dégradations qu'ils subissent, qui deviennent autant de facteurs de risques pour les sociétés (**Agropolis, 2007**).

D'après **Saifouni (2009)**, Les zones humides sont des écosystèmes très complexes, vulnérables, et dont le fonctionnement n'est cependant pas encore bien connues ni bien compris. Ces milieux, malgré les énormes services écologiques et économiques qu'on leurs reconnaissent, n'échappent malheureusement pas à une dynamique de destruction sans pareille qui remet en cause l'existence d'un nombre élevé d'espèces floristiques et faunistiques.

Malgré les conditions climatiques rudes, le Sahara septentrional algérien renferme plusieurs écosystèmes aquatiques. Ils sont caractérisés par des eaux et des sols salés impropres à la croissance de la plupart des plantes et seules persistent les espèces susceptibles de supporter la salure (**Ozenda, 1982**).

La végétation des terrains salins et gypso-salins du Sahara septentrional est relativement variée et plus riche du point de vue floristique (**Quezel et Santa, 1963**). Parmi lesquelles on cite les associations d'hyper-halophiles de *Halocnemum strobilaceum* qui colonisent les sebkhas asséchées en été ; l'association halo-gypsophile de *Zygophyllum album* et *Traganum nudatum* (**Kherraze et al, 2010; Youcefi, 2011 ; Chenchouni, 2012 ; koull, 2015**).

Cependant, de nombreuses de ces écosystèmes sont dégradés, voire menacés de disparition suite aux actions anthropiques (rejets des eaux usées et de drainage : cas du chott Aïn El Beida, Oum El-Ranneb et lac Ayata), sans négliger les effets de la sécheresse très fréquente en régions désertiques. Ces zones revêtent une importance nationale sur le plan de sa richesse en patrimoine floristique et faunistique.

Les milieux aquatiques des régions arides algériennes, déjà réputés pour leur capacité d'accueil pendant la saison d'hivernage, s'imposent donc comme des lieux de reproduction privilégiés, entre autres pour le Flamant rose. Ces sites dont la mise en eau est très dépendante des conditions météorologiques semblent ainsi réunir les conditions favorables à l'installation et à nidification de cet échassier. (**Bouaguel et al, 2014**).

C'est au début des années 1970, que la Communauté internationale a pris conscience de l'importance vitale de ces écosystèmes. La ville iranienne de Ramsar a permis à quelques 18 pays, possédant des zones humides sur leur territoire, de signer un premier traité intergouvernemental, connu depuis sous le nom de « Convention de Ramsar ». Ce traité compte aujourd'hui 123 pays adhérents, avec pas moins de 1044 zones humides (d'une superficie de près de 800.000 kilomètres carrés), inscrites sur la liste Ramsar des zones humides d'importance internationale. L'importance de ce traité, consiste à amener les parties contractantes à prendre l'engagement de garantir la conservation des zones humides, et leur utilisation rationnelle et durable au bénéfice de l'humanité. L'Algérie, qui a ratifié la Convention de Ramsar en 1982, se préoccupe de la sauvegarde et la gestion rationnelle de ces milieux, et cherche à en connaître les aspects socio-économiques (Saifouni, 2009).

Malgré la prise de conscience au niveau mondial, les écosystèmes aquatiques continuent à régresser de façon spectaculaire.

Comment dans ce cas peut-on encore espérer les protéger, sachant que toutes les mesures qui pourront être prises ne feront au mieux que freiner leur régression et que leur préservation se heurte parfois à d'autres politiques, telles que l'agriculture, l'aménagement rural, le tourisme ?

Notre étude a concerné dix écosystèmes aquatiques situés au niveau du Bas Sahara algérien, dans le but d'une caractérisation écologique, en se basant sur la détermination de la qualité physico-chimique des eaux et des sols ainsi qu'une étude de la végétation.

Afin de déterminer la diversité floristique et les facteurs environnementaux influençant les mécanismes vitaux des écosystèmes aquatiques du Bas Sahara algérien ; une analyse de l'état actuel de ces communautés végétales s'impose. Pour cela, nous avons choisi dix écosystèmes aquatiques bien distinctes entre Ouargla El Hadjira et Oued Righ (chott Aïn El Beida, chott Oum El- Ranneb, lac Hassi Ben Abdallah, chott Baghdad, Lac Elbheir, lac Témacine, chott Sidi Slimane, lac Ayata, lac Oued Khrouf et Chott Merouane).

Les différentes tâches de ce travail sont les suivantes :

- Etudier la végétation des écosystèmes aquatiques, en déterminant leur densité, recouvrement, types biologiques, voir les différentes espèces existantes
- Etudier le substrat des différents types des écosystèmes aquatiques afin de connaître les caractéristiques de sol

- Etudier la qualité des eaux des écosystèmes aquatiques à travers les analyses physico-chimiques
- Comparer et synthétiser les données (étude écologique)
- Etablir des mesures de recommandations et suggérer un aménagement adapté pour la conservation et la gestion durable des écosystèmes aquatiques dans le Bas Sahara algérien.

En conclusion, cette étude essaiera donc de réunir plusieurs paramètres environnementaux issus d'études écologiques, d'inventaires floristiques pour mettre en évidence l'état des écosystèmes aquatiques. Ceci permettra de faire des suggestions et des recommandations sur la gestion rationnelle et durables des écosystèmes aquatiques du Bas Sahara algérien.

Première Partie

Contexte général

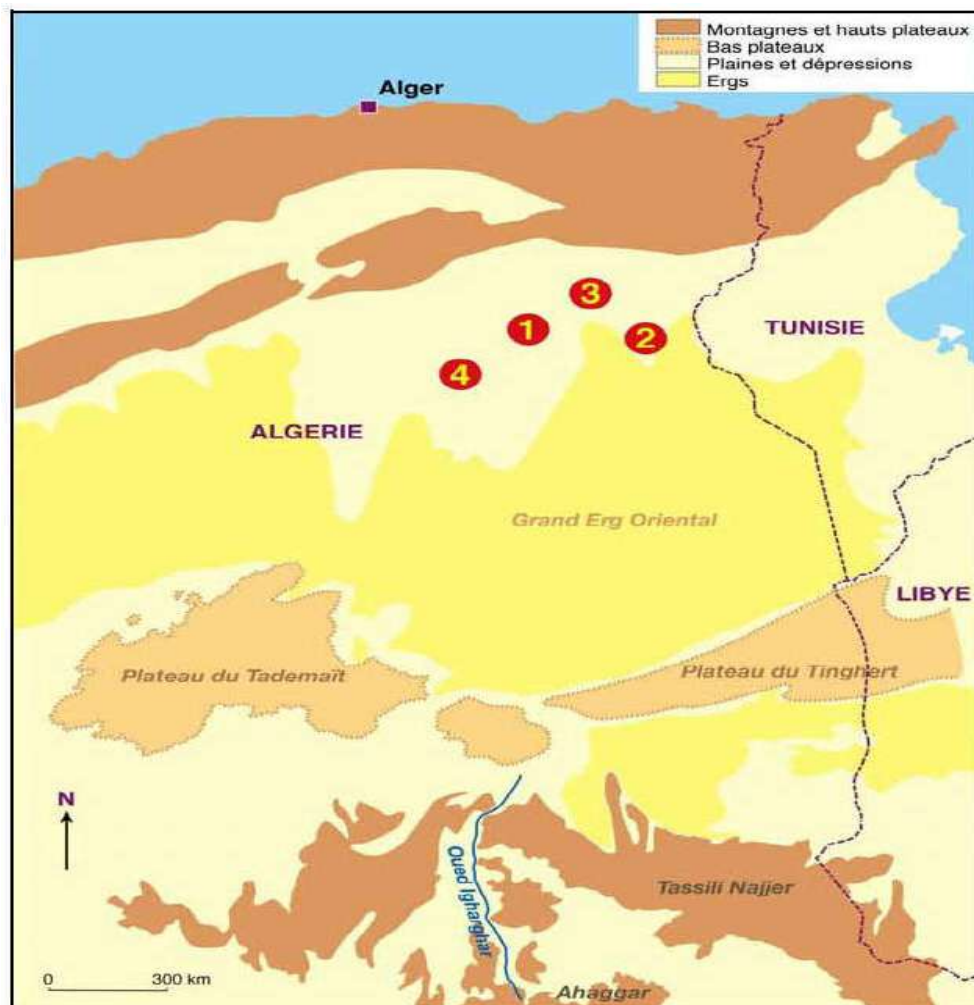
Chapitre I

Présentation de la région d'étude (Bas Sahara)

Chapitre I. Présentation de la région d'étude (Bas Sahara)

I.1. Situation géographique du Bas Sahara

Il s'agit d'une cuvette vaste de plus de 400.000 Km² qui se relève lentement vers 200-300 m d'altitude sur les plateaux faiblement inclinés du M'Zab à l'Ouest, de Tadmaït et de la Hamada de Tinghert au Sud et du Dahar tunisien à l'Est. Au Nord, les Chaînes des Aurès et des Nemamchas dominent cette cuvette. C'est une auréole crétacée qui constitue les plateaux qui ceignent la dépression centrale. Les formations tertiaires et quaternaires occupent la partie centrale (Ballais, 2010) (figure 01).



1: Oued Righ. 2: Oued Souf. 3: Ziban. 4 : Oued Mya.

Figure 01. Carte générale du Bas-Sahara (Ballais, 2010)

La cuvette du Bas Sahara dont le domaine d'étude fait partie, offre une topographie basse d'ailleurs comme son nom l'indique. Elle constitue un vaste bassin sédimentaire dont certaines sont pétrolifères ou aquifères. Le cœur de la région est une longue dépression large de 20 km ; cette région est en fait une espèce de gouttière très aplatie, orientée Nord-Sud et longue de 150 km, la pente générale est de l'ordre de 1‰, on note la présence de petits chotts communiquant entre eux par des seuils bas. Vers le Nord de la vallée, les sols de ces dépressions au delà d'El Mghaïer, sont de texture fine (limono-argileuse) et présentent des teneurs élevées en sel. Au Sud, les sols ont une texture grossière à dominance sableuse. Le fond de la vallée est comblé de sédiments sableux entrecoupés de lentilles d'argile salifère. La dénivelée entre le haut et le bas du paysage est de quelques mètres seulement. (**Bouchahm et al, 2013**).

I.2. Géomorphologie

Les principaux paysages du Bas Sahara sont :

✓ **Hamada** : C'est un vaste plateau caillouteux à surface presque horizontale, où la dalle calcaire affleure partout (**Quézel, 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 Houérou, 1975**).

✓ **Regs** : Ce sont des plaines de graviers et de fragments rocheux. Au Sahara, ils occupent des surfaces démesurées (**Monod, 1992**).

Selon **Kherraze et al (2010)**, la vallée de Oued Righ est à l'Ouest par une vaste étendue, plate, légèrement ondulée dont la couche superficielle argilo-limoneuse est protégée contre l'érosion par une couverture gravillonneuse continue. Ce tapis de gravier est appelé « Reg ».

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**).

✓ **Ergs et sols sableux** : les Massifs de dunes d'importance diverse, petits massifs de dunes de faible hauteur ou grands massifs des ergs, on peut distinguer les massifs enchevêtrés dans le sud de l'erg oriental et les massifs en cordons continus séparés par des grands couloirs comme dans l'est et le centre de l'erg oriental et enfin comme simple dépression intermédiaire au nord de l'erg oriental. Les dunes se massent au contraire sur les pentes extrêmement faibles des grandes dépressions (**Boumaaraf, 2013**).

Les études de **Dubief (1952)** ont montré que les contours de l'erg oriental sont généralement déterminés par la forme des dépressions et des reliefs avoisinants. La présence d'une nappe phréatique peu profonde agglomère les grains et arrête la déflation ralentissant son extension. Par ailleurs sur l'axe des vents nord-ouest sud-est, à la frange sud du chott Mérouane, des matériaux fins se déposent et donnent naissance à des lunettes et lorsque le matériau est très sableux il s'étale généralement sous formes allongées dans le sens du vent.

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, 1982**).

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 phréatophytes (**Pouget, 1980**).

✓ **Les dépressions**

✓ **Les sebkhas** sont des dépressions fermées salées, à régime hydrologique superficiel sous la dépendance des fréquences et de l'ampleur des crues des oueds périphériques de dimensions variable. Elles offrent toujours une topographie remarquable par leur platitude apparente caractérisée par un tapis de cristallisations salines. Elles sont le résultat de l'érosion hydro-éolienne et d'un déblaiement éolien. Ces cuvettes sont alimentées en eau de manière

discontinue soit par l'écoulement des oueds en saison des pluies, soit par les eaux des nappes souterraines, qui remontent vers la surface, lors des saisons chaudes, en suivant des failles. À la surface les cristaux de sels sont soumis à l'action du vent, et à son processus de creusement **(Boumaaraf, 2013)**.

✓ **Les dayas** : Ce sont des petites dépressions circulaires, résultant de la dissolution locale des dalles calcaires ou siliceuses qui constituent les Hamadas **(Ozenda, 1983)**.

✓ **Les lits d'Oueds** : 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 de s Jujubiers et des Ethel. 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 **(Chehema, 2006)**.

✓ **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. 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)**.

D'après **Boumaaraf (2013)**, elles fixent la végétation en raison des pièges à sables et à poussières que constituent les touffes de la steppe (tamarix, jujubier). A ces buttes s'accroche très souvent une flèche dunaire mobile de dimensions proportionnelles a celles de l'abri sous lequel elle s'allonge. On distingue deux types de nebkas: les nebkas à flèche de sable qui sont des formes dunaires ovoïdes de petites dimensions (50 cm de hauteur, 150 cm de longueur et 40cm de largeur), allongées dans le sens du vent dominant, et les nebkas buissonnantes, du même genre que les précédentes, mais pouvant atteindre 2m de hauteur et 3 à 4m de longueur.

I.3. Géologie

Le bassin du Sahara oriental, se présente comme un vaste synclinal, ouvert vers le Nord. Dans sa moitié sud, ce synclinal est traversé par un grand axe anticlinal nord-sud, siège de plusieurs gisements pétroliers, c'est le haut-fond d'Amguid-El Biod. Cet axe n'est plus apparent dans les formations du Mio-Pliocène ; il y a même inversion de relief puisque l'axe de l'actuel synclinal Mio-Pliocène se superpose à l'ancien haut-fond. Dans le bassin du Sahara oriental une seconde zone haute a existé, du Cénomaniens au Mio-Pliocène, entre Hassi Messaoud et la frontière tunisienne. Cette structure est orientée Est-Ouest, elle sépare la fosse des chotts, au Nord, du reste du bassin. Il semble que cet axe joue un rôle important dans l'hydrogéologie de la région (**Hacini, 2006**).

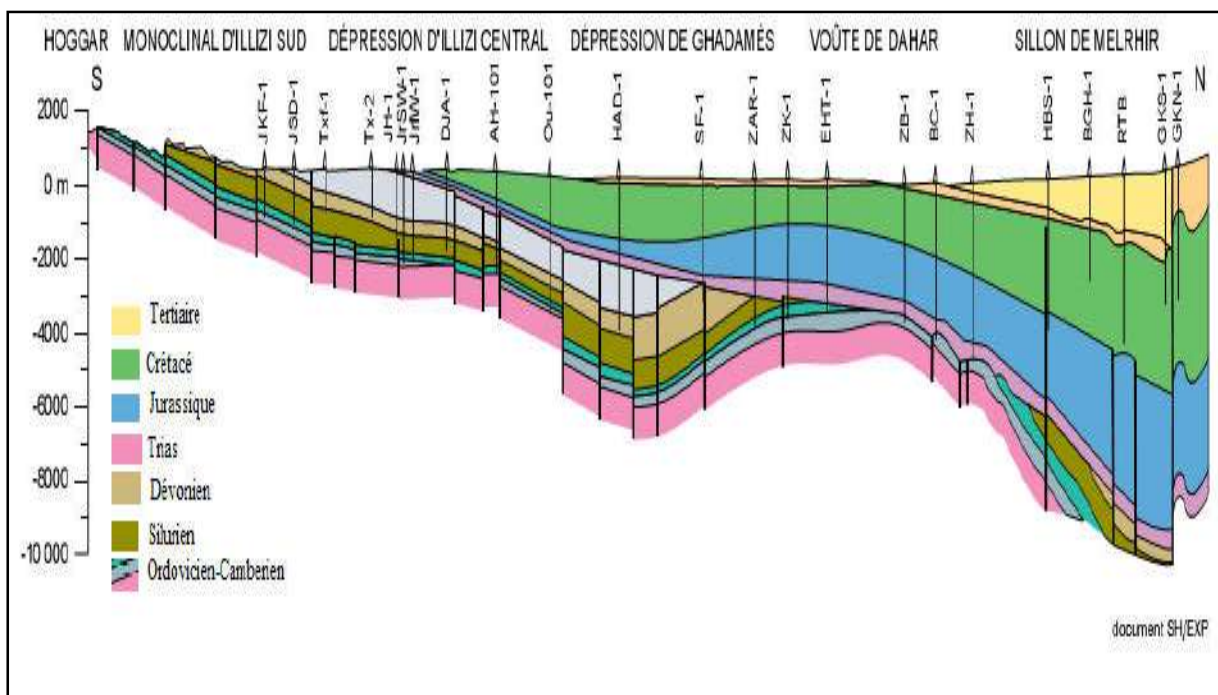


Figure 02. Coupe géologique du Sahara (UNUSCO, 1972)

La figure 02 représente une coupe géologique du Sahara algérien. La zone d'étude est constituée par une série de dépôts alternativement marins et continentaux déposés dans un vaste bassin sédimentaire séparés par d'épaisses séries évaporitiques ou argileuses, soit;

- L'ensemble inférieur (anti-cénomaniens) contient de puissantes séries continentales d'âge du crétacé inférieur (continental intercalaire).
- L'ensemble supérieur (sénonien inférieur) contient plusieurs niveaux marins et se termine par une épaisse série continentale sableuse, d'âge Mio-pliocène (**Khadraoui, 2005**).

I.4. Hydrogéologie

Le Bas Sahara La région repose sur un énorme réservoir d'eaux souterraines, il s'agit du système aquifère du Sahara septentrional qui renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés communément: le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) **Houari et al (2014)**.

I.4.1. Le Système Aquifère

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye. Ce bassin englobe une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) (voir figure 03).

Selon **(SASS, 2003)**, les eaux du Système Aquifère du Sahara Septentrional résultent d'un long processus de mise en place des réserves qui s'échelonne sur plusieurs dizaines de milliers d'années. L'essentiel des réserves géologiques localisées dans la partie confinée de la nappe, a pris place à une époque où le climat de la région était plus pluvieux (pluviaux quaternaires de -150 000 à -20 000). Cette phase a atteint son apogée avec la transformation des dépressions des chotts tuniso-algériens en de grandes lagunes (lacs à Cardium) dont l'extension était de deux à trois fois leur superficie actuelle.

I.4.1.1. Le continental intercalaire (CI)

On appelle continental intercalaire (CI) au sens large l'ensemble des dépôts sédimentaires du long épisode continental intercalé entre les deux cycles marins du paléozoïque et du crétacé supérieur. Il constitue le réservoir profond du Sahara septentrional qui s'étend sur plus de 600 000 Km² sur les seuls territoires algérien et tunisien, depuis l'accident Sud-atlasique au Nord jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tihert au Sud **(SASS, 2003)**.

L'épaisseur utile totale utile du réservoir (c'est-à-dire l'épaisseur des dépôts perméables à eau douce) dépasse 250 m dans la plus grande partie des régions. La profondeur de cette nappe dépend de la région d'implantation dans le centre du bassin (Ouargla, El Oued, Oued Righ) peut dépasser les 2000 m, à la périphérie du bassin, la profondeur ne dépasse pas quelques dizaines de mètres (El Goléa, Timimoune). Cette nappe est artésienne dans la majeure partie du bassin, par contre dans les bordures du bassin elle est exploitée par pompage. Sur le plan de la qualité des eaux de la nappe albienne, les eaux de CI sont douces et de bonne qualité sur l'ensemble du bassin en particulier dans les limites Ouest du bassin (El Goléa). La recharge de cette nappe est négligeable, elle se fait par l'infiltration des eaux à partir des périphéries (SASS, 2003),

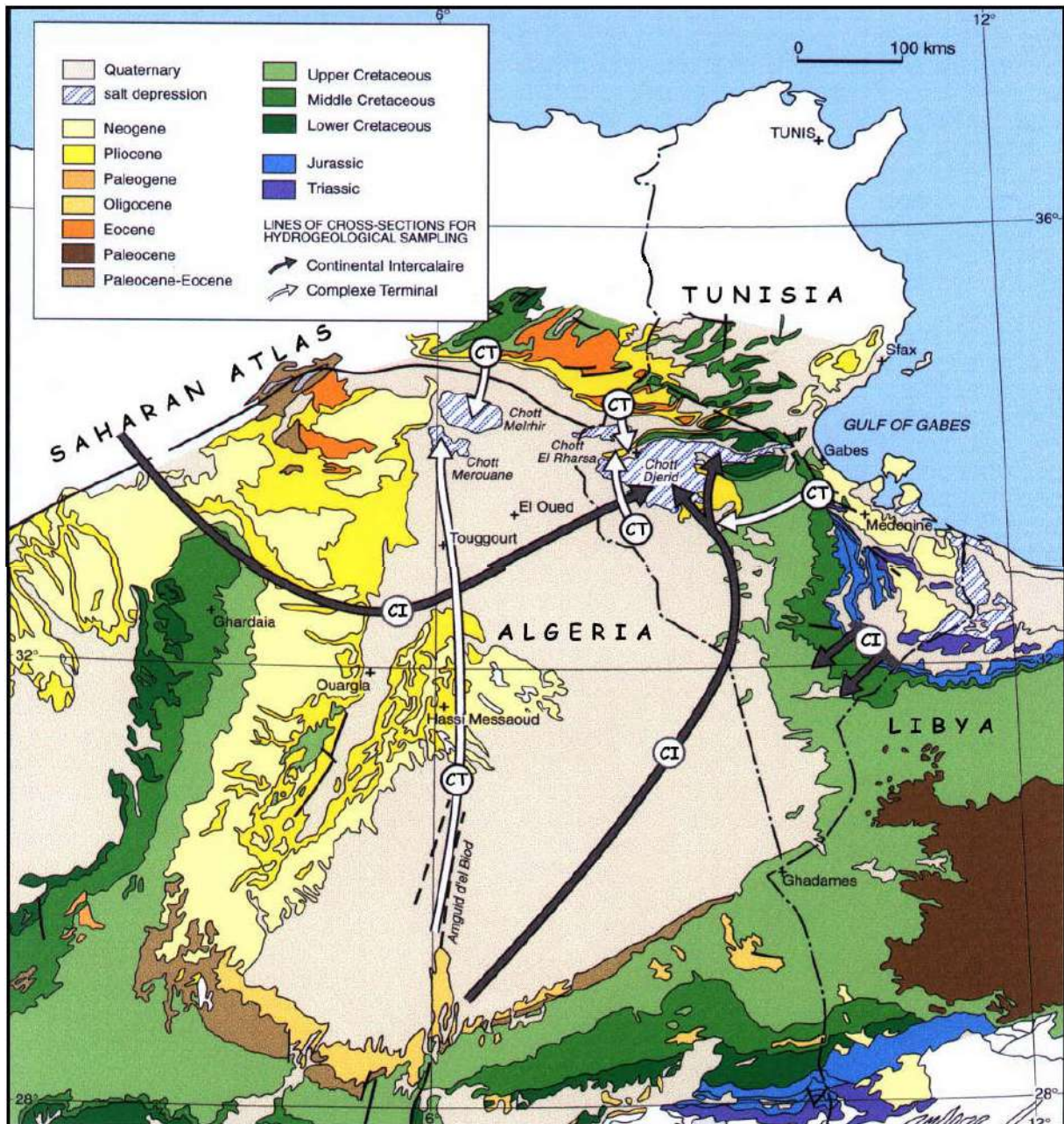


Figure 03. Carte Hydrogéologique des deux nappes du Sahara septentrional avec le sens d'écoulement des deux nappes (Etude ERESS Modifiée par Guendouz et al, 2003).

I.4.1.2. Le complexe terminal (CT)

Le complexe terminal comprend les formations les plus récentes déposées au Bas Sahara et limitées à l'Ouest par la dorsale du M'Zab, au Nord par l'accident majeur de l'atlas saharien, à l'Est par le Dahar, au Sud par la ligne au Nord de l'axe In Salah Zarzaitine sous l'erg oriental. Ce complexe occupe une superficie de l'ordre de 350 000 Km², sa profondeur varie entre 100 et 400 m. il s'agit d'une superposition de plusieurs nappes, dans la région de l'Oued Righ et des chotts ; on compte cinq (05) nappes superposées (SASS, 2003).

L'exutoire naturel de cette nappe est la zone des chotts ; en Algérie les chotts Merouane et Melghir, en Tunisie les chotts El Jerid et El Ghersa. Le remplissage du réservoir s'est fait essentiellement pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire. Cependant une recharge actuelle de cette nappe continue de lui apporter des quantités importantes d'eau non négligeables.

La composition chimique de cette nappe est bonne sur les bordures et relativement élevée dans le centre du bassin (dépasse 3 g/l dans la région de Touggourt et Ouargla). Le sens d'écoulement de cette nappe est Sud-Nord.

La nappe du Complexe Terminal est largement exploitée en Algérie dans la région du Bas-Sahara ou région des Chotts. La prépondérance de l'exploitation de cette nappe en Algérie s'explique par le fait qu'elle est accessible à des profondeurs souvent inférieures à 500 m et avec des conditions de mobilisation facilement maîtrisables (faibles artésianisme et température de l'eau).

En Algérie, l'exploitation de la nappe du Complexe Terminal est en l'an 2000, de l'ordre de 21.2 m³/s. Elle a ainsi accusé une nette évolution depuis 1950 quand cette exploitation n'était que de 5.77 m³/s. Cette évolution s'est nettement accélérée au début des années 80. En effet, les prélèvements sont restés inférieurs à 8.5 m³/s jusqu'en 1970 pour passer à 11.5 m³/s en 1980 et atteindre 17.4 m³/s en 1990. L'exploitation de la nappe du Complexe Terminal se fait en Algérie essentiellement par pompage (19.4 m³/s équivalent à 91% de son exploitation globale en Algérie). L'exploitation par artésianisme a toujours été relativement faible. Elle ne

dépasse pas actuellement 1.8 m³/s. Cette nappe est principalement exploitée dans les régions d'El Oued, Ouargla, Biskra (SASS, 2003).

1.4.2. Les nappes phréatiques

Par convention on désigne sous le nom de nappe phréatique les aquifères superficielles dont la profondeur n'excède pas 50 m et dont les eaux sont généralement exploitées par des puits. Cette nappe est partout présente au Sahara dans les dépressions ou les vallées; elles sont alimentées par les pluies, les crues, les écoulements diffus, les eaux de drainage et aussi très souvent par les remontées naturelles en provenance des aquifères plus profonds ou encore par les fuites dans les ouvrages exploitant ces dernières (Dubost, 2002).

Essentiellement constituée de sables très perméables, elle est libre, sa profondeur a tendance à diminuer du Sud vers le Nord, varie entre 50 cm et 1 m plus rarement jusqu'à 1.50 m. les variations de profondeur de la nappe phréatique sont liées à la fréquence de l'irrigation et aux phénomènes d'évacuation. L'eau est très salée ayant entraîné des sels présents à travers les horizons de la nappe. La conductivité électrique est supérieure à 9 mmhos/cm dans 80 % des cas (SASS, 2003).

Selon Houari et al (2014), Le sens d'écoulement des eaux de nappes dans la cuvette de Ouargla se fait d'une direction Sud-Nord du fait de la gravité, c'est-à-dire; les eaux se chargent en en éléments minéraux, en allant vers le Nord. Concernant les communications inter-nappes; entre Sénonien et Mio-Pliocène, il y a une grande possibilité d'avoir des échanges d'eaux car ces deux nappes sont superposées et il n'y a pas de limite imperméable, surtout dans sud de la cuvette (Haoud Berkaoui). Vers le Nord, l'Eocène inférieur qui est carbonaté forme avec le Sénonien carbonaté un aquifère appelé "Sénono-Eocène", cet ensemble est directement surmonté par les argiles et marnes de l'Eocène moyen et supérieur ce qui forme une limite imperméable entre les deux aquifères.

Dans la région d'Oued Righ, la nappe phréatique s'écoule du Sud vers le Nord suivant la pente de la vallée dont la profondeur varie de 1 a 8 m en fonction du lieu et de la saison. L'analyse des eaux de cette nappe montre qu'elle est très salée, avec une conductivité électrique de l'ordre de 5-20 dS/m (ANRH, 2000).

La nappe phréatique de la vallée de l'Oued Righ subit une remontée progressive de son niveau piézométrique et qui semble s'aggraver avec les années, l'apport d'eau devient de plus en plus important (irrigation, eaux usées, forages,...etc.), ce qui se traduit par une alimentation excessive de la nappe, de nombreux secteurs sont inondés en hiver, les palmeraies aussi, entraînant la baisse de leur rendement puis la mort pure et simple par asphyxie. Une grande quantité d'eau de cette nappe est déversée dans le chott Merouane (**Hacini, 2006**).

I.5. Pédologie

Les sols des zones arides présentent une grande hétérogénéité, ils se composent essentiellement par des sols minéraux bruts, des sols peu évolués, des sols halomorphes et des sols hydromorphes (**Halitim, 1985**). La fraction minérale est constituée dans sa quasi-totalité de sable. La fraction organique est très faible et ne permet pas une bonne agrégation. Ses sols squelettiques sont très peu fertiles et leur rétention en eau est très faible (**Daoud et Halitim, 1994**).

Les régions climatiques désertiques sont idéales pour l'extension des caractères de salinité des sols. Ainsi, les sols de la zone saharienne d'Algérie contiennent des quantités importantes de sels solubles. Leur accumulation est due à la rareté des pluies qui ne pénètrent pas profondément dans les sols pour provoquer une infiltration appréciable (**Halilat, 1998**).

Selon la classification française (**CPCS, 1967**), la couverture pédologique offre une grande hétérogénéité et se compose de plusieurs classes où ressortent des groupes qui définissent le processus d'évaluation du sol, des sous groupes pour l'intensité du processus et enfin les familles par le caractère du matériel pétrographique sur lequel se forme le sol (Tableau 1).

La formation et l'évolution des sols de la vallée d'Oued-Righ sont principalement conditionnées par le climat et la salinité. Les caractères pédologiques des sols se distinguent principalement par une roche mère la plus souvent gréseuse du crétacé, parfois alternée avec des bandes argileuses à des profondeurs variables, de même que par néoformations gypso-salines (encroûtement et / ou croutes du quaternaire) observées surtout dans les dépressions (**Khadraoui, 2005**).

Pour ce qui est d'Ouargla, sur le plateau, les sols présentent une surface graveleuse, formant un reg à graviers, ou pierreux, un reg à pierres et des voiles éoliens, cet horizon de surface surmonte une croûte calcaire à dolomie, très dure, de 30 cm d'épaisseur. On trouve ensuite un horizon calcaire, nodulaire, moins dur et fissuré, entre 35 et 60 cm puis, au-delà de 60 cm, un horizon pétrogypsi à 57 % de gypse, sur le glacis, à 140 m d'altitude, le sol est constitué d'un matériau meuble, exclusivement détritique, hérité de l'altération des grès à sable rouge du Mio-Pliocène. C'est le sol le plus pauvre en gypse de la région le quel jusqu'à 8 m de profondeur, il ne présente aucun niveau d'encroûtement. Il s'agit d'un regosol (sableux) à graviers saliques (Hamdi Aissa et Girard, 2000).

Tableau 01. Les principaux types de sols au Sahara algérien (CPCS, 1967 in Halilat, 1998)

Classe	Groupe	Sous groupe
I- Classes des sols peu évolués non climatiques	Sols bruts d'apport	1. Sol anthropique (représenté dans l'extension des palmerais vers les chotts).
		2. Sols à hydromorphie de pseudogley.
		3. Sols à hydromorphie d'amas, nodules et cristaux gypseux.
		4. Sols modaux.
II- Classes Des Sols hydromorphes minéraux	Sols à Gley de surface	
	Sols à pseudogley de surface ou d'ensemble	
	Sols à accumulation de gypse	3-1 Sous-groupe à croûte ou à banc cristallin 3-2 Sous-groupe à encroûtement gypseux 3-3 Sous-groupe à amas et cristaux gypseux.

Les sols de la région d'Ouargla sont caractérisés aussi, par un pH alcalin, une activité biologique faible et une forte salinité (Daoud et Halitim, 1994). Dans le chott, le dépôt en surface devient abondant et il se forme alors un encroûtement, constitué tantôt de calcaire, tantôt de gypse et de chlorures. Ainsi on observe souvent, au milieu des dunes de petites

dépansions à fond plat revêtues d'une croûte blanche compacte de gypse et que l'on nomme communément (sebkha) (**Ozenda, 1958**).

I.6. Climatologie

Le Bas Sahara est caractérisé par un climat de type désertique, dont les amplitudes thermiques entre les minima et maxima sont importantes et par une pluviométrie très faible. Il est à souligner que ce type de climat se distingue par une forte insolation et une luminosité, dont la moyenne annuelle peut atteindre les 3000 heures (**Khadraoui, 2005**).

Le climat d'Ouargla et de Oued Righ est du type saharien hyper aride, à hivers tempéré, et d'une sécheresse permanente; où les précipitations ne dépassent guère 45 mm/an, avec des températures maximales moyenne 43°C, alors que le cumul de l'évaporation annuelle dépasse presque 60 fois celui de la pluviométrie (2759 mm/an)

Les particularités climatiques de la région d'étude sont détaillées dans ce qui va suivre notamment les températures, les précipitations, l'humidité relative de l'air, les vents et sans oublier la synthèse climatique.

I.6.1. Température

La température présente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la reproduction, l'activité et la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (**Ramade, 2003**).

Le fonctionnement biologique d'un milieu aquatique est étroitement lié à la climatologie et plus particulièrement à la température de l'air et de l'énergie solaire dont les variations saisonnières conditionnent les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des eaux. Les radiations calorifiques sont absorbées par les couches les plus superficielles, l'eau ainsi réchauffée reste en surface puisque la densité de l'eau varie avec la température. Les vents

Induisent des courants, des vagues et des phénomènes de turbulence variés qui assurent un mélange plus ou moins prononcé des couches superficielles sur une certaine épaisseur (Grosclaude, 1999).

La figure 04, représente les températures mensuelles moyennes dans la région d'Ouargla et d'Oued Righ durant la période (2005 à 2015). La température présente une grande amplitude thermique. La moyenne du mois le plus froid (Janvier) oscille entre 4,8°C et 21,6 °C, et celle du mois le plus chaud (Juillet) entre 30,6 °C et 48,6 °C. La moyenne annuelle de la température est de 24,4°C(Ouargla) et 24,8°C (Oued Righ) formée par la moyenne annuelle des températures maximales, qui est de 34,8°C (Ouargla) et 33°C (Oued Righ), et par celle des températures minimales, qui est de l'ordre de 17,2°C (Ouargla), et 16,6 °C (Oued Righ). L'évolution thermique mensuelle (Figure 04), est assez uniforme dans les deux régions d'étude.

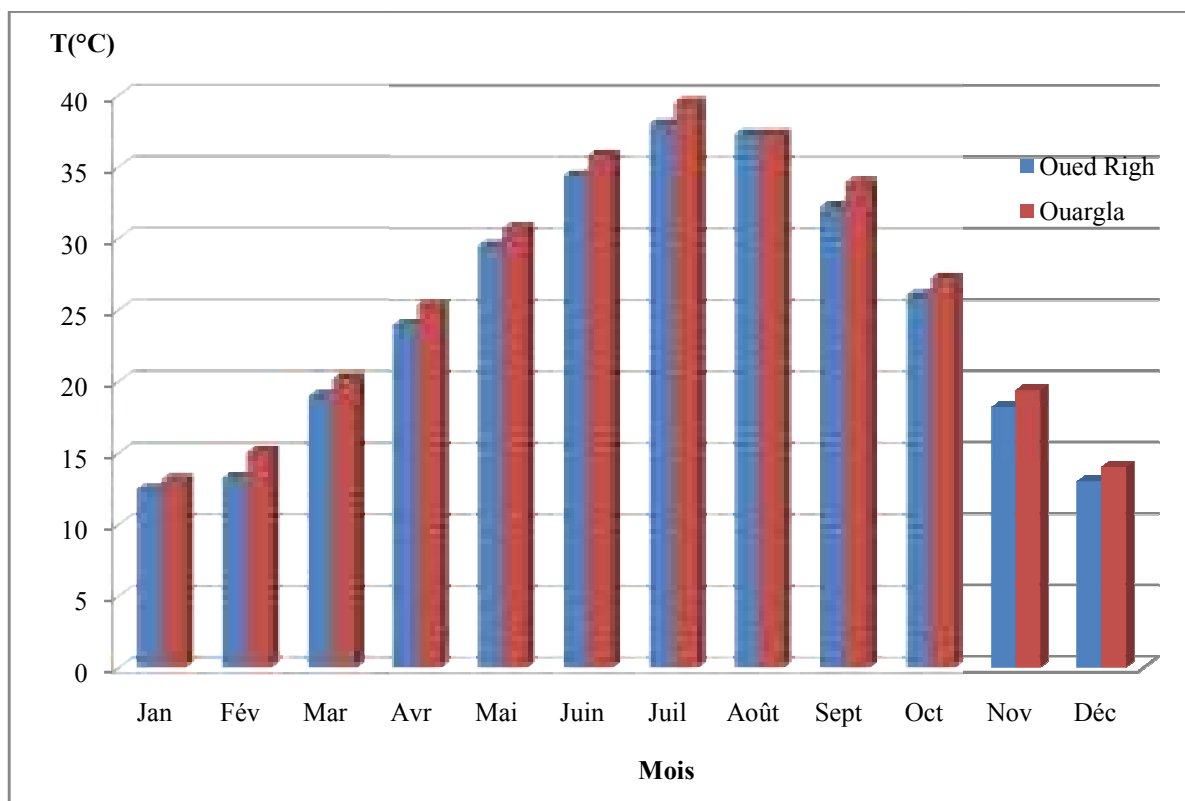


Figure 04. Températures moyennes mensuelles durant la période (2005-2015)

(O.N.M, 2015)

I.6.2. Précipitations

Selon **Dubief (1953)**, les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme de pluies. Ces dernières sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares. Elles sont liées aux perturbations soudano-sahariennes ou sahariennes.

D'après la figure 05, la faiblesse et l'irrégularité de la pluviosité est le caractère fondamental du climat dans les deux régions d'étude. Le mois le plus arrosé est le mois de janvier durant lequel la pluviosité atteint 15,2 mm (Oued Righ) et 9,4 mm (Ouargla), tandis que le mois de juillet est le mois le plus sec 0 mm (Oued Righ) et 0,7 mm (Ouargla). Les pluies se produisent essentiellement au printemps et en automne par un maximum au janvier pour les deux régions.

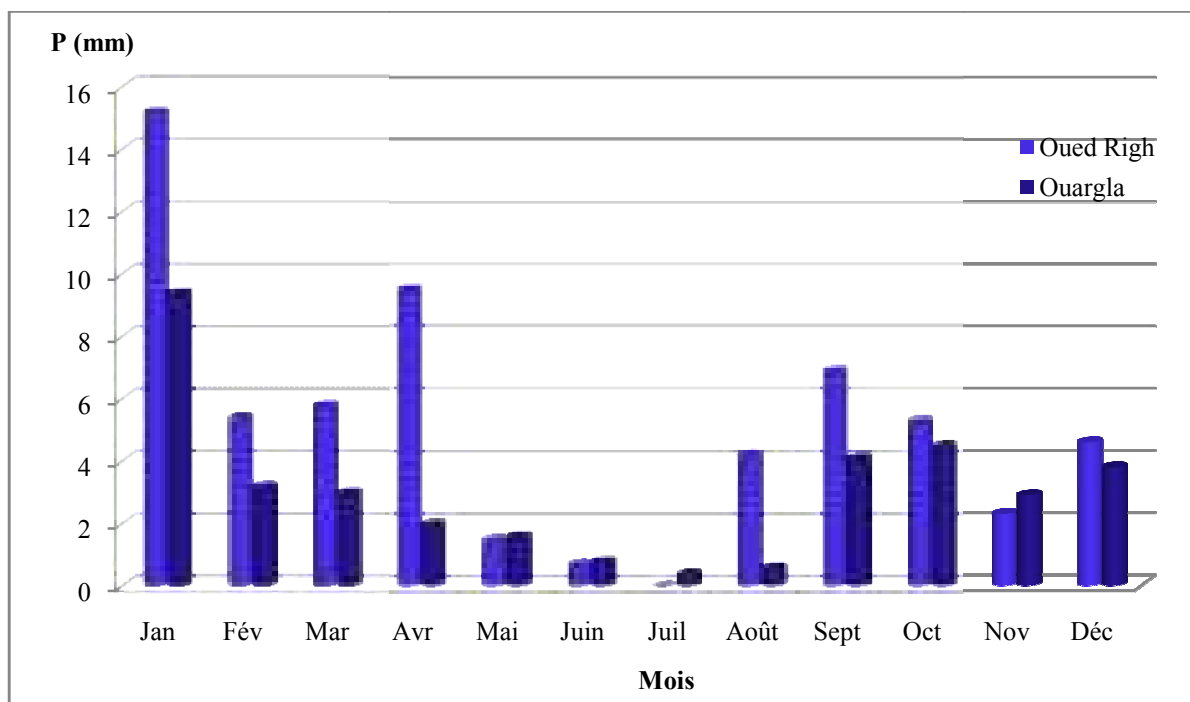


Figure 05. Précipitations cumulées mensuelles durant la période (2005-2015)

(O.N.M, 2015)

I.6.3. Humidité de l'air

L'humidité relative de l'air est faible, elle varie sensiblement en fonction des saisons. En effet pendant l'été, elle chute jusqu'à 32,45% et 34,1% au mois de juillet successivement dans la région de Ouargla et de l'Oued Righ (figure 06). Sous l'action de l'évaporation, elle s'élève en hiver pour atteindre au mois de janvier 66,7 % (à Ouargla) et 70,7 % (à l'Oued Righ).

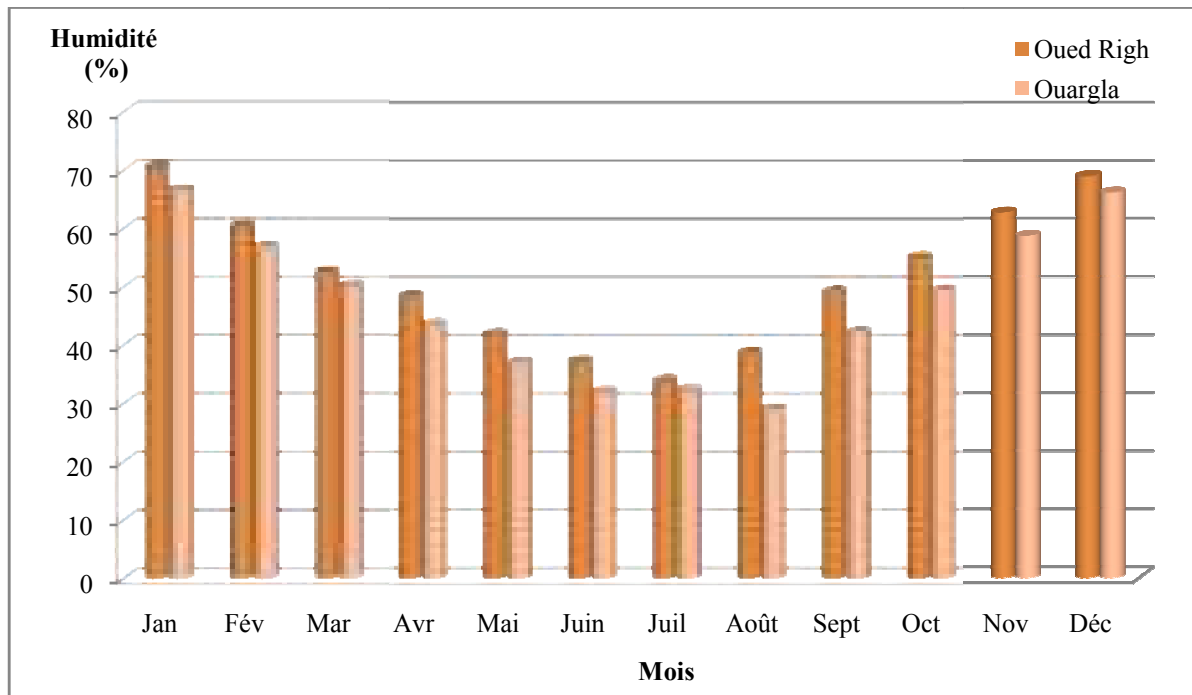


Figure 06. Humidité moyenne mensuelle durant la période (2005-2015)

(O.N.M, 2015)

I.6.4. Vents

La fréquence et l'intensité des vents sont également un des caractéristiques majeures du climat Saharien. Il joue un rôle considérable, en provoquant une déflation et une corrosion sur les reliefs, ainsi que sur les plantes surtout sur les parties aériennes, il s'agit en accentuant l'évaporation (Ozenda, 1983).

Dans les régions d'étude, les vents soufflent pendant toute l'année avec une vitesse variable allant de 47,7 K m/H en décembre à 77Km/H au mois d'avril dans la région de Ouargla et de 58 Km/H en décembre à 87,1 Km/H en avril dans la région de l'Oued Righ (figure 07).

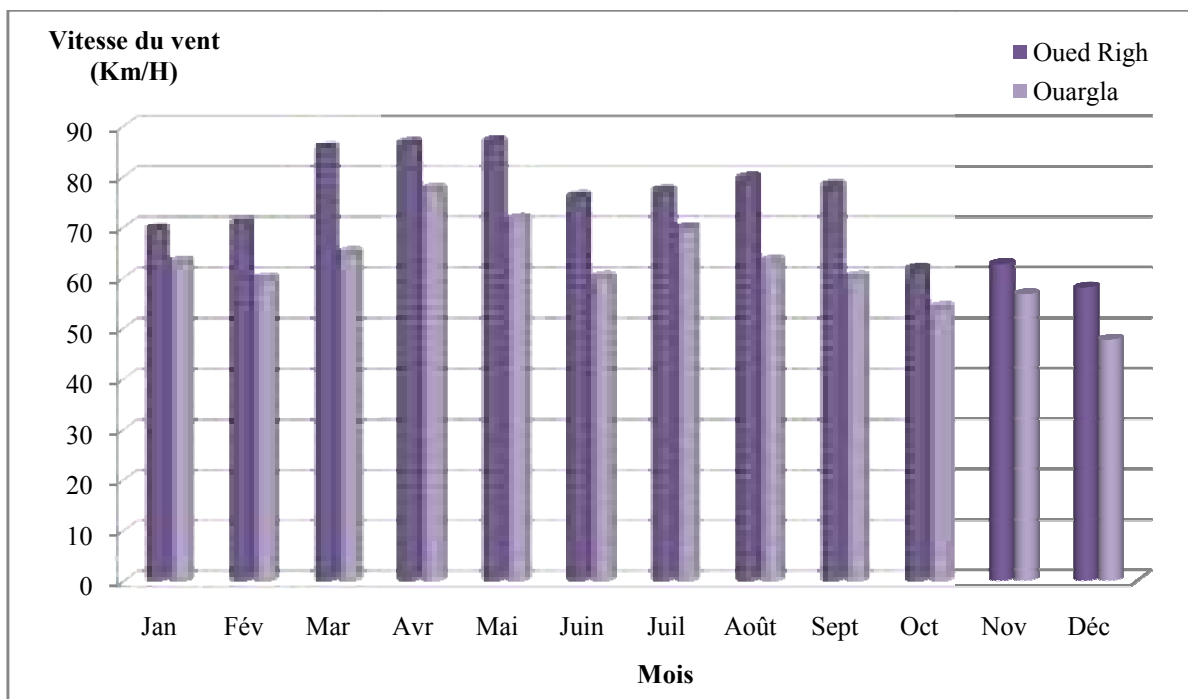


Figure 07. Vitesse du vent moyenne mensuelle durant la période (2005-2015)

(O.N.M, 2015)

I.6.5. Evaporation

Dans les milieux arides, l'évaporation est toujours plus importante sur une surface nue que sous couvert végétal surtout en été. Cela s'explique par les fortes températures et le fort pouvoir évaporant de l'air et des vents desséchants.

Dans la région de Ouargla, l'évaporation est d'une moyenne de l'ordre de 3191,9 mm/an avec un minimum de 95,5 mm en décembre et un maximum de 494,3 mm en juillet (figure 08). Dans la région de l'Oued Righ, l'évaporation est d'une moyenne de l'ordre de 2462,6 mm/an avec un minimum de 87,6 mm en janvier et un maximum de 358,1 mm au mois de juillet (figure 08).

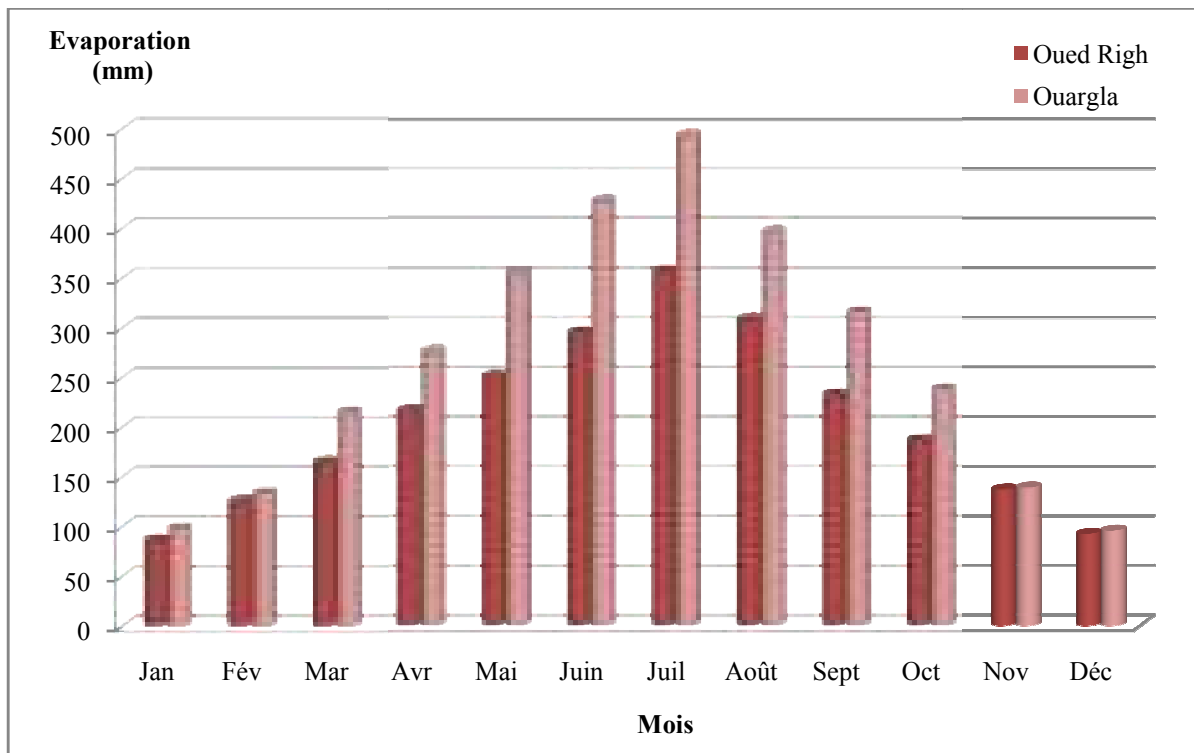


Figure 08. Evaporation moyenne mensuelle durant la période (2005-2015)

(O.N.M, 2015)

1.6.6. Insolation

Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara (de 9 à 10 heures par jour), ce désert est avant tout le pays du soleil. Les durées d'insolation varient assez notablement d'une année à l'autre et même durant les saisons de l'année envisagée (**Dubief, 1953**).

La durée moyenne de l'insolation est de 3577,8 h/an avec un maximum de 364,7 heures en août et un minimum de 250,8 heures en décembre pour la région de Ouargla (figure 09). Concernant la région de l'Oued Righ, La durée moyenne de l'insolation est de 3766,3h/an avec un maximum de 395,9 heures en juillet et un minimum de 264,5 heures en février (figure 09).

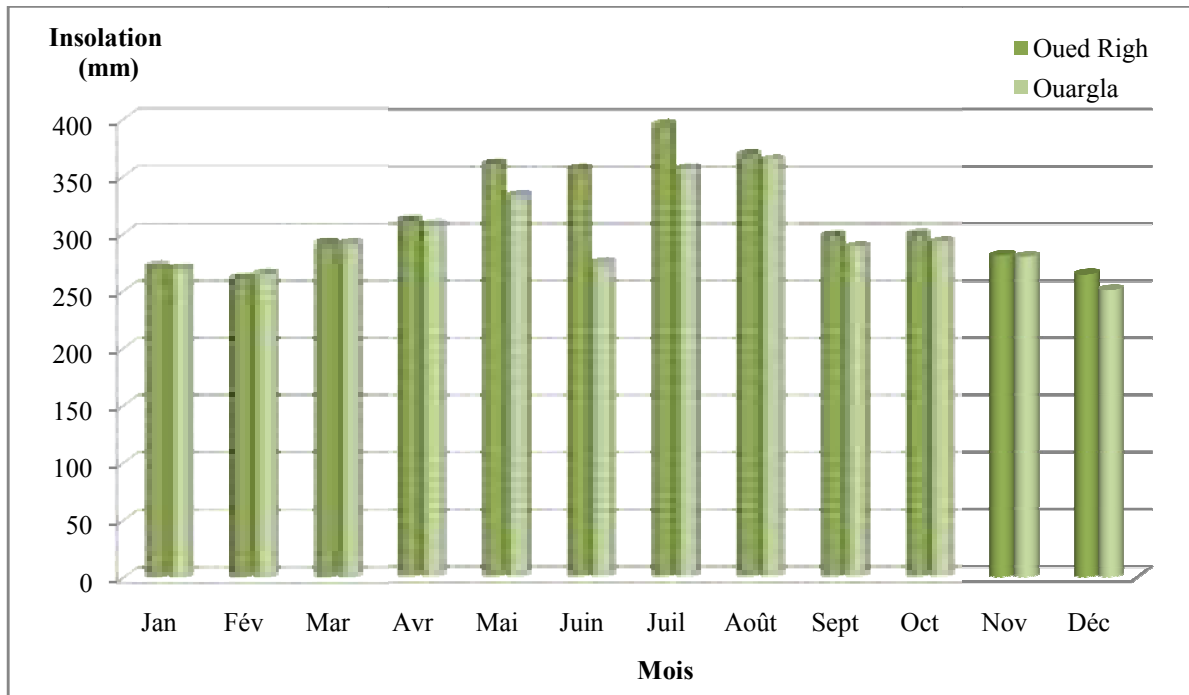


Figure 09. Durée d'insolation moyenne mensuelle durant la période (2005-2015)

(O.N.M, 2015)

I.6.7. Classification bioclimatique

1.6.7.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen (1953)

Pour **Gaussen** un mois est « sec » si le quotient des précipitations mensuelles « P » exprimé en (mm), par la température moyenne « T » exprimé en (°C) est inférieur à deux (02). La représentation sur une même graphique de la température et des précipitations moyennes mensuelles, avec en abscisse les mois, permet d'obtenir le diagramme Ombrothermique qui mettant immédiatement en évidence les saisons sèches et les saisons pluvieuses.

Il consiste à placer en abscisse les mois de l'année, en ordonnée les températures (à gauche) et les précipitations (à droite) avec l'échelle $1^{\circ}\text{C} = 2\text{mm}$ de précipitations. Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (figure 10), montre que le climat de Ouargla et de l'Oued Righ sont caractérisés par une sécheresse permanente où les précipitations sont toujours inférieures au double des températures.

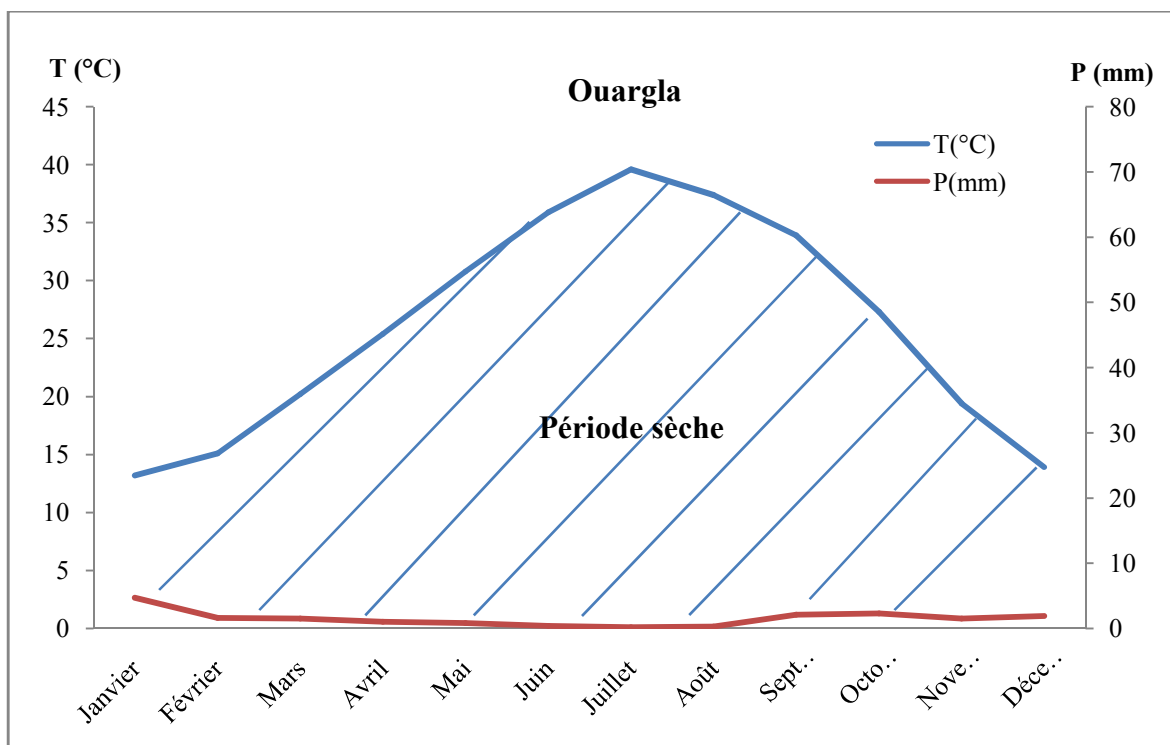
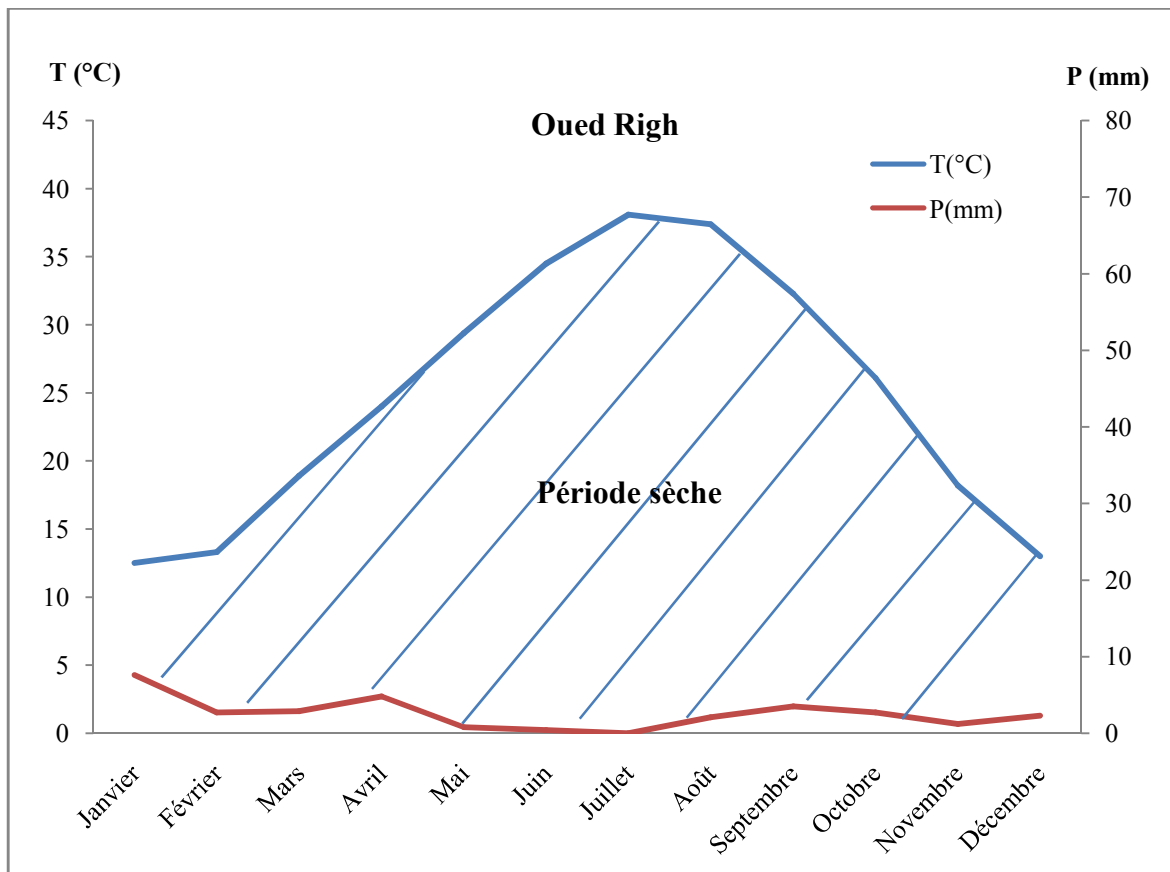


Figure 10. Diagramme ombrothermique des régions d'étude (2005-2015)

(O.N.M, 2015)

1.6.7.2. Climagramme d'EMBERGER

Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Pour classer le bioclimat de Ouargla et de l'Oued Righ, nous avons utilisé la formule ($Q_2 = 3,43 P/M-m$) adaptée pour l'Algérie par Stewart (1969), (Le Houérou, 1995) avec :

Q_2 = quotient pluviométrique d'Emberger.

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C.

m : moyenne des minima du mois le plus froid en °C.

D'après la figure 11, Ouargla et Oued Righ sont caractérisées par un climat saharien à hiver doux et leurs quotients thermiques (Q_2) sont respectivement 4,95 et 4,97.

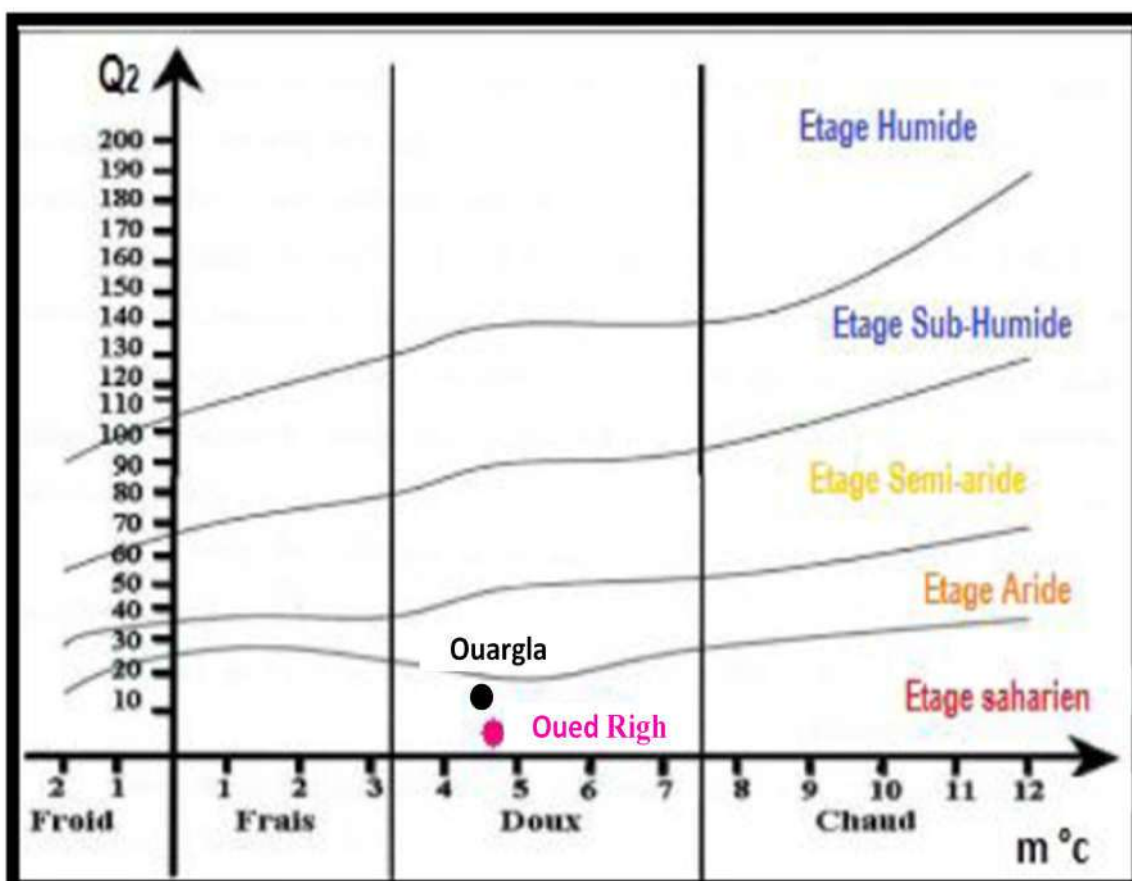


Figure 11: Localisation des régions d'étude dans le Climagramme d'Emberger (O.N.M, 2015)

1.4.8.3. Indice d'aridité de Demartone (1925)

La formule est donnée comme suit :

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

Avec :

P : la pluviométrie annuelle moyenne en (mm)

T : la température moyenne annuelle en (°C)

10 : chiffre ajouté afin de ne pas avoir un indice négatif.

Le classement des régions se fait selon les limites suivantes (voir tableau 2).

Tableau 02. Classification du climat en fonction de la valeur de l'indice de Demartone

Type du climat	Valeur de l'indice Ia
Hyper-aride	$0 < Ia < 5$
aride	$5 < Ia < 10$
Semi-aride	$10 < Ia < 20$
Sub-humide	$20 < Ia < 30$
Humide	$20 < Ia < 50$

Cet indice est d'autant plus grand que le climat est plus humide. Après une application numérique ; l'indice d'aridité est égale à 1.05 au niveau de la région de Ouargla et 1.76 dans celle de Oued Righ ; donc les régions d'étude ont un climat hyper-aride.

Chapitre II.

Les écosystèmes aquatiques

Chapitre II. Les écosystèmes aquatiques

Les écosystèmes aquatiques ont donné naissance à la Vie il y a près de 4 milliards d'années. Ils sont caractérisés par la présence d'un fluide beaucoup plus dense et visqueux que l'air. La sortie de l'eau est récente (400 millions d'années pour la vie métazoaire organisée) et fut un événement majeur dans l'histoire du Vivant (**Agropolis, 2007**).

II. 1. Définition des écosystèmes aquatiques

Les écosystèmes aquatiques sont tous les écosystèmes qui ont un plan d'eau en tant que biotope, tels que: les mers, les océans, les rivières, les lacs, les marécages, les ruisseaux et les lagunes, entre autres. Les deux types les plus importants sont: les écosystèmes marins et les écosystèmes d'eau douce (**aqua-portail, 2017**).

L'écosystème aquatique est le résultat d'un équilibre entre un milieu naturel et les espèces animales et végétales qui y vivent. Les lacs et cours d'eau mais aussi les zones inondables ou humides (marais et tourbières), les nappes souterraines constituent les écosystèmes aquatiques. (**<http://atelierpeche.free.fr>, 2017**)

Le milieu aquatique est caractérisé par :

- un habitat (pentes plus ou moins accentuées au niveau des berges),
- des populations végétales,
- des populations animales,
- la qualité physico-chimique de l'eau (température, nutriments, ...).

Il est influencé par : le climat, la géologie, l'ensoleillement, et les activités humaines. Les écosystèmes aquatiques sont de nature très variée, les fleuves, rivières et ruisseaux sont. Les lacs et cours d'eau mais aussi les zones inondables ou humides (marais et tourbières), les nappes souterraines (**<http://atelierpeche.free.fr>, 2017**).

On a l'habitude de séparer les écosystèmes aquatiques en continentaux (eaux douces, rivières, fleuves, lacs, réservoirs, nappes...), lagunaires et côtiers, incluant les estuaires, les

lagunes, les marais littoraux..., et en marins, rassemblant tous les milieux salés, de la côte au grand large. (Agropolis, 2007).

Selon l'ORE (2015), Suite aux actions humaines, les milieux aquatiques sont modifiés et parfois dégradés. L'altération d'un des paramètres du milieu peut provoquer une perturbation générale de tout l'équilibre naturel. La pollution de l'eau est un des principaux facteurs de dégradation. Un déséquilibre peut être observé lorsque la qualité de substances plus ou moins toxiques reçue est supérieure aux capacités auto-épuratoires de l'écosystème. L'élimination des polluants n'est alors plus aussi efficace et ceux-ci tendent à s'accumuler dans le milieu pouvant alors devenir toxiques pour les espèces.

II.2. Les écosystèmes aquatiques sahariens

Dans le Sahara Algérien, l'eau de surface y est rare et insignifiante, elle est pérenne et se limite seulement dans les zones de sebkhas, chotts, gueltas situées généralement dans les fonds des bassins endoréiques auprès des Oasis (ANRH, 2005).

II.2.1. les zones humides sahariennes

La définition des zones humides est variable en fonction des textes considérés, la plus adoptée est celle de la Convention Ramsar (Iran, 1971) :

Selon la définition de la Convention, les zones humides comprennent une grande diversité d'habitats : marais, tourbières, plaines d'inondation, cours d'eau et lacs, zones côtières telles que les marais salés, les mangroves et les lits de zostères, mais aussi récifs coralliens et autres zones marines dont la profondeur n'excède pas six mètres à marée basse et zones humides artificielles telles que les bassins de traitement des eaux usées et les lacs de retenue (Secrétariat de la Convention de Ramsar, 2010).

Une définition plus précise a été élaborée en 1991 par des experts français : "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, elles se distinguent

par une faible profondeur d'eau, des sols hydro-morphes 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 inféodées à ces espaces. Les zones humides correspondent au marais, marécages, fondrières, fagnes, pannes, roselières, tourbières, prairies humides, marais agricoles, landes et bois marécageux, forêts alluviales et ripisylves marécageuses, mares y compris les temporaires, étangs, bras morts, grèves à émergence saisonnière, vasières, lagunes, prés salés, marais salicoles, sansouires, rizières, mangroves, etc. Elles se trouvent en lisière de sources, de ruisseaux, de fleuves, de lacs, en bordure de mer, de baies et d'estuaires, dans les deltas, dans les dépressions de vallée ou les zones de suintement à flanc de collines" (**Barnaud, 1991 in M.E.D.D.E, 2012**).

L'Algérie est riche en zones humides, ces milieux qui font partie des ressources les plus précieuses sur le plan de la diversité biologique et de la productivité naturelle. Aujourd'hui, nous savons que les zones humides jouent un rôle important dans les processus vitaux, entretenant des cycles hydrologiques et accueillant une flore importante, des poissons et des oiseaux migrateurs. Pourtant, tout comme les forêts tropicales, de nombreuses menaces pesant sur elles, les zones humides sont détruites à un rythme sans précédent (**Saifouni, 2009**).

Elles sont privées de leur eau par des pompages excessifs ou par la construction de barrages, elles sont même complètement drainées au profit de l'agriculture. Durant la colonisation, cela a été le cas pour de nombreuses zones humides en Algérie, le lac Haloulla dans la Mitidja, qui a totalement disparu, ou les marais de la Macta, le lac de Fetzara et le lac Tonga qui ont subi plusieurs tentatives d'assèchement heureusement échouées. Récemment, le lac des oiseaux, le lac noir et le marais d'El Kennar ou Em'Ridj ont fait l'objet de tentatives d'assèchement. Le lac noir est sec depuis de nombreuses années (**Demnati, 2013**).

II.2.1.1. Chotts et Sebkha

D'après **Bensaci et al (2013)**, L'éco-complexe de zones humides de la dépression d'Oued Righ (Sahara septentrional algérien) comporte trois vastes chotts (Sidi Slimane, Chott Melghir et Chott Merouane) d'intérêt international selon la convention de Ramsar et une vingtaine de dépressions qui ne sont en eau que durant les années très pluvieuses tels les Chotts Hamraïa, Tighdidine et Tindla, et deux sites permanents : le lac Ayata et le lac d'Oued Khrouf. Ces milieux aquatiques, répartis entre les wilayas d'El-Oued, de Biskra et d'Ouargla, présentent une grande diversité biologique en raison de leur superficie, leur salinité et leur substrat. Avec une superficie totale de 900000 ha, ces zones humides demeurent très peu étudiées en Algérie et leur rôle biologique et écologique reste encore inconnu.

Dubost (2002), décrit le Chott comme une zone salée entourant la sebkha, qui est le fond humide de la dépression. Le mot sebkha, est issu de l'arabe, désigne au Sahara, des dépressions fermées en forme de cuvette, périodiquement inondées dans lesquelles se produit une accumulation de sel. Le mot Sebkhas est largement utilisé en Amérique du Nord, en Afrique du Nord, Au Maghreb, on emploie volontiers le terme de Chott pour les désigner.

Selon **Aubert (1978)**, les Chotts de l'Afrique du Nord sont des terrains salés souvent couvert de croûtes salines à perte de vue en saison sèche ; alors qu'en saison de pluie ne se voit plus que la surface au moins salé, dont les bords ne sont que des kilomètres carrés de boue sodique. Malgré quelques divergences dans la définition de ces milieux (Chott, Sebkha, Garaet), les géographes, les scientifiques, les biologistes s'accordent pour les considérer comme une dépression fermée qui sont équivalent des lacs salés.

La sebkha est la conséquence de dessèchement du chott par évaporation en saison estivale. C'est une dépression humide temporaire généralement remplie par les eaux de pluies, de drainage, de la remontée de la nappe. Après assèchement, la partie centrale est recouverte d'une épaisse couche de sel. Sur le plan écologique, la sebkha est un biotope naturel caractérisé par une salinité sévère. Les espèces rencontrées tolèrent cette salinité par différents mécanismes d'adaptation **Kherraze et al (2010)**.

La végétation est dominée par diverses halophytes crassuléscentes et pérennes de la famille des Chénopodiacées, se développant en auréole autour de la bordure (« chott » en Langue arabe) de la dépression dont le centre (sebkha) constitue un sol nu (salinité maximale). Les principales espèces caractéristiques sont des chamaephytes crassuléscents : *Atriplex halimus*, *Limonium pruinatum*, *Arthrocnemum indicum*, *Halocnemum strobilaceum*, *Salicornia arabica*, *Salsola vermiculata*, *Suaeda mollis*, *Zygophyllum album* (**Chehema, 2006 ; Kherraze et al ,2010 ; Youcefi, 2011; Koul, 2015**).

Les sebkhas représentent les cuvettes actuelles de décantation. La nappe phréatique y est quasiment affleurant ce qui favorise la formation de sol sodique excessivement salin. Les sebkhas sont des dépressions fermées salées, à régime hydrologique superficiel sous la dépendance des actions météoriques, sur les formations de l'Atlas Saharien et de l'ampleur des crues des oueds périphériques situés au nord et à l'est du plateau de Still. De plus, il faut ajouter l'action anthropique avec l'activité agricole autour de la multiplication de points d'eaux (**Demnati, 2013**).

La genèse des chotts a commencé à la suite des changements climatiques du Quaternaire avec le rôle prépondérant du vent dans le creusement. La déflation devient intense lorsque le bilan hydrogéologique favorise l'évaporation et la recristallisation des sels éolisables à la surface des sols nus sensibles à la déflation et aussi à l'extension des dépressions fermées. Ainsi le bilan final de l'activité du système d'érosion responsable de l'élaboration des grands chotts s'établit au profit du creusement éolien, à l'inverse de la sédimentation qui marque la phase lagunaire antérieure (**Coque, 1962**).

Au Bas Sahara, les eaux des nappes phréatiques sont toujours très salées avec plus de 4 à 5g/l de résidu sec et bien souvent trois fois plus. Elles sont inutilisables pour l'irrigation. L'hydromorphie entraînant l'évaporation, la salinité ne fait qu'augmenter et on entre dans un processus de désertification par le sel, dû, non au manque d'eau mais à son excès. L'étape finale du processus est une sebkha dont les sédiments sont complètement stériles, noyés par quelques dizaines de centimètres d'eau en hiver et recouverte en été d'une couche blanche de sels cristallisés. Pendant la saison sèche ces zones sont soumises à l'érosion éolienne qui accentue la topographie en cuvette (**Khadraoui, 2005**).

Dubost (2002), décrit le Chott comme une zone salée entourant la sebkha, qui est le fond humide de la dépression. Le mot sebkha, est issu de l'arabe, désigne au Sahara, des dépressions fermées en forme de cuvette, périodiquement inondées dans lesquelles se produit une accumulation de sel.

Selon **Aubert (1978)**, les Chotts de l'Afrique du Nord sont des terrains salés souvent couvert de croûtes salines à perte de vue en saison sèche ; alors qu'en saison de pluie ne se voit plus que la surface au moins salé, dont les bords ne sont que des kilomètres carrés de boue sodique. Malgré quelques divergences dans la définition de ces milieux (Chott, Sebkha), les géographes, les scientifiques, les biologistes s'accordent pour les considérer comme une dépression fermée qui sont équivalent des lacs salés.

Leurs répartitions géographique est très étendue, ils se situent entre les deux Atlas, l'Atlas Tellien au nord, l'Atlas Saharien au sud et Erg Occidental et Erg Oriental. D'est en ouest, on peut citer les Chotts qui constituent le complexe de Oum El Bouaghi dans l'est des hauts plateaux, le chott Hodna, le Zahres Chergui et Gherbi au centre et chott Chergui, sebkha de Naâma à l'ouest; la sebkha d'Oran et les salines d'Arzew dans les plaines littorales. Au Sahara septentrional, on compte également un nombre conséquent de Chotts, incluant le Grand Erg Oriental, au Nord-Est du Sahara le chott Melghir et le chott Merouane. Vers le Sud, dans la région de Ouargla, sont les chotts de Ain Beida, Oum Raneb, Sidi Amrane et Safioune. D'autres sont situées dans la zone du Grand Erg Occidental, comme la sebkha El Melah dans la région de Ghardaïa (**Demnati, 2013**).

II.2.1.2. Les lacs salés

Par définition, un lac est une cuvette naturelle ou artificielle, remplie d'eau, sans connexion avec l'océan. Au sens de la science qui les étudie, le terme s'applique aussi bien aux lacs d'altitude, aux lacs de barrage, qu'aux grands lacs de plaine.

❖ Lacs naturels profonds (profondeurs maximales dépassant 10 à 15 mètres)

C'est en été ou en hiver qu'un lac peut se stratifier sous l'influence des conditions naturelles de température, de lumière et de vent. L'été, les eaux de surface se réchauffent et deviennent

plus légères que les eaux plus profondes. La surface (épilimnion), la couche d'eau intermédiaire (métalimnion) et la couche froide inférieure (hypolimnion) forment 3 strates bien distinctes. En hiver, avec la chute des températures, une couche d'eau froide (voire de glace) à la surface du plan d'eau couvre des eaux plus chaudes.

Au printemps et à l'automne, les lacs sont brassés. Les conditions naturelles telles que l'énergie des vents et des courants, le réchauffement ou le refroidissement des températures, la luminosité, modifient les eaux de surface et toute la colonne d'eau s'homogénéise.

❖ Lacs naturels peu profonds ou lacs de barrage

Dans les lacs naturels peu profonds, la stratification ne peut se produire et les eaux se mélangent plus fréquemment sous l'action des vents. Dans les lacs de barrage, le fonctionnement est directement lié à la gestion qui est faite des volumes d'eau stockés (vidange par exemple).

L'étude qui a été faite par **Yan (2001)**, appliquée sur les grands lacs du monde, ceux de Qinghai et Turquie, a classé les lacs salés en trois types, selon leurs bilans hydrologiques, à savoir :

- **les lacs éphémères de type (A) : Ephemeral lake short time.**

Ce sont des lacs saisonniers, peuvent devenir secs dans un intervalle de temps très court, cela est due au taux d'évaporation très élevé. Il s'agit des bassins fermés et ne reçoivent pratiquement pas de la matière minérale dissoute. Le pH dans ce cas est contrôlé par la réaction des minéraux seulement, parce que les protons libérés par les réactions de ces derniers ne peuvent pas être neutralisés par les réactions de ces derniers ne peuvent pas être neutralisés par le flux des bicarbonates. La basse alcalinité des eaux rend le milieu acide (**Bryant et al, 1994**).

- **Les lacs éternels, de longue durée, de type (B), Perennial lake long term.**

Le volume d'eau dans ce type de lac décroît graduellement dans un grand intervalle du temps. En contre partie, la salinité du lac décroît à cause du flux d'eau qui arrive au lac, provoquant la dilution des eaux. Le pH de l'eau est souvent maintenu pendant longtemps à un niveau élevé. **(Bryant et al, 1994).**

- **Les lacs éternels à très grande durée, de type (C), large perennial lake, very long term.** Leur volume d'eau reste constant pendant de très longues périodes. L'augmentation de la salinité est continue dans le temps à cause du flux de la matière dissoute, déversée dans le lac. Le pH reste élevé et dépend de la matière minérale dissoute. **(Bryant et al, 1994).**

Les bassins des lacs salés sont formés par plusieurs processus géologiques ; soit des lacs résultant des mouvements tectoniques (bassins de subsidence, d'effondrement, ...), soit des lacs dans des cratères des volcans éteints ; par lessivage glaciaires ; soit par des barrières végétales ou sédimentaires, ou par déflation des vents. La deuxième condition se manifeste dans les zones désertiques du monde, dans les zones subtropicales et dans les régions polaires. L'alimentation des lacs se fait par plusieurs apports, soit par les eaux de surface (fleuves, oueds, eaux de drainage), par les eaux souterraines ou par les eaux de pluies **(Hacini, 2006).**

Les lacs salés sont des zones humides géographiquement très répandus, ils se trouvent dans toutes les régions continentales d'Asie, d'Amérique du Sud, d'Australie, aux Etats-Unis et en Afrique du Nord. Ces milieux se limitent généralement dans les zones arides ($25 \leq P \leq 200$) à semi-arides ($200 \leq P \leq 500$) **(Williams, 1998).**

A l'exception de la Mer Caspienne et la Mer Morte qui ne se dessèche jamais, cependant les autres lacs qui se trouvent en zone aride et semi aride ne sont remplis d'eau qu'au cours de la saison pluvieuse, le cas de Eyre en Australie **(Williams, 2001)** et des Chotts algériens en Afrique du Nord **(Aubert, 1976).**

Depuis 1971, le traité international sur les zones humides Ramsar a joué un grand rôle pour la sensibilisation du public de la valeur écologique de ces zones humides et même les lacs salés. C'est uniquement sous climat sec et chaud que se forment les lacs salés. Ils portent des noms

divers : mers (morte, caspienne, Aral), Sebkhas, Chotts, Soltpans, Levirs. L'eau amenée par les cours d'eau ou les sources s'évaporent à la surface du lac. Il se fait une auto régulation **(Demnati, 2012)**.

Ces lacs salés englobent des écosystèmes aquatiques ayant une valeur économique et non économique considérable **(Williams, 2001)**. Ces lieux n'échappent pas aussi au loisir et au tourisme.

Les lacs salés ont une importante richesse au même titre que les zones humides d'eau douce, ils sont très reconnus pour le rôle qu'ils jouent pour la migration et la reproduction des oiseaux d'eaux **(Jellison, 2005)**.

Beaucoup d'activités humaines menacent les lacs salés, notamment le détournement des flux de surface, la salinisation, l'exploitation minière, la pollution et l'ensablement. La sécheresse et le pompage excessif pour l'agriculture sont en train de provoquer l'assèchement accéléré des lacs salés. Cet état de fait, peut être la cause principale de la disparition de plusieurs lacs salés dans le future **(Williams, 2001 ; Jellison et al, 2008)**.

Les effets de ces activités sont des changements défavorables qui font perdre le caractère naturel des lacs salés comme la perte de la biodiversité et des changements limnologiques fondamentales **(Williams, 2002)**. Malgré la conscience des organismes internationaux de la valeur de ces milieux, néanmoins ils subissent une menace causée par les activités humaines.

II.3. Etat de santé des écosystèmes aquatiques

Compte tenu de la complexité des écosystèmes aquatiques et de la multiplicité des perturbations d'origine anthropique, les paramètres physiques ou chimiques classiquement utilisés pour évaluer la qualité des eaux ne suffisent pas à fournir des indications précises sur le fonctionnement écologique d'un hydrosystème. La prise en compte des variables biologiques permet d'évaluer les effets à la fois individuels et cumulatifs de plusieurs sources de perturbations, qu'elles soient ponctuelles ou d'origine diffuse et de suivre ces effets sur le long terme à la fois sur le plan qualitatif et quantitatif **(Z H infos, 1994)**.

Ces variables jouent un rôle de système de surveillance et d'alerte. La nécessité de prise en compte du vivant et de maintien de la biodiversité des milieux naturels répond à des préoccupations d'ordre écologique, éthique et économique. La biodiversité dépend de trois composantes essentielles des écosystèmes : la composition, la structure et le fonctionnement. En l'absence de structure de référence correspondant aux conditions supposées "naturelles", le travail des écologistes repose sur la fixation d'objectifs en termes de composition et de structure des peuplements (**Z H infos, 1994**).

Les variables biologiques intègrent également les effets à la fois individuels et cumulatifs de plusieurs sources de perturbations, que ces dernières soient ponctuelles ou d'origine diffuse. Elles constituent donc, à ce titre, de meilleurs indicateurs de la qualité des écosystèmes et de son évolution que les seuls indicateurs chimiques, notamment pour des produits pas toujours facilement mesurables lorsqu'ils sont présents à faible dose, ou qui ne sont pas recherchés dans la mesure où leur présence n'est pas signalée. Ce sont également de bons intégrateurs des phénomènes intervenant à plusieurs échelles de temps et d'espaces, et ils permettent d'évaluer les changements éventuels des écosystèmes sur le long terme, à la fois sur le plan qualitatif et quantitatif. Les variables biologiques jouent dans ce cas un rôle de système de surveillance et d'alerte.

II. 4. Biodiversité des écosystèmes aquatiques

La structure et la composition de la biocénose des écosystèmes aquatiques; différent selon les biotopes, est une communauté d'organismes variés : bactéries, végétaux microscopique (phytoplanctons) ou de plus grande taille (macrophytes), animaux unicellulaire (protozoaires), invertébrés (rotifères, vers, insectes à l'état larvaire ou adulte, mollusques, microcrustacés du zooplancton et du benthos, etc.) et vertébré (reptiles, batraciens, poissons).

Les oiseaux et les mammifères interviennent également dans le fonctionnement de l'écosystème aquatique, en y prélèvent leur nourriture et en y abandonnant leurs excréments. Les poissons, bien que fortement attractifs pour l'homme ne représentent cependant qu'une faible part de l'abondance et de la biomasse des organismes aquatiques.

Les organismes vivants sont susceptibles de coloniser l'ensemble du milieu aquatique en fonction de leurs exigences (lumière pour la photosynthèse, besoins respiration, ressources alimentaires) (**Grausclaude et al, 1999**).

Du point de vue biologique, les eaux douces et l'eau de mer constituent des milieux biologiques distincts ou biotopes, caractérisés par des associations d'espèces bien définies tant végétales qu'animales.

Par rapport à ces deux milieux fondamentaux, on trouve d'une part les eaux saumâtres (dont la salinité est intermédiaire entre l'eau douce et l'eau de mer), et d'autre part les saumures (dont la salinité est supérieure à celle de l'eau de mer), ces milieux particuliers où on trouve en général peu d'espèces, mais des espèces très originales et parfaitement adaptées, sont parfois appelés « milieux confinés ».

Pour les scientifiques, les lacs salés sont aussi des enregistreurs des fluctuations climatiques, de véritables laboratoires chimiques naturels et même des réserves d'êtres vivants capables de s'adapter à des conditions extrêmes de salinité jusqu'à dix fois celle de l'eau de mer.

La végétation des milieux aquatiques s'organise en groupements végétaux dans lesquels cohabitent des espèces qui y trouvent des conditions favorables ; les facteurs écologiques prépondérants ne sont pas les mêmes pour toutes les espèces réunies, le groupement végétal résulte en quelque sorte de la juxtaposition de groupes d'espèces liés chacun à la variation de certaines données écologiques. Des facteurs comme la permanence et la profondeur de l'eau, ses caractéristiques chimiques (teneur en sels et pH surtout) peuvent être considérés comme essentiels quant à leur influence sur la végétation ; dans la mesure où ils résultent eux-mêmes du jeu de nombreux éléments édaphiques, climatologiques et même biologiques, la différenciation de la végétation intègre de façon complexe et précise les variations des facteurs essentiels de l'écologie générale (**Niang Diop, 2010**).

Selon **Niang Diop (2010)**, Les plantes aquatiques sont des plantes adaptées à la vie dans l'eau. Parmi ces plantes on retrouve principalement les plantes microscopiques ou phytoplancton qui s'opposent aux macrophytes ou plantes de grande taille visibles à l'œil nu. Ces plantes aquatiques se rencontrent dans les milieux marin et d'eau douce, que ce soit les eaux stagnantes (lac, étang, mare, marais) ou eaux courantes (fleuve, rivière ruisseau,

canaux). Ce cours ne traitera que des plantes d'eau douce. En fonction des exigences vis-à-vis de l'eau il convient de distinguer différents types de plantes aquatiques mais la notion de plante aquatique est difficile à délimiter. On y retrouve tous les intermédiaires allant des plantes strictement submergées et celles qui subissent quelques brèves semaines d'inondation saisonnière. Cependant, les plantes aquatiques peuvent être subdivisées en deux grands groupes : les hydrophytes et les héliophytes. Les hydrophytes sont des plantes qui ont tout leur appareil végétatif dans l'eau ou à la surface de l'eau. On peut y distinguer trois groupes :

- Les hydrophytes flottants libres: la laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) et la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*)
- Les hydrophytes fixés à feuilles flottants: Ce sont des plantes fixées dont les limbes flottent à la surface de l'eau. En période de floraison, les fleurs émergent de l'eau et sont portées par un pédoncule qui peut atteindre 20 cm de hauteur. Exemple : *Nymphaea lotus*.
- Les plantes émergées ou héliophytes par contre, ont une partie de leur appareil végétatif et reproducteur aérien tout en développant un système racinaire dans un substrat vaseux gorgé d'eau. Exemple *Typha australis*.

Par ailleurs, il existe des plantes de terre ferme qui sont susceptibles de survivre tant bien que mal à une submersion temporaire. Ce sont des plantes dites plantes aquatiques accidentelles ou occasionnelles.

II.4.1. la faune des écosystèmes aquatiques sahariens

La diversité de l'avifaune du complexe de zones humides de la dépression d'Oued Righ est très riche et compte 53 espèces appartenant à 15 familles. Ces peuplements sont dominés par le flamant rose *Phoenicopterus roseus*, le canard souchet *Anas clypeata*, le tadorne casarca *Tadorna ferruginea* et la sarcelle d'hiver *Anas crecca crecca*. L'effectif de certaines espèces peut être important et atteindre 42700 individus comme c'est le cas pour le flamant rose. Certaines espèces sont classées menacées et vulnérables sur la liste rouge de l'UICN (sarcelle marbrée *Marmaronetta angustirostris*, fuligule nyroca *Aythya nyroca*). Le suivi régulier des effectifs de cette avifaune a permis de définir le statut et la phénologie de toutes ces espèces. Les zones humides de la dépression d'Oued Righ sont exploitées par les oiseaux pour y hiverner, y stationner à l'occasion des migrations, ou s'y reproduire (**Bensaci et al, 2013**).

D'après **Bouaguel et al (2014)**, les milieux aquatiques des régions arides algériennes, déjà réputés pour leur capacité d'accueil pendant la saison d'hivernage, s'impose donc comme des lieux de reproduction privilégiés, entre autres pour les oiseaux migrateurs (Tableau 03).

Tableau 04: Dénombrement hivernal des oiseaux migrateurs (DGF, 2016)

	Témacine	Merdjadja	Naoura	Méggarine	Lala fatma	Sidi slimane	Sefioune	Ain Beida	Hassi Ben Abdellah	Oum Erraneb
Canard colvert <i>Anas penelope</i>		20						07	10	02
Canard pilet <i>Anas acuta</i>								12	12	
Canard souchet <i>Anas clypeata</i>		08							120	
Tadorne de Belon <i>Tadorna tadorna</i>							600	21		
Tadorne casarca <i>Tadorna ferruginea</i>						14	13	16	120	18
Foulque macroule <i>Fulica atra</i>									10	
Flamant rose <i>Phoenicopterus ruber</i>							15000	130		420
Aigrette gazette						04	03			
Héron cendré		02	04			03	07	04		
Avocette élégante <i>Recurvirostra avosetta</i>										14
Echasse blanche <i>Himantopus himantopus</i>						08		276		
Poule d'eau	10	10			05		100			
Plongeon cat marin	01									
Canard indifférent							200			
Grèbe Castagneux									02	
Sarcelle marbrée <i>Marmaronetta angustirostris</i>		20							08	
Fuligule nyroca <i>Aythya nyroca</i>		12							08	



Canard Colvert



Sarcelle marbrée



Flamant Rose



Echasse Blanche



La poule d'eau



Tadome Casarca



Aigrette Garzette

Photo 01. Quelques espèces d'oiseaux observées lors du recensement hivernal (DGF, 2015)

Ces sites dont la mise en eau est très dépendante des conditions météorologiques semblent ainsi réunir les conditions favorables à l'installation et à la nidification des échassiers surtout le Flamant rose (voir tableau 04). Elles hébergent pendant toute l'année une population importante, forte de 20 000 à 35 000 flamants roses. (**Bouaguel et al, 2014**).

Selon **Bouaguel et al (2014)**, Par son importance, la colonie du chott Merouane est, après celle d'Ezzemoul (Hauts plateaux de l'Est Algérien), la deuxième d'Algérie et de l'Afrique du Nord. Cependant, sa durabilité dépend étroitement de la présence régulière des eaux de surface dans la vallée qui a connu ces dernières années un développement considérable de l'agriculture industrielle principalement celles du palmier dattier, et l'olivier. En effet le pompage excessif de l'eau affecte les potentialités d'accueil de ces milieux en conduisant à un assèchement précoce et rapide des zones humides. (Tableau 04).

En plus des oiseaux plusieurs espèces animales vivent près des écosystèmes aquatiques sahariens.

De point de vue hydrologique, les Chotts et Sebchas constituent un milieu favorable pour le développement des Branchiopodes. L'Algérie regroupe un peuplement plus riche et plus diversifié de crustacées avec 121 espèces. Dans ce cadre, on a recensé un nombre important de Crustacées, regroupant de grandes familles (Anostraca, Nostraca et Spinicaudata) au niveau des Chotts. La présence d'*Artemia spinosa* a été signalée au niveau du chott Merouane et d'*Artemia salina* au niveau de Sebchas Ezzemoul. La salinité de ce milieu est un facteur important et contrôlant la dynamique des espèces de Crustacées (**Demnati, 2012**).

Concernant la richesse mammalienne peu de travaux ont été réalisés dans ce domaine mais, il faut noter la présence de quelques espèces telles que le rat des sables (*Psammomys obesus*), le fennec (*Fennecus zerda*), la gerbille (*Gerbillus* sp.), la gerboise du désert (*Jaculus jaculus*), le hérisson du désert (*Paraechinus aethiopicus*) et la pipistrelle (*Pipisterellus* sp.), ces derniers sont des espèces rare et la mérione (*Meriones* sp.) est classée comme espèces très rare, alors que le sanglier (*Sus scrofa*), le chacal (*Caracal caracal*), le lièvre (*Lepus capensis*), Le renard (*Vulpus rueppeli*), le Goundi du Sahara (*Ctenodactylus vali*), Porc épic (*Hystrix cristata*), le chat sauvage (*Felis sylvestris libyca*), ces espèces communs sont observées au

niveau de la lisière de plusieurs Chotts comme le chott Ain El Beida, chott Hodna, El Goléa (DGF, 2004).

La Photo 02, montre quelques espèces animales vivantes près des écosystèmes aquatiques du Sahara.



Grenouille du Sahara (*Rana saharica*)



Gerboise (*Jaculus*)



Le Fennec (*Vulpes zerda*)



Vipère à corne *Cerastes*



Artemia salina

Photo 02. Quelques espèces faunistiques vivant près des écosystèmes aquatiques du Sahara (source : wikipedia.org, 2018)

Concernant l'arthropodofaune, **DGF (2004)**, note la présence des Gryllotalpidae, des Mantidae, des Libellulidae, des Coenagrionidae, des Lepismatidae, des Forficulidae, des Gryllidae, des Acrididae, des Cercopidae, Cicadidae, des Aphididae, des Geotrupidae, des Arachnidea, des Tabanidae et des Scorpionidae. Les reptiles sont représentés par *Trapelus mutabilis*, *Cerastes cerastes*, *Stenodactylus petrii*, *Uromatrix* sp., *Varanus griseus*, *Scincus scincus*, *Acanthodactylus longipes*, *Acanthodactylus boskianus*.

Le tableau 04, indique les sites de nidification des oiseaux dans la région de l'Oued righ. parmi ces sites, on trouve chott Merouane, lac Oued Khrouf et Ayata.

**Tableau 04 : Principaux sites de nidification des oiseaux (région de l'Oued Righ)
(Bouaguel et al, 2014)**

Zone humide	Coordonnées géographiques	Superficie (ha)	Statut	Caractéristiques
Chott Merouane	34°02.433'N 05°58.748'E	305000	Site Ramsar depuis 2001	Nidification de Gravelot à collier interrompu <i>Charadrius alexandrinus</i> , de l'Echasse blanche <i>Himantopus himantopus</i> et de l'Avocette élégante <i>Recurvirostra avosetta</i> .
Lac Oued Khrouf	33°53.332'N 06°01.125'E	1200	Site Ramsar depuis 2001	Nidification de la Sarcelle marbrée <i>Marmaronetta angustirostris</i> et du Fuligule nyroca <i>Aythya nyroca</i>
Chott Melghir	34°10.631° N 06°17.322'E	523400	Néant	Nidification de Gravelot à collier interrompu de l'Echasse blanche et de l'Avocette élégante
Chott Hamaraia 1	34°5.483'N 06°13.292'E	30	Néant	Nidification du Fuligule nyroca, de l'Erisature à tête blanche <i>Oxyura leucocephala</i> et de la Sarcelle marbrée.
Chott Hamaraia 2	35°58.787'N, 06°27.178'E	52	Néant	Nidification du Tadorne casarca <i>Tadorna ferruginea</i> et du Gravelot collier interrompu
Chott Tindla	33°58.173'N, 06°02.815'E	180	Néant	Nidification de Gravelot à collier interrompu de l'Echasse blanche et de l'Avocette élégante
Lac Ayata	33°29.867'N, 05°59.403'E	25	Néant	Nidification de Gravelot à collier interrompu de l'Echasse blanche et de l'Avocette élégante
Lac Mérara	33°03.432'N, 06°03.967'E	25	Néant	Nidification des Gangas unibandes <i>Petrocles alchata</i>
Chott Tighdidine	33°31.366'N, 06°02.181'E	250	Néant	Nidification de Gravelot à collier interrompu de l'Echasse blanche

II. 4.2. La flore des écosystèmes aquatiques sahariens

Selon DGF (2005), la cuvette de Ouargla fait partie du domaine saharo-méditerranéen, sous secteur algérien au même titre que Ghardaïa, Touggourt, Biskra ou Hassi Messaoud. Une étude faite en octobre 2001 et janvier 2002, période de floraison des Chenopodiaceae montre que la flore du chott comprend 12 familles, 27 genres et 30 espèces au niveau de plusieurs groupements végétaux. La famille des Chenopodiacées est la plus importante avec 10 genres et 12 espèces, au côté des Zygophylacées avec 2 genres et 2 espèces, des genres et espèces électifs ou classiques des auréoles autour du chott de Ain Beida. Les autres familles sont les graminées, les joncacées, les cypéracées, les tamaricacées et les palmacées. Les Graminées sont représentées par *Stipagostis acutiflora*, *Cutadia dicotoma* et *Schimismus barbatus* se trouvant dans les sables et les regs (pierres). *Phragmites communis* et les Joncacées avec *Juncus martimus* sont liées à la présence de l'eau le long des drains des palmerais et des eaux stagnantes. Les Composées sont généralement importantes, la plus intéressante est *Rantherium suarelens*, touffe vivace à fleurs jaune très appréciée par les ovins.

La composition spécifique de la flore terrestre rencontrée dans les zones humides de Ouargla et de la région de l'Oued Righ est hétérogène; elle change d'une zone à l'autre, voire dans le même habitat au cours de l'année. Les relevés floristiques effectués par (Koull, 2015) dans les zones humides de Ouargla et de l'Oued Righ ont permis de recenser 17 espèces appartenant à 10 familles, représentées par 16 espèces permanentes (vivaces) et une espèce éphémère. Les chaméphytes sont les plus abondants avec 41 %, elles sont composées principalement par les Amaranthacées. Les géophytes sont représentés par quatre espèces avec 23,5%. Les thérophytes, les héliophytes et les phanérophytes montrent le même nombre de taxons (2 espèces). Il est à signaler l'absence de plantes supérieures submergées ou flottantes dans le plan d'eau. (Tableau 05)

L'étude faite par Chenchouni (2012) au niveau du lac Ayata, a montré que les types biologiques les plus fréquents sont les chamaephytes (53,8%) et les thérophytes (23,1%), qui caractérisent la végétation désertique ayant un recouvrement faible et une hauteur basse. Par ailleurs, la cartographie de la végétation a révélé l'existence de 3 types de formations végétales:

- une végétation halophytique représentée par des espèces Chénopodiacées qui sont réparties tout autour des abords du plan d'eau;
- une végétation hydrophytique représentée par *Phragmites communis* et *Juncus maritimus* ;
- et une végétation éparses représentée par *Limoniastrum guyonianum* et *Triglochin nudatum*.

Les rigueurs climatiques et l'instabilité structurale du sol (texture sableuse et structure particulière,...), favorisent le développement des espèces à cycle de vie court, surtout les Thérophytes. Or la position de la nappe phréatique salée près de l'horizon superficiel favorise le développement des halophytes dont la famille des Amaranthacées est la mieux représentée en espèces Chaméphytes thermophiles. Ces dernières ont une bonne adaptation aux conditions du milieu ce qui leur permet d'occuper des territoires plus ou moins étendus (**Le Houérou, 1975**).

Les zones humides sahariennes présentent une richesse floristique très pauvre. Cette rareté floristique est directement liée aux conditions édaphiques et climatiques contraignantes à la survie des plantes dans la région.

En effet, les travaux de **Chehma (2006)**, **Chenchouni (2012)** et **Koull (2015)** montrent que les communautés végétales des sols salés sont généralement pauvres et caractérisées par la prédominance d'espèces spécialement adaptées à la salinité des sols. Les espèces inventoriées dans l'ensemble des habitats temporaires et salés au Sahara septentrional montrent que la famille des Chénopodiacées rassemble la majorité des espèces communes. Ces espèces présentent par ailleurs des recouvrements importants dans ces milieux. En outre l'abondance des espèces chénopodiacées dans les alentours du lac justifie également la dominance des chaméphytes sur les autres types biologiques.

La photo 03, montre les espèces floristiques qui habitent dans les écosystèmes aquatiques sahariens.

Tableau 05: Espèces floristiques inventoriées dans les zones humides de Ouargla et de l'Oued Righ (Koull, 2015)

Lac Ayata	Lac Mégarine	Lac Témacine
<p><i>Phragmites communis</i> <i>Juncus maritimus</i> <i>Halocnemum strobilaceum</i> <i>Tamarix gallica</i> <i>Suaeda fruticosa</i> <i>Limoniastrum guyonianum</i> <i>Zygophyllum album</i> <i>Arthrocnemum glaucum</i> (Del.) <i>Traganum nudatum</i> (Del.) <i>Salicornia fruticosa</i> (Forssk)</p>	<p><i>Phragmites communis</i> <i>Juncus maritimus</i> <i>Halocnemum strobilaceum</i> <i>Tamarix gallica</i> <i>Mallugo nudicaulis</i> Lam. <i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl. <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. <i>Suaeda fruticosa</i> <i>Cressa cretica</i> L. <i>Sonchus maritimus</i> L.</p>	<p><i>Phragmites communis</i> <i>Juncus maritimus</i> <i>Halocnemum strobilaceum</i> <i>Tamarix gallica</i> <i>Mallugo nudicaulis</i> Lam. <i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl. <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. <i>Suaeda fruticosa</i></p>
<p>Lac Merdjaja <i>Phragmites communis</i> <i>Halocnemum strobilaceum</i> <i>Tamarix gallica</i> <i>Cistanche tinctoria</i> (Forssk) Beck. <i>Limoniastrum guyonianum</i> <i>Zygophyllum album</i> <i>Cornulaca monacantha</i></p>	<p>Chott Oum El-Ranneb <i>Halocnemum strobilaceum</i> <i>Juncus maritimus</i> <i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl. <i>Phragmites communis</i> <i>Tamarix gallica</i> <i>Zygophyllum album</i> <i>Mollugo nudicaulis</i> Lam.</p>	<p>Lac Hassi Ben Abdellah <i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl. <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. <i>Phragmites communis</i> <i>Sonchus maritimus</i> L. <i>Juncus maritimus</i> <i>Tamarix gallica</i> <i>Zygophyllum album</i></p>
<p>Chott Sidi Slimane <i>Phragmites communis</i> <i>Juncus maritimus</i> <i>Halocnemum strobilaceum</i> <i>Tamarix gallica</i> <i>Sueda fruticosa</i> <i>Cressa cretica</i> L.</p>	<p>Chott Aïn El Beida <i>Halocnemum strobilaceum</i> <i>Juncus maritimus</i> <i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl. <i>Phragmites communis</i> <i>Tamarix gallica</i></p>	



Phragmites communis



Juncus maritimus



Zygophyllum album



Halocnemum strobilaceum



Tamarix gallica



Sueda fruticosa



Cynodon dactylon



Limoniastrum guyonianum

Photo 03. Quelques espèces floristiques inventoriées dans les écosystèmes aquatiques sahariens

II.5. Politique nationale pour la gestion des écosystèmes aquatiques

Il existe de nombreux textes juridiques qui régissent le domaine de la protection de la nature d'une manière générale, la principale loi est celle relative à l'environnement (n°83.03 du 5 février 1983). Les mesures de protection et de réglementation utile à la conservation des zones humides varient beaucoup suivant le site.

Les zones humides en particulier les Chotts et sebkhas sont sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture, du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et le Ministère des Mines. La D.G.F. étant responsable de la conservation et de la gestion au niveau national des aires naturelles, des forêts, des zones désertiques et des zones humides. C'est également l'institution gouvernementale responsable de la mise en application en Algérie de l'ensemble des conventions liées aux zones humides (**Demnati, 2013**).

L'Algérie étant membre actif du réseau MedWet, la sous direction des parcs nationaux a organisée en 1998 avec MedWet un atelier de formation pour renforcer les capacités en matière d'inventaire des zones humides à l'échelle nationale.

Le réseau le plus important de la région est peut être celui de l'Initiative MedWet sur les Zones Humides Méditerranéennes. Lancé au milieu de l'année 1970 par un petit groupe d'Etats et d'organisations internationales et non gouvernementales, ce réseau se proposait de mettre en œuvre l'objectif Gra do 8 sur « l'arrêt et le recouvrement des pertes et de la dégradation des zones humides Méditerranéennes ». Dans une première phase (1992-1996), MedWet s'est concentré – à travers un projet financé par l'UE – sur le développement de méthodes et d'outils appropriés ainsi que sur l'utilisation durable des zones humides de la région (**PAS-BIO., 2003**).

Malgré que l'Algérie soit signataire de la convention de Ramsar depuis 1971, la conservation des zones humides et leur gestion n'a commencée qu'en 1997 sous la direction générale des forêts, suite à l'instabilité qu'a connue le pays à cette période.

Ces milieux ont été classé site Ramsar à partir de 2001. Dans ce contexte d'autre forme de conservation ont été suggéré comme le programme international pour la conservation de

Birdlife tel que le programme Africain IBA (Important Bird and Biodiversity Areas) qui a débuté en 1993.

Les Important Bird and Biodiversity Areas (IBA), sont des sites importants pour la conservation des oiseaux. Elles sont délimitées selon des critères scientifiques internationaux. Le programme IBA a été lancé dans les années 1980 par BirdLife International, l'organisation faitière mondiale des associations de protection des oiseaux. L'objectif principal des Important Bird and Biodiversity Areas (IBA) est la mise en place d'un réseau mondial d'habitats protégés, permettant d'assurer la conservation à long terme des espèces d'oiseaux menacées. Ce projet de protection repose sur la Directive de l'Union européenne (UE) sur la conservation des oiseaux. Les critères de sélection des IBA ont été définis par BirdLife International. **(IBA, 2015).**

Le territoire des zones humides en milieu aride (Chotts et Sebkhass) est considéré comme écosociosystème ou système d'action, défini comme un complexe d'interaction qui relie :

1) Un système socioéconomique, composé d'individu qui regroupe des aspects sociaux, économiques et culturels. Ces groupes sociaux sont également dynamique, soumis à l'évolution de la société et aux modifications des relations qu'ils entretiennent avec eux et avec leur territoire.

2) Un système environnement-ressource, qui est composé d'écosystèmes et agroécosystèmes dynamiques, qui se transforme au cours du temps sous l'effet combiné de leur propre ontogénèse, des inputs de l'environnement global et des pratiques sociospatiales des groupes sociaux qui exploitent ou qui ont exploité leur fonction ressource. Cette conception du territoire comme système, va permettre d'adopter une démarche systémique, décrire et comprendre le processus d'exploitation de la zone humide **(Mathevet, 2000).**

II.5.1. Approche écosystémique de la gestion

Selon **Demnati (2013)**, L'approche écosystémique constitue l'outil principal pour une gestion intégrée. Cette approche tiendra en compte les diverses interactions entre écosystèmes et une solution durable dans la gestion des ressources naturelles.

Concernant la gestion des Sites Ramsar et autres zones humides, la Stratégie 2.3 du Plan stratégique porte sur les plans de gestion et le Domaine de résultats clés à atteindre avant 2015 est le suivant : « Des processus de planification de la gestion adéquats seront établis et soumis avec tous ou la plupart des nouveaux sites inscrits ou un engagement sera pris à œuvrer en vue de cet objectif en tenant compte de la pénurie éventuelle de ressources financières et humaines pour remplir cet objectif, sachant que l'inscription d'un site peut servir d'incitation pour l'établissement d'un futur plan de gestion » (**Secrétariat de la Convention de Ramsar., 2010**).

Les avantages de l'approche écosystémique sont :

- Une attention prioritaire est accordée aux interrelations entre les différents éléments d'un écosystème, ce qui favorise la gestion intégrée de ces éléments.
- L'accent est mis sur les questions à long terme ou à grande échelle, ce qui permet d'adopter une stratégie orientée davantage vers 'la prévision et la prévention' plutôt que la méthode la plus courante de 'réaction et correction'.
- On reconnaît le rôle de la culture, des valeurs et des systèmes socioéconomiques dans les questions de gestion de l'environnement et des ressources (**Mathevet, 2006**).
- Cette approche offre un mécanisme permettant d'intégrer les sciences et la gestion.

Les zones humides sont les infrastructures naturelles qui reçoivent l'eau, l'épurent, la stockent, la transportent et la distribuent à des utilisateurs multiples que sont les villages, les villes, les agriculteurs les pêcheurs, les éleveurs, les gestionnaires des parcs nationaux et des réserves naturelles, les industriels, les opérateurs touristiques, et tous les autres êtres vivants. Nous oublions souvent que l'eau est indispensable à la vie et que sans les zones humides nous n'auront plus d'eau douce à notre disposition. Le monde oublie souvent aussi que l'eau n'a pas de substitut et qu'elle est difficile à transporter. Nous n'avons pas d'autre choix que celui de la gestion : gestion des zones humides, gestion de l'eau qu'elles nous offrent gratuitement, gestion de la qualité et des quantités d'eau, gestion des conflits liés à l'eau, gestion des catastrophes naturelles du fait du manque d'eau ou gestion des catastrophes que peut causer l'excès d'eau. Nous ne pouvons pas maîtriser la nature. Nous devons la gérer (**Anada, 2011**)

Les Chotts et Sebkhass sont comme toutes autres zones humides, ils constituent des milieux spécifiques en matière de gestion des ressources naturelles et de conservation. Ces plans d'eau endoréiques ou zones humides d'intérieures connu une multitude d'activités et d'usage déterminent des enjeux forts qui dépendront de la ressource en eau. Par ailleurs des menaces très intenses pèsent sur ces milieux (**Demnati, 2013**).

Ces milieux présentent des enjeux socioéconomiques, tels que l'agriculture, l'élevage et la production du sel pour la population locale et nationale (**Demnati et al, 2012**).

Ils sont exploités par l'entreprise nationale des sels (ENASEL) comme l'entreprise de Bethioua (Arzew), M'ghaire (El Oued), Oued Djemâa (Relizane) et Ouled Zaouia (Aïn Mlila). L'Algérie produit deux types de sels; le sel alimentaire qui est estimé à 165000 à 264000 tonnes/ an et le sel industriel à environ 125000 tonnes/ an alors que les sels spéciaux (agriculture, pharmacie, cosmétique) sont peu développés. La production du sel est très importante sur le plan national et international (**Demnati, 2013**)

Les écosystèmes aquatiques renferment d'autres richesses minérales qui ne sont pas encore exploitées, dans ce cadre (**Hacini, 2006**), a signalé que le chott Merouane renferme une quantité importante de Lithium qui n'est pas encore exploitée. Le lithium rentre dans les dépôts évaporitiques où il se localise dans les réseaux cristallins des silicates surtout les minéraux argileux, sur le plan santé, le lithium est généralement utilisé dans plusieurs domaines médicaux : il est employé dans le traitement des dépressions nerveuses. Le surdosage du lithium dans ces médicaments peut contribuer à des cas d'intoxications aiguës.

Selon **Dubu et al (2016)**, La tendance du marché de la technologie lithium-ion est en hausse. Elle remplace progressivement les technologies précédentes (nickel-métal et nickelcadmium par exemple), principalement dans le domaine de l'électronique. On trouve ainsi des batteries lithium-ion dans des domaines aussi divers que le médical, l'électronique, l'automobile, l'aérospatial, militaire et le stockage d'énergie. Beaucoup de petits appareils utilisent une seule cellule lithium-ion, dans l'électronique (casque Bluetooth, baladeurs MP3, smartphones) et dans le biomédical (capteurs pour la mesure du pouls cardiaque par exemple). Cela a eu pour conséquence notamment un développement important des smartphones de plus en plus fins mais performants, dû à la capacité de stockage d'énergie plus importante avec la

technologie Li-ion. La technologie Li-ion est ensuite employée dans le domaine de l'automobile et assimilés, c'est-à-dire dans les véhicules électriques (bus, voitures, scooters, vélos, segway...). Dans le domaine aérospatial la technologie Li-ion commence également à être utilisée. Ainsi le Boeing 787 Dreamliner emploie des batteries Li-ion pour les groupes auxiliaires de puissance, les contrôles de vol électroniques, les systèmes lumineux d'urgence par exemple. On trouve également la technologie dans des applications aéronautiques comme les satellites, les sondes etc. Enfin le dernier domaine d'application est le stockage d'énergie, principalement pour les énergies renouvelables dans le but de compenser les creux de production. Ce domaine d'utilisation est encore récent et en développement (**Dubu et al, 2016**).

Les Chotts algériens sont menacés ou touchés par d'autres activités humaines, notamment le détournement des afflux d'eau de surface pour l'agriculture qui peut constituer un danger potentiel pour la région d'Oued Righ (**Khadraoui, 2010**).

La contamination de la nappe phréatique par les eaux salées des Chotts constitue un risque pour la région algéro-tunisienne (**OSS, 2008**).

Un grand danger réside dans les changements hydrologiques induits par les activités humaines dans ces zones humides (**Samraoui et al, 2006**). Les rejets des eaux usées dans ces bassins constituent un énorme danger pour l'écosystème (**Khadraoui, 2005**).

L'eau souterraine a connu ces dernières décennies une surexploitation dans le domaine de l'agriculture, ce qui a provoqué une perturbation dans les nappes souterraines comme l'augmentation de la salinité (**Khadraoui, 2010**).

Toutes ces menaces réelles, que connaissent les différents lacs salés d'Algérie, mettent en jeu la conservation du patrimoine des Chotts et Sebkhass face à la pression des divers facteurs tels que la mise en valeur agricole, la pollution, l'augmentation de la salinité au niveau des eaux souterraine ainsi que les facteurs climatiques tel que la sécheresse (**Demnati, 2013**).

Une prise de conscience de la nécessité de protéger ces espaces est observée et a conduit depuis une dizaine d'années à la mobilisation plus grande des instances internationales mais aussi nationale pour la protection de ces espaces. La question des méthodes d'intégration de la

conservation de ces espaces aux dynamiques des territoires au sein desquels ils s'insèrent reste posée, Comment s'y prendre pour que ces préoccupations de conservation soient plus largement partagées ? Comment s'y prendre pour qu'elles soient véritablement traduites en action d'envergure à la hauteur des enjeux ? Comment réussir à ce que ces mesures de conservation et de gestion soient profondément inscrites et traduites en actes dans la politique locale et nationale d'aménagement des espaces au sein desquels ces lacs salés s'insèrent?

D'après (**Demnati, 2013**), Pour apporter un éclairage théorique et pratique à ces différentes interrogations il faut prendre trois aspects en compte :

- Une analyse des Chotts et Sebkhass du point de vue des dynamiques écologiques, que sociales et économiques, pour mettre en évidence les enjeux majeurs qui plaident pour une protection et une meilleure gestion de ces espaces ;
- Evolution de la relation environnement- société ;
- La protection de la biodiversité, pour aboutir à une gestion intégrée, sans oublier d'accorder un rôle central aux sociétés concernées

D'après **De Groot et al (2007)**, L'estimation des valeurs des zones humides est l'une des nombreuses formes d'évaluation des zones humides qui peut et doit être utilisée à différentes fins et à différentes échelles en appui à l'utilisation rationnelle des zones humides, à leur gestion et à la prise de décision les concernant.

L'Évaluation des écosystèmes en début de millénaire (2003) définit le terme valeur comme la contribution d'une action ou d'un objet aux buts, objectifs ou conditions propres à un usager (d'après **Farber et al. 2002**).

Le terme « valeur » a trois sens principaux :

i) valeur d'échange : le prix d'un bien ou service sur le marché (= prix du marché) ;

ii) utilité : la valeur d'usage d'un bien ou service qui peut être très différente du prix du marché (p.ex., le prix de l'eau sur le marché est très bas mais sa valeur d'usage est très élevée ; l'inverse est également vrai dans le cas, par exemple, des diamants ou d'autres biens de luxe) ;

iii) importance : la valeur émotionnelle que nous attachons à certains biens ou services (p.ex., l'expérience émotionnelle ou spirituelle que certaines personnes éprouvent en regardant la faune sauvage ou un paysage ou encore notre réflexion éthique à propos de la valeur d'existence des espèces sauvages).

Il est donc impératif de mieux communiquer les valeurs des zones humides, ainsi que les coûts et avantages des autres utilisations des zones humides, aux décideurs et au grand public.

Chapitre III

Présentation des stations d'étude

Chapitre III. Présentation des stations d'étude

Les régions d'Ouargla, El Hadjira et de l'Oued Righ recèlent d'importants écosystèmes aquatiques de type zones humides. Elles sont en nombre de dix (trois à Ouargla, deux à El Hadjira et cinq à l'Oued Righ), dont trois sont classées, selon la convention de RAMSAR en 2004, comme des zones humides d'importance internationale, il s'agit des chotts de ; Aïn El Beida, Oum El-Ranneb et Sidi Slimane.

Ces sites présentent une variabilité spatiale, hydrologique, topographique et géologique, certaines parmi ces zones humides subissent une influence plus ou moins importante des eaux usées. C'est ainsi que les sites ont été choisis de manière à assurer une étude écologique exhaustive de différentes zones humides et d'essayer de faire un diagnostic sur leur état d'environnement.

La figure 12, montre l'emplacement des stations d'étude.



Figure 12. Localisations des écosystèmes aquatiques étudiés

III.1. Les écosystèmes aquatiques d'Ouargla

❖ Chott Ain Beida

Le Chott de Ain Beida est situé non loin de la ville d'Ouargla (à 8 Km). Il est enserré entre; la palmeraie d'Ouargla (chef-lieu de commune et de wilaya) à l'Ouest et au Sud, la palmeraie de Ain Beida à l'Est et il s'ouvre sur des formations dunaires au Nord. Le chott est une dépression saline dont la partie inondée est constituée par la Sebka, avec une surface de 6853 ha. Allongé en direction Nord-Ouest, Sud- Est sur une longueur de 5,3 km, sa largeur varie de

1 à 1,5 km. Il est parcouru par un réseau de drains qui canalisent les eaux excédentaires de la nappe phréatique de la palmeraie de Ouargla (DGF, 2004).

Ses coordonnées géographiques sont :

*Altitude 142 m à 146 m ;

*Latitude 31°57'30" à 31°59'2" Nord ;

*Longitude 5°22'42" à 5°21'52" Est. (DGF, 2004).

Selon la direction générale des forêts (2004), 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. Le plan d'eau est discontinu, il est fragmenté sous forme des étangs séparés par la route communale de Ain El Beida et les drains d'évacuations; principale et secondaires; donc il a une structure hétérogène (voir photo 04).

❖ Chott Oum El Raneb

Sidi Khouiled est la ville la plus proche du site, environ 2 km, qui est traversé par une route, chemin communal N° 111, reliant la dite ville à N'Goussa. Le village d'Oum El Raneb, distant d'environ 500 mètres, lui est également limitrophe de superficie 7.155 ha. (RAMSAR, 2005). Ses coordonnées géographiques sont :

*une altitude moyenne de 126 m.

* une latitude de 31°57'30'' à 31°59'2'' Nord.

* une longitude de 5°22'42'' à 5°21'52'' Est

Il est de faible profondeur avec une superficie de 7.155 ha.

Depuis 23 ans, le chott Oum El-Raneb est utilisé comme un exutoire pour les eaux de drainage agricole des palmeraies des alentours. En été, ses eaux saumâtres sont exploitées pour leur sel. De nos jours, face à l'exode rurale et à la démographie galopante que connaît la ville d'Ouargla, le chott est devenu non seulement un exutoire des eaux de drainage agricole, mais aussi pour les eaux usées provenant de la ville de Ouargla (voir photo 04).



Chott Oum Erraneb



Lac Hassi Ben Abdellah



Chott Ain Beidha

**Photo 04. Les écosystèmes aquatiques de la région d'Ouargla
(Vue générale)**

❖ Lac Hassi Ben Abdellah

La commune de Hassi Ben Abdellah est située à environ 27 km, au Nord-Est du chef lieu de la wilaya d'Ouargla et à 157m d'altitude. Sa superficie est de 3060 km². Hassi Ben Abdellah est une zone à vocation agricole, fondée en 1970, avec une superficie actuelle de 560 ha, majorité de palmiers, accompagné de cultures maraichères et fourragères.

Le lac Hassi Ben Abdellah, 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 et d'une profondeur maximale de 4.7 m. La station est bordée par des dunes de sable au Nord (Ergs), par une sebkha au Sud et à l'Est, par la route nationale N 56. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes : 32°01'54'' N et 5°44'66''E. Ce lac est constitué 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) (voir photo 04).

III.2. Les écosystèmes aquatiques d'El Hadjira

❖ Lac El Bheir

Le lac El Bhier se situe entre deux communes, EL-Hadjira et EL Alia, le site est localisé à 7 km au Nord-Ouest de la ville d'El Hadjira, ses cordonnés géographiques sont :

- latitude : 5° 30' 55''N ;
- longitude : 32° 41' 42''E ;
- Altitude : 99 m.

El Bhier est caractérisé par une vaste répartition géographique, constitue un lac salé avec une profondeur indéfinie (jusqu'à 80 m), avec un diamètre de 60 m, sa principale source d'alimentation est la nappe phréatique, c'est un lac permanent caractérisé par une biodiversité floristique et une faunistique impressionnante (Photo 05).

❖ Chott Baghdad

Chott Baghdâd est disposé de direction NE-SO, subit des variations hydrologiques saisonnières très nettes. Il est situé à 15 km environ au Nord-Est d'El Hadjira. Il est situé au plein de Sahara et n'est pas envahis par l'eau qu'au cours de la saison pluvieuse et lors des inondations. En été, par contre, il s'assèche et il est le siège d'une déflation éolienne parfois notable. Le chott couvre 50 km² de superficie et constitue un exutoire naturel de la nappe phréatique (LAMINI, 2012).

Le Chott Baghdâd est limité par :

- Au Nord : dunes de sable.
- au Sud : des affleurements gypso-calcaire.
- à l'Est : limite d'extrémité entre Touggourt et El-Hadjira.

À l'Ouest : les ruines d'ancien petit douar qui s'appelle El Rachdi avec une zone agricole (LAMINI, 2012). La position géographique du chott Baghdâd est définie par les coordonnées suivantes :

- Latitude : 32° 41' 237''N
- Longitude : 5° 37' 577''E.
-

La Photo 05, montre la vue générale des deux stations.



Chott Baghdad



Lac El Bheir

**Photo 05. Les écosystèmes aquatiques de la région d'El Hadjira
(Vue générale)**

III.3. Les écosystèmes aquatiques de l'Oued Righ

❖ Lac Temacine

Le lac de Temacine se situe dans la vallée d'Oued Righ, il a un cachet touristique, dont la réputation dépasse les frontières de la région, voire du pays. Ce lac est un symbole hautement traditionnel. Sa situation géomorphologique se présente en une dépression, qui est à priori un exutoire naturel de toutes les eaux d'irrigation drainées et ce, à partir des palmeraies limitrophes. Ce lac reçoit également les rejets des eaux usées, notamment de la commune de Temacine (DGF, 2016).

Le lac de Temacine est d'une profondeur maximale de 4 m, et un bioclimat aride et ses coordonnées géographiques sont :

- Latitude : 33°00'46"N
- Longitude : 006°01'24"E
- Altitude : 70 m.

❖ Lac Sidi Slimane

D'après (DGF, 2004), Très beau site de par sa situation géographique. Sa proximité immédiate d'une Zaouia, la présence du plan d'eau au milieu des palmeraies, la présence d'une très dense roselière. C'est un lac saumâtre permanent durant toute l'année même en été avec une profondeur plus ou moins importante

C'est un site important pour la population riveraine de par son utilisation comme lieu d'accumulation des eaux excédentaires de drainage des palmeraies avoisinantes d'une part et souterraines d'une autre part (DGF, 2004) (Voir photo 06).



Lac Témacine



Chott Sidi Slimane



Lac Ayata



Oued Khrouf



Chott Merouane

**Photo 06. Les écosystèmes aquatiques de la région d'Oued Righ
(Vue générale)**

La zone est située à proximité d'une route, à environ 500 m de la commune de Sidi Slimane dont elle dépend, sa superficie est de 616 hectares.

Elle est distante de :

-185 Km de Ouargla

-25 Km de Touggourt.

-615 Km d'Alger.

La profondeur maximale de chott Sidi Slimane est 4m avec un bioclimat aride, et ses coordonnées géographiques sont :

- Latitude : 38° 17' 10" N.
- Longitude : 003° 44' 44" E.
- Altitude : Moyenne 50 mètre (DGF, 2004). (Voir photo 06)

❖ Lac Ayata

Le lac Ayata est localisé près de la route nationale n° 3 à environ 6 km après Djamaa en direction vers la ville de Touggourt. Le site a une superficie d'environ 155 ha avec une altitude moyenne de 31m. Il est délimité par les coordonnées géographiques suivantes : Longitude 33°29'17''N et 33°29'48''N ; Latitude 05°59'10''E et 05°59'37''E. Le site est situé près de Amrane (Daïra de Djamaa) à 150 km à l'ouest de la wilaya (département) d'El Oued (Souf).(Chenchouni, 2012). (Voir photo 06)

❖ Lac Oued Khrouf

Cette zone humide appartenant à la commune de Ain Chikh (25 km au sud de la ville d'El Meghaier) est classée site Ramsar depuis le 02 février 2001. Elle représente l'extrémité atteinte par les eaux du canal de l'Oued Righ. C'est en réalité une immense phragmitaie à *Phragmites communis* d'environ 1200 ha qui s'ouvre sur le Chott Merouane.

Ce milieu saumâtre est un quartier d'hivernage très important pour l'avifaune aquatique (Bouaguel et al, 2014). (Voir photo 06)

Ses coordonnées géographiques sont:

- Latitude: 33°53.332' Nord;
- Longitude: 06°01.125' Est.

❖ Chott Merouane

Le chott Merouane est situé au Nord Est du Sahara septentrional; qui fait partie administrativement de la wilaya d'El-Oued et la daïra d'El-Maghaier, située à environ 9km du chef-lieu de la daïra, dans le village de N'Sigha, de coordonnées géographiques : 33°55' N et 006°10' E. Il est considéré comme la plus basse altitude du Nord de l'Afrique (40m au-dessous du niveau de la mer). Ce Chott est classé parmi les zones humides, d'importance internationale, avec une superficie de l'ordre de 333.700 ha (**HACINI, 2006**).

Chott Merouane est classé selon RAMSAR comme zone humide, il s'agit d'un lac éphémère, il est alimenté par trois sources principales, celle du canal collecteur de l'Oued Righ appelé couramment Oued Kherouf, les eaux souterraines de la nappe CT et les eaux de pluie qui sont généralement négligeables (**Hacini, 2006**). (Voir photo 06).

Deuxième Partie

Matériel & méthodes

I. Principe adopté

L'objectif de cette étude est la caractérisation écologique des écosystèmes aquatiques étudiés, afin de déterminer les actions importantes à la gestion. Les différentes tâches pour ce travail sont les suivantes :

- Etude de la végétation
- Etude du substrat des différents types du milieu afin de connaître les caractéristiques du sol
- Etude des eaux de la nappe phréatique
- Comparaison et synthèse des données
- Etablissement des mesures de recommandations et suggérer un aménagement adapté pour la conservation et la gestion durable des écosystèmes aquatiques étudiés.

Cette méthodologie est orientée sur :

- Sorties de prospection aux chotts et sebkhas du Bas Sahara;
- Caractérisation des stations d'étude;
- Des relevés floristiques;
- Identification des espèces rencontrées;
- Réalisation des relevés floristiques;
- Echantillonnage du sol et des eaux de surface.

Les prélèvements sont effectués pendant la période hiver/printemps des années (2013,2014, et 2015), c'est la période durant laquelle la nappe affleure et atteint son niveau maximum. Le planning des sorties pour les écosystèmes études est rapporté dans le tableau 06.

Tableau 06: Le programme des sorties aux stations d'étude

Les stations	Dates des sorties
Lac El Bheir, Chott Baghdad	25 Décembre 2010 20 Avril 2011 17 Février 2015 18 Mars 2015
Lac Témacine et Chott Sidi Slimane	16 Mars 2013 20 Mars 2013 24 Mars 2013
Lac Ayata, lac Oued Khrouf et Chott Merouane	14 Février 2015 14 Mars 2015 17 Mars 2015
Lac Hassi Ben Abdelah, Chott Oum Erraneb et Chott Ain Beidha	07 Mars 2016 10 Mars 2016 14 Mars 2016

II. Etude floristique

L'étude de la flore porte sur la réalisation des relevés phytocéologiques, la constitution de l'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 phytocéologiques (**Gillet, 2000**).

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.

II.1. Choix de méthode d'échantillonnage

Échantillonnage systématique: L'échantillonnage systématique est une méthode qui exige aussi l'existence d'une liste de la population (chaque individu est numéroté de 1 jusqu'à N).

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**). 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. Dans chaque station d'étude, il sera choisi quatre (04) sous stations pour la réalisation des transects des placettes à échantillonner. Les transects sont tracés de façon linéaire traversant ainsi toutes les formations (figure 13).

La première chose à faire avant de réaliser les relevés est de bien visualiser les différentes unités de végétation homogènes (qui par extension, sont appelées individus d'associations) du site. Pour chaque site d'étude on a procédé comme suit : on choisit quatre points de prélèvements tout autour du plan d'eau (S1), à partir desquels les prélèvements de l'eau, du sol et de la végétation hydrophiles sont effectués. Ensuite, on a appliqué la méthode des transects, à l'aide d'une corde et d'une mètre, de telle façon que au fur et à mesure qu'on s'éloigne du plan d'eau et à 25 m du point S1 on détermine S2, la deuxième station de prélèvement, et on détermine la station S3 à 25 m de S2, et le point S4 à 25 m de S3. Donc, la Station S4, se situe à 100 m du S1. Il en résulte 16 stations ou points de prélèvement, et de ce fait, 16 échantillons pour chaque site (Figure 13).

II.2. Choix de l'emplacement des relevés

La prospection des écosystèmes aquatiques choisis a facilité le choix de l'emplacement des relevés et de leurs limites. Les critères de ce choix sont : Homogénéité floristique, homogénéité physiologique 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 physiologique : 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 physiologie et la structure de la végétation ainsi que les conditions édaphiques (**GILLET, 2000**).

Les sites étudiés sont homogènes vis-à-vis les 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. 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**).

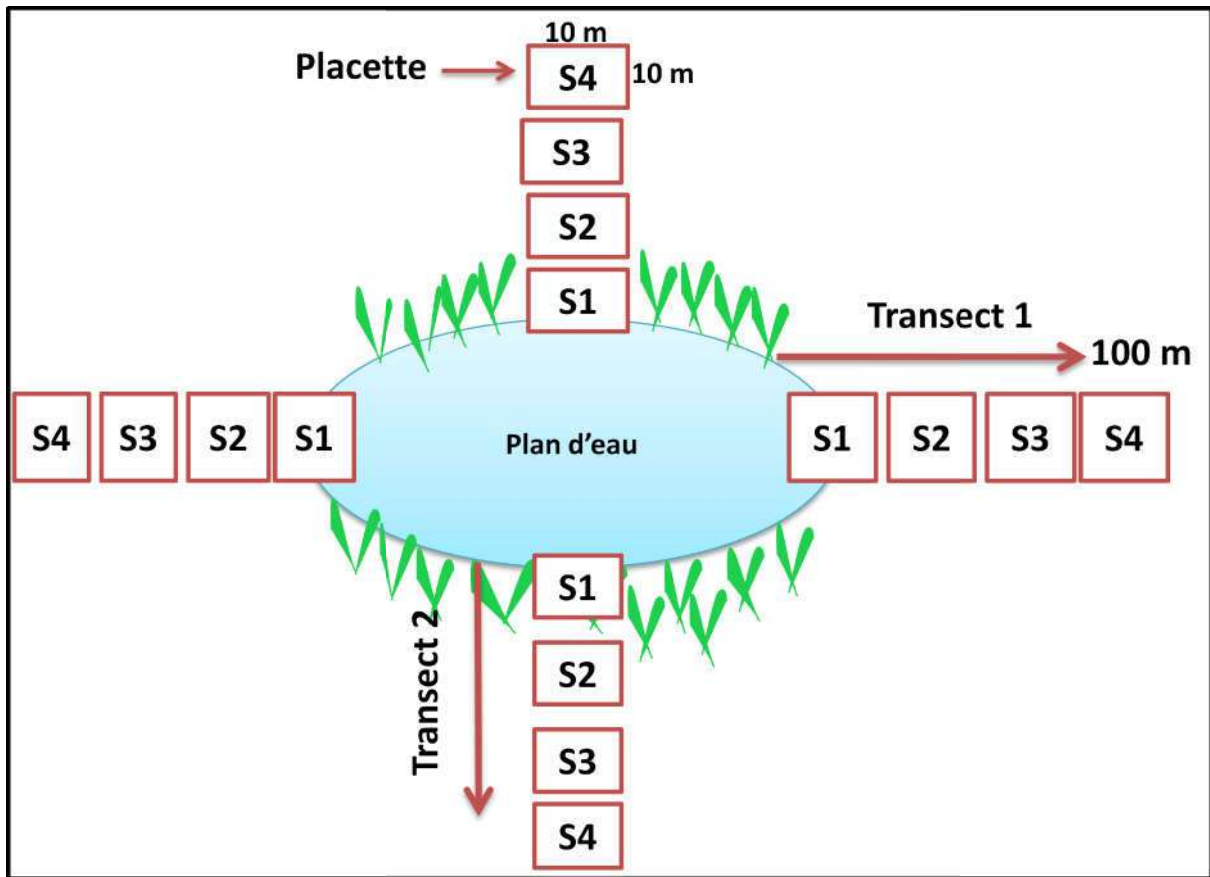


Figure 13. Dispositif de prélèvement des relevés

Gounot (1969), 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. Elle varie selon les groupements végétaux.

Pour la présente étude l'aire minimale est de 100 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).

L'emplacement des stations d'étude est mentionné dans les figures 14, 15, 16 et 17.

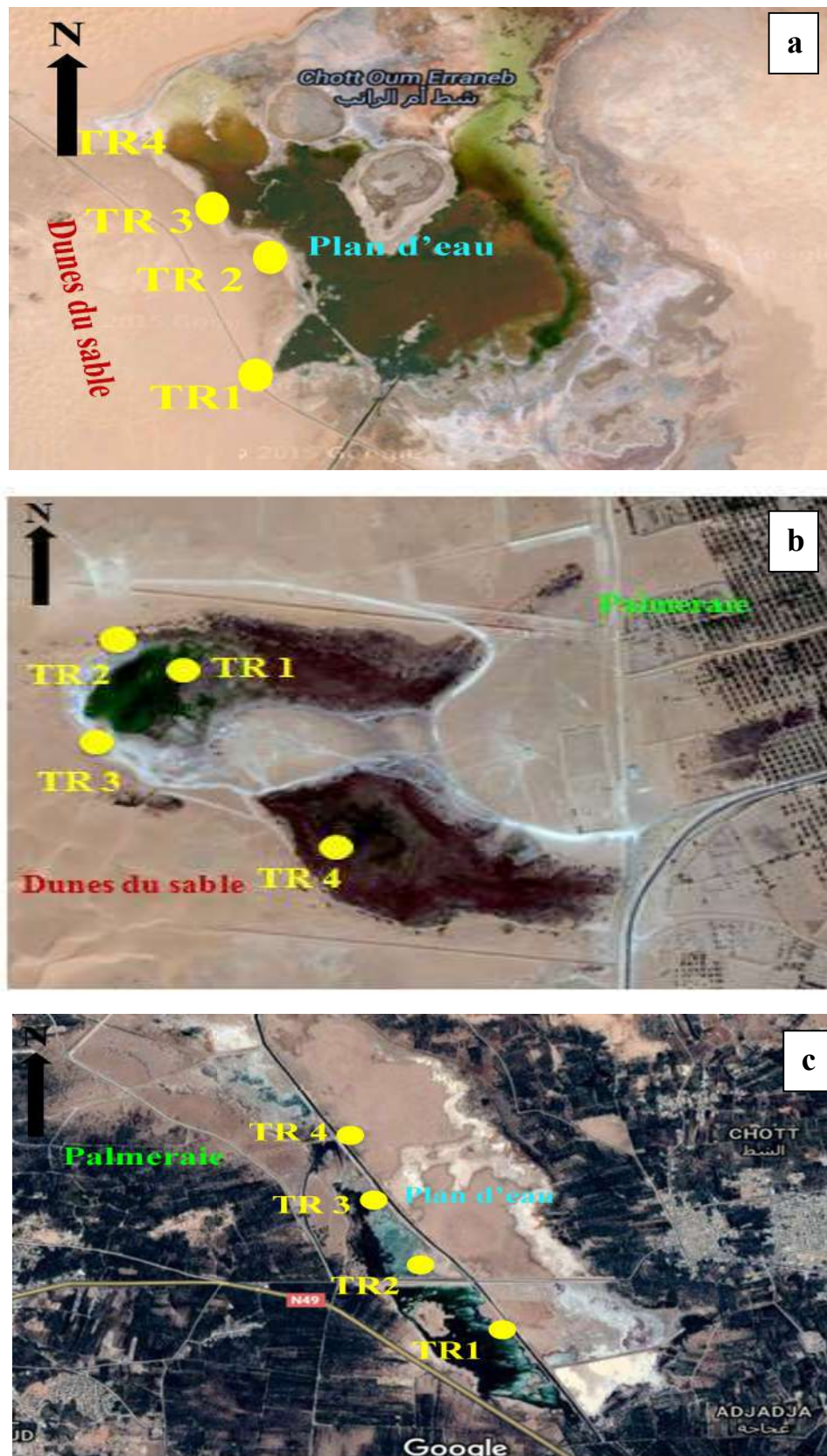


Figure 14. L'emplacement des stations d'étude (Echelle : 1/1200):
a). Chott Oum Erraneb, b). Lac Hassi Ben Abdellah, c). Chott Ain Beida.

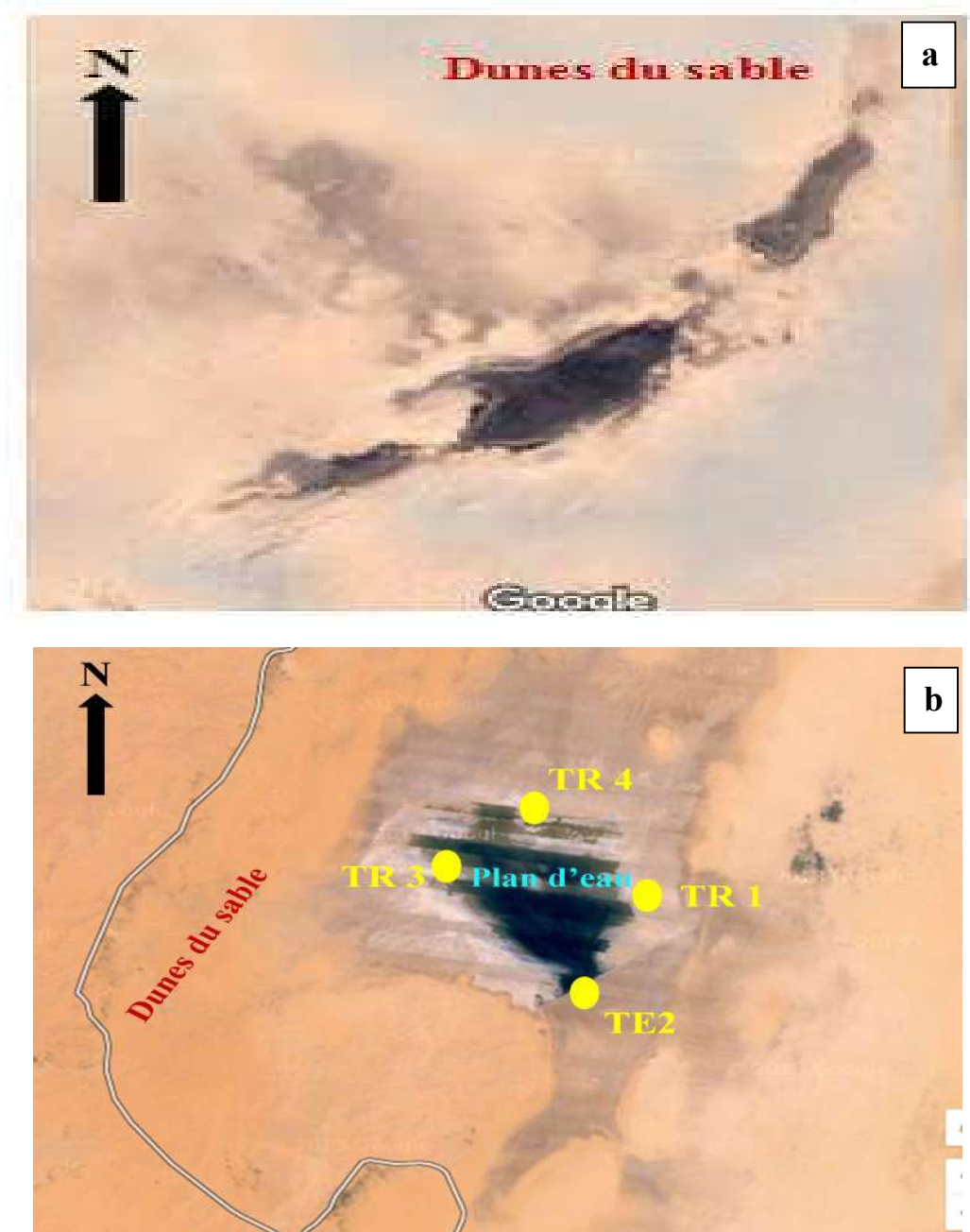


Figure 15. L'emplacement des stations d'étude (Echelle : 1/10000)

a). Chott Baghdad, b). Lac El Bheir

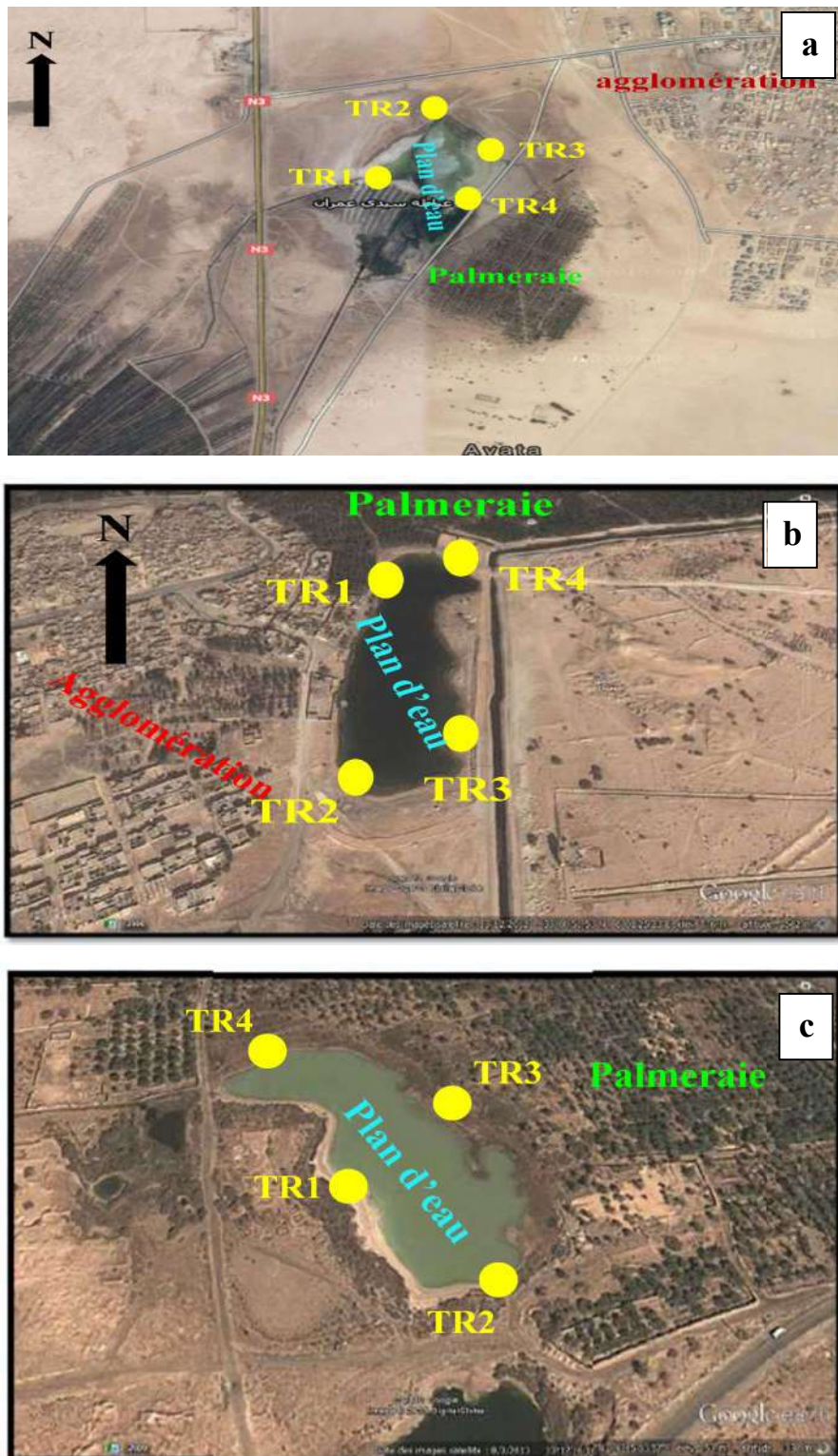


Figure 16. L'emplacement des stations d'étude. a).lac Ayata (échelle : 1/1200),

b). Lac Témacine(échelle : 1/4000) . c). Chott Sidi Slimane (échelle : 1/4000)

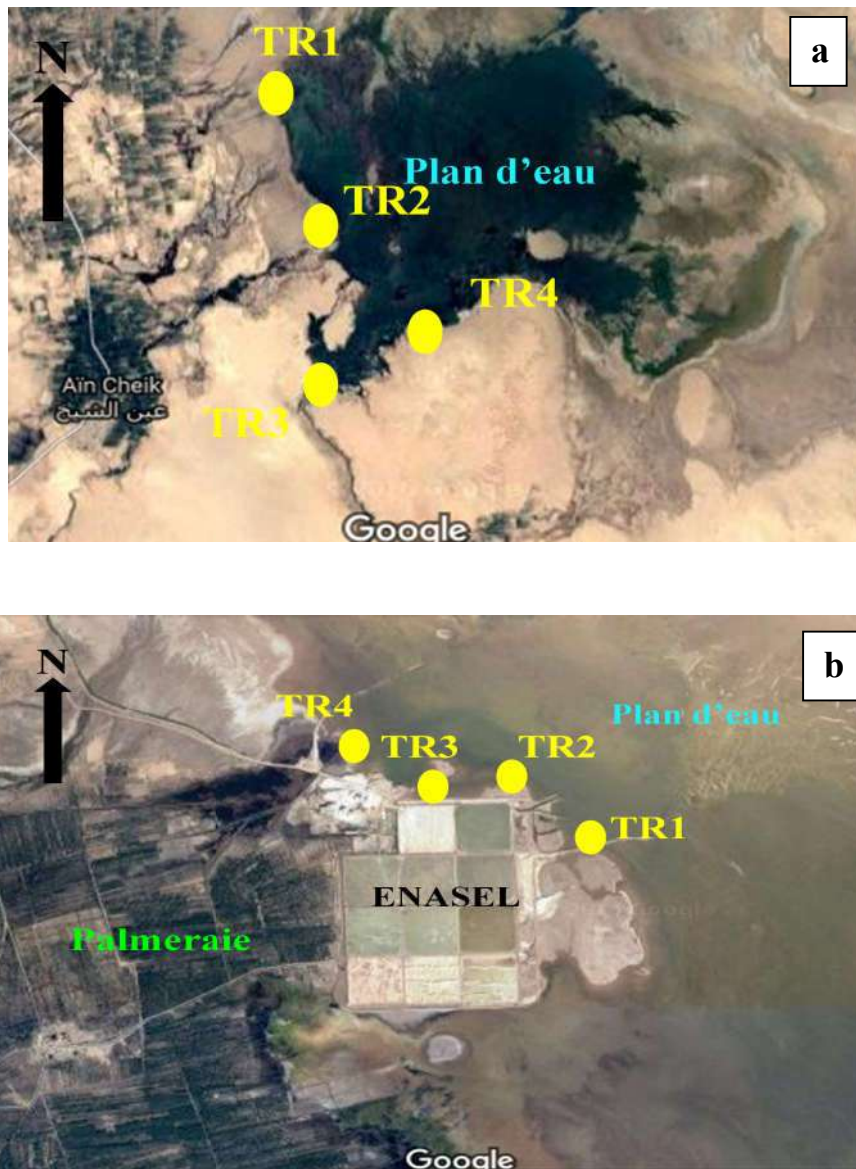


Figure 17. L'emplacement des stations d'étude (échelle : 1/10000)

a) Lac Oued Khrouf. b) Chott Merouane

II.3 Les 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.

II.3.1. Recouvrement

Le recouvrement d'une espèce est défini théoriquement, sans ambiguïté, comme étant la surface du sol qui serait recouverte si on projetait verticalement sur le sol, les organes aériens des individus de l'espèce des individus de l'espèce.

En pratique, la détermination précise du recouvrement n'est relativement commode que si les individus ont des formes géométriques simples et facilement délimitables. Il est alors possible de mesurer la surface recouverte par chacun d'eux (**Gounot, 1969**).

L'approche du calcul de recouvrement est variable selon la forme de chaque plante, qui peut être circulaire, dans ce cas on calcule le diamètre $\langle d \rangle$, soit rectangulaire, on calcule la longueur $\langle a \rangle$ et la largeur $\langle b \rangle$.

A partir de cela la surface couverte est calculée :

- $Rc = \pi (d/2)^2$ pour le recouvrement circulaire.
- $R = a \times b$ pour le recouvrement rectangulaire.

II.3.2. Taux de recouvrement

D'après **Gounot (1969)**, le taux de recouvrement est calculé selon l'équation suivante :

$Tx.Rc = (Rc \text{ de l'espèce} / Rc \text{ totale}) \times S/S \times 100$.

Tx.Rc : taux de recouvrement.

Rc : recouvrement de la sous station.

S/S: sous station.

II.3.3. Coefficient d'abondance / dominance

Il est estimé selon l'échelle de **Braun Blanquet (1951)** comme suit :

R : les individus sont rares, leur recouvrement est négligeable.

+ : peut abondant, leur recouvrement très faible.

1 : abondant avec un faible recouvrement, ou assez peu abondant avec un recouvrement plus grand.

2 : très abondant recouvrement supérieur à 5%.

3 : recouvrement de 25% à 50%.

4 : recouvrement de 50% à 75%.

5 : recouvrement supérieur à 75, abondance quelconque.

II.3.4. Richesse floristique

Selon **Daget et Poissonet (1991)**, c'est la notion qui rend compte de la diversité de la flore, c'est-à-dire du nombre de taxons inventoriés dans la station examinée. Elle n'implique aucun jugement de valeur sur la production ou la potentialité de la végétation. Il est indépendant de la richesse de la végétation.

On parlera de la flore :

Raréfiée : moins de 5 espèces sur cette station.

Très pauvre : de 6 à 10 espèces.

Pauvre : de 11 à 20 espèces.

Moyenne : de 21 à 30 espèces.

Assez riche : de 31 à 40 espèces.

Riche : de 41 à 50 espèces.

Très riche : de 51 à 75 espèces.

Exceptionnellement riche : plus de 75 espèces.

II.3.5. Densité

On compte le nombre des pieds de chaque espèce sur une unité de surface. Pour déterminer la densité de *Phragmites communis* par exemple, nous avons réalisé un cadre de 1×1m, on jette ce cadre dans les sens différents, et on compte les pieds dans ce cadre, on fait la moyenne de la densité par rapport à ce cadre, et on fait une extrapolation de la densité par rapport à 100 m².

III. Etude des eaux

L'objectif de notre étude est de suivre l'évolution des caractéristiques des eaux des écosystèmes étudiées et son interaction avec le sol et la végétation. Pour cela nous avons pris des échantillons d'eau à partir de quatre points pour chaque station d'étude, à l'exception de Chott Baghdad, où il était difficile de trouver des eaux en surface (état sec) sauf en périodes des crues, donc les échantillons sont obtenus à partir des effondrements qui font le contact entre les eaux souterraines et la surface du sol.

Le choix des sites de prélèvement des eaux a été effectué en fonction de la disponibilité et de la facilité d'accès aux différents points d'échantillonnage.

Pour les analyses physico-chimiques; des flacons en plastique de 1.5 l ont été utilisés pour le prélèvement des échantillons d'eau. Avant de procéder au prélèvement des échantillons des saumures, les bouteilles seront rincées 3 fois avec de l'eau distillé, puis elles sont rincées sur le terrain avec les saumures, pour éviter toutes erreurs. Après le prélèvement des échantillons, les bouteilles sont fermées pour éviter l'évaporation et transportées au laboratoire dans une glacière.

III.1. Analyses sur terrain

Les caractéristiques physico-chimiques ont été mesurées à l'échelle du site. A l'aide d'un équipement de terrain, il s'agit d'un multiparamètre avec GPS de type HANNA (HI 9828).

Le pH, l'oxygène dissous et la conductivité électrique sont des paramètres qui doivent être appréciés au moment de prélèvement puisqu'ils changent pendant le temps de transport et de conservation.

Pour les analyses physico-chimiques; des flacons en plastique de 1.5 l ont été utilisés pour le prélèvement des échantillons d'eau. Avant de procéder au prélèvement des échantillons des saumures, les bouteilles seront rincées 3 fois avec de l'eau distillé, puis elles sont rincées sur le terrain avec les saumures, pour éviter toutes erreurs. Après le prélèvement des échantillons, les bouteilles sont fermées pour éviter l'évaporation et transportées au laboratoire dans une glacière.

III.2. Observations au cours de prélèvement

L'opérateur a toujours intérêt à observer, le plus longtemps possible un rejet même quand, le prélèvement est automatique. C'est observations sensorielles lui permettront de noter :

- Les variations de la turbidité ou de la couleur ;
- La présence de gros éléments charriés par le courant d'eau et autant que possible leur nature (paquettes de graisses, chiffons, touffes de poils, fillasses etc...)
- Les odeurs (putrides, organiques....)
- Les variations de température (**Rodier et Coll, 2005**).

III.3. Analyses au laboratoire

III.3.1. Les sels solubles

- **Les Chlorures** ont été dosés par la méthode gravimétrique de MOHR qui consiste à précipiter les ions Cl^- sous forme de AgCl en présence de AgNO_3 .
- **Les sulfates** ont été dosés par la méthode gravimétrique basée sur la précipitation des sulfates sous forme de sulfates de baryum.
- **Les carbonates et les bicarbonates** ont été dosés 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**).

➤ **Détermination des matières en suspension (M.E.S)**

Les matières en suspension (MES) s'obtiennent par filtration des effluents peu chargés par centrifugation des solutions, séchage jusqu'à l'obtention d'un résidu sec. La mesure des MES par filtration repose sur le principe de la double pesée : un volume d'eau est filtré sur une membrane (préalablement pesée à vide) et les résidus de cette dernière sont pesés. Le rapport de la différence de masse sur le volume d'eau filtré donne la concentration des MES en mg/l (CREPA, 2007).

➤ **La demande chimique en oxygène (DCO)**

La DCO correspond à la quantité d'oxygène qui a été consommée par voie chimique pour oxyder l'ensemble des matières oxydables présentes dans un échantillon d'eau de 1 litre (quelle que soit leur origine, organique (biodégradable ou non) ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfate et chlorures). La DCO est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un effluent industriel. L'excès de dichromate introduit est dosé par un réducteur, le sulfate ferreux. Un indicateur approprié permet de détecter la fin du dosage.

La DCO exprimée en mg/l est donnée par la formule

$$\text{DCO (mg/l)} = \frac{800.N1.(VB - Ve)}{V0}$$

Avec : VB = volume de solution ferreuse utilisée pour l'essai à blanc

Ve = volume de solution ferreuse utilisée pour l'échantillon

V0 = volume de la prise d'essai

N1 = normalité de la solution ferreuse.

➤ **La demande biologique en oxygène (DBO₅)**

La demande biochimique d'oxygène (DBO) est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène qui est utilisée pour la destruction de matières organiques décomposables par des processus biochimiques, On réalise une première mesure de la concentration en dioxygène

dissous dans un échantillon immédiatement après son prélèvement et on répète l'opération cinq jours plus tard après incubation à 20°C et à l'obscurité. La différence entre les deux valeurs mesurées constitue la DBO5. Elle est donnée par l'expression suivant :

$$DBO5 = ((P0-P5) - (K0-K5)) * V/E$$

Avec :

P0 : concentration d'O2 dans la dilution au début de l'essai;

P5 : concentration d'O2 dans la dilution à la fin de l'essai (après 5 jours);

K0 : concentration d'O2 dans l'eau de dilution au début de l'essai

K5 : concentration d'O2 dans l'eau de dilution à la fin de l'essai (après 5 jours);

V : volume du flacon

E : prise d'essai Les matières en suspension (MES) s'obtiennent par filtration des effluents peu chargés par centrifugation des solutions, séchage jusqu'à l'obtention d'un résidu sec. La mesure des MES par filtration repose sur le principe de la double pesée : un volume d'eau est filtré sur une membrane (préalablement pesée à vide) et les résidus de cette dernière sont pesés. Le rapport de la différence de masse sur le volume d'eau filtré donne la concentration des MES en mg/l (CREPA, 2007).

IV. Etude des caractéristiques pédologiques

IV. 1. Méthodes d'échantillonnage

A partir de chaque transect inventorié, il sera pris 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. Le prélèvement du sol est accompagné de quelques observations sur terrain et mesures in situ. La forte hydromorphie du substrat et la faible profondeur de la nappe phréatique dans les écosystèmes aquatiques étudiés provoquent souvent l'écroulement des horizons supérieurs, ce qui rend impossible la prise d'échantillons pédologiques par le moyen d'une fosse.

Les échantillonnages sont effectués à l'aide d'une tarière. C'est un demi-cylindre de 120 cm de long et de 8 cm de diamètre avec des bords tranchants munis d'une manche en « T »

servant à enfoncer et à retirer la pelle en la faisant tourner. L'outil est enfoncé perpendiculairement par rapport à la surface du sol.

Il faut remarquer que les sols ont été échantillonnés dans les placettes d'étude floristique d'une superficie de 10m x 10m. Le choix du lieu de prélèvement des échantillons repose sur le type de peuplement végétal et la position du placette par rapport au plan d'eau et à la terre (proximité et éloignement).

L'échantillon sol a été pris à partir d'un mélange de trois prélèvements (P1, P2, P3) (voir figure 18). Les échantillons ainsi prélevés sont analysés afin de connaître les caractéristiques des sols, et suivre l'hydro-halophilie le long des transects. Pour cela, il est mesuré sur l'extrait dilué (1/5) du sol : la conductivité électrique (CE), le pH.

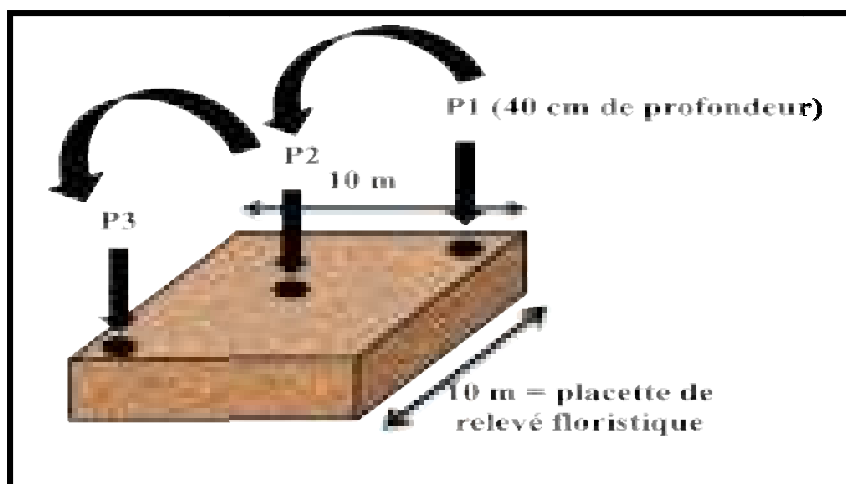


Figure 18. Schéma représentant le prélèvement des échantillons du sol dans les stations d'étude

IV.2. Les analyses effectuées au laboratoire

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

❖ **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**).

❖ **L'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**).

❖ **pH** : est mesuré au pH-mètre sur une solution (terre/eau) (1/5) (**AFNOR, 1999**).

❖ **Conductivité électrique** : est mesurée au conductimètre sur une solution (terre/eau) (1/5). Elle traduit la concentration saline totale de la solution (**AFNOR, 1999**).

❖ **Le calcaire total (Ca CO₃)** : le dosage de calcaire s'effectue par la méthode volumétrique (Calcimètre de **BERNARD**). Nous avons utilisé la propriété du carbonate de calcium à se décomposer sous l'action d'un acide, en eau et gaz carbonique ce dernier est recueilli dans un tube gradué en ml.

❖ **Dosage de chlorures solubles (Cl⁻)** : les Chlorures ont été dosés par la méthode gravimétrique de MOHR qui consiste à précipiter les ions Cl⁻ sous forme de Ag Cl en présence de Ag NO₃.

❖ **Dosage des bicarbonates HCO₃⁻** : Les bichromates ont été dosés par titrimétrie à l'aide de H₂SO₄ qui consiste à titrer en présence de méthylorange par l'acide sulfurique.

❖ **Dosage de sulfate (SO₄²⁻)** : Les sulfates ont été dosées par la méthode gravimétrique au BaCl₂ qui consiste à précipiter les ions (SO₄²⁻) sous forme de sulfate de baryum, en présence de chlorures de baryum (BaCl₂) à 10%.

❖ **Dosage de Na⁺, et K⁺** : Na⁺ et K⁺ ont été dosées par la spectrophotométrie à flamme.

❖ **Dosage de Mg, Ca** : Ils sont dosés par spectrophotomètre à absorption atomique Perkin Elmer (**AFNOR, 1999**).

❖ **Le gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$)** : il est dosé par la méthode de **chlorure du Baryum**. Cette méthode permis l'estimation des teneurs en gypse sous forme de sulfates de calcium en fonction de l'humidité du sol. Les sulfates sont précipités à l'état de sulfate de Baryum et pesés après filtration sur filtre sans cendre et calcination au four à moufle.

❖ **Dosage de matière organique** : Par la méthode de ANNE, qui consiste à oxyder le carbone organique par le bichromate de potassium avec excès en milieu sulfurique, la quantité réduite est en principe, proportionnelle à la teneur en carbone organique. L'excès de bichromate de potassium est titré par une solution de sel de MOHR, en présence de diphénylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert (**Aubert, 1970**).

Le taux de matière organique est obtenu par la formule suivante :

Matière organique (%) = Carbone organique (%) x 1,72

❖ **Dosage d'Azote total (N)** : Selon la méthode de KJELDHAL, l'azote des composés organiques est transformé en azote ammoniacal ; sous l'action de l'acide sulfurique concentré porté à ébullition, se comporte comme oxydant. Les substances organiques sont décomposées: le carbone se dégage sous forme de gaz carbonique, l'hydrogène donne de l'eau et l'azote est transformé en azote ammoniacal. Ce dernier est fixé immédiatement par l'acide sulfurique sous forme de sulfate d'ammonium.

Pour accroître l'action oxydante de l'acide sulfurique, on élève sa température d'ébullition en ajoutant du sulfate de cuivre et du sulfate de potassium ; qui jouent le rôle de catalyseurs. La matière organique totalement oxydée la solution contenant le sulfate d'ammonium est récupérée. On procède ainsi au dosage de l'azote ammoniacal par distillation (**Aubert, 1978**).

V. Traitement des données

Pour le traitement, l'analyse et la représentation des données obtenus à partir des analyses effectuées, on a utilisé les logiciels suivants :

1. STATISTICA 6 : pour l'étude statistique, ce logiciel a plusieurs fonctions :

* il intègre une large variété de représentations de données parmi lesquelles on peut choisir une selon les besoins. Selon la nature des données et des attentes, on peut utiliser soit un histogramme, un diagramme en camembert, des représentations graphiques 2D ou 3D et bien d'autres.

*Prise en charge : les données seront fidèlement représentées avec ce programme. En effet, il prend en charge les données contenues dans un tableur Excel ainsi que d'autres bases de données. Il vous suffit juste d'indiquer l'emplacement du tableur ainsi que son format.

* Facilite la manipulation des données ainsi que l'interprétation des graphes, et permet de faire des calculs de probabilité, de donner des valeurs d'interprétation, etc.

2. XLSTAT : est un logiciel d'analyse de données et de statistique à la fois simple d'utilisation et très puissant. Il permet à ses utilisateurs d'analyser, de visualiser et de modéliser leurs données tout en produisant des rapports sous Microsoft Excel, exportables vers d'autres formats. Avec plusieurs fonctionnalités statistiques surtout les statistiques descriptives.

3. DIAGRAMME : pour la réalisation des diagrammes de Piper.

Troisième Partie

Résultats & discussion

III. Résultats et discussion

III.1. Physionomie générale des écosystèmes aquatiques étudiés

Le Sahara algérien, caractérisé par une richesse hydrique exceptionnelle, présentée par deux grandes aquifères d'une grande importance mondiale sur le plan superficie et quantité d'eau. Cela est dû à la grande quantité des sédiments déposés au niveau du bassin sédimentaire du Sahara septentrionale.

Les eaux du complexe terminal alimentent le chott Merouane avec des grandes quantités d'eau et des sels. La nappe phréatique est présentée dans l'ensemble des oasis de l'Oued Righ. Cette nappe est drainée par le canal collecteur de l'Oued Righ qui décharge ces eaux dans le chott Merouane.

Les bassins des lacs salés sont formés par plusieurs processus géologiques ; soit des lacs résultant des mouvements tectoniques (bassins de subsidence, effondrement,...), soit par des barrières végétales ou sédimentaires, ou par déflation des vents.

L'alimentation des lacs se fait par plusieurs apports, soit par les eaux de surfaces (fleuves, oueds, eaux de drainage : cas de Chott Merouane), par des eaux souterraines ou par les eaux de pluies (voir figure 19).

Les sources d'alimentation et la nature des matières dissoutes dans les eaux déterminent la nature de chaque lac.

Le chott Merouane est alimenté par trois sources principales, à savoir :

- les eaux de drainage du canal collecteur de l'Oued Righ ;
- les eaux de pluies ;
- les eaux souterraines du complexe terminal

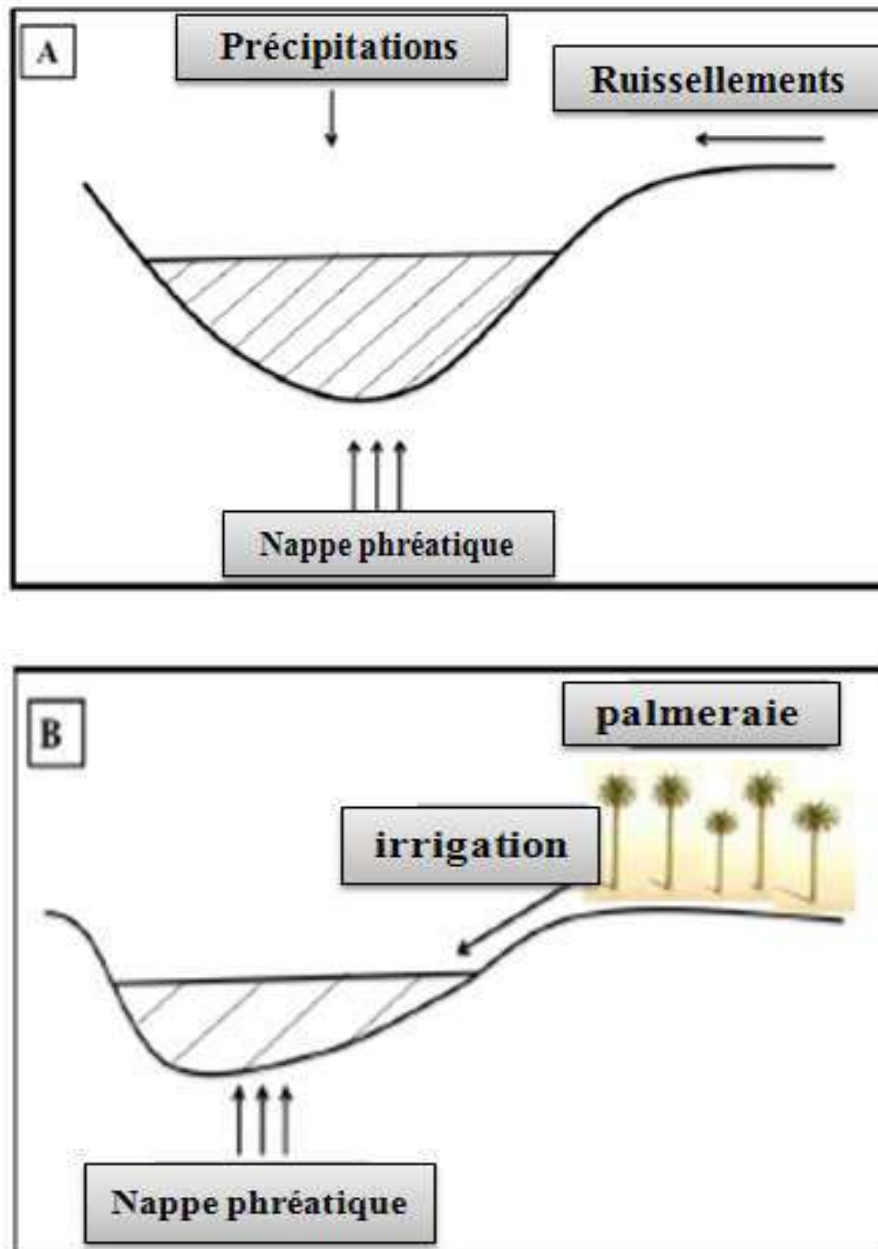


Figure 19. Schéma représentant les différentes sources d'alimentation des écosystèmes aquatiques étudiés

Le schéma représenté dans la figure 19, montre les sources d'alimentation des sites étudiés. Le chott Merouane, chott Baghdad sont alimentés par les eaux de remontée de la nappe, les pluies et le ruissellement lors des crues. Ils sont représentés dans la figure 19(A), tandis que les autres écosystèmes sont représentés dans la figure 19(B), dont les sources d'alimentations sont les eaux de drainage, les eaux de la remontée, les eaux usées.

Tableau 07: Les caractéristiques des écosystèmes aquatiques étudiés

Sites	Commune	Superficie (ha)	Type d'alimentation	Pérennité
Lac Témacine	Témacine	3,83	ED+ER	Existence sur toute l'année
Lac sidi slimane1	Sidi slimane	616	ED+ER	Existence sur toute l'année
Lac sidi slimane2			ED + EC +ER	Existence sur toute l'année
Lac Ayata	Sidi Amrane	155	ED +EU + ER	Existence sur toute l'année
Oued Khrouf	El Mghaïer	1200	EC+ED+ER+EU	Existence sur toute l'année
Chott Merouane	El Mghaïer	305000	EC	Existence sur toute l'année
Chott Ain El Beidha	Ouargla	6853	ED+ER+EU	Existence sur toute l'année
Chott Oum Erraneb	Ouargla	7155	ED+ER+EU	Existence sur toute l'année
Lac Hassi Ben Abdellah	Ouargla	10	ED+ER+EU	Existence sur toute l'année
Chott Baghdad	El Hadjira	5000	ER	saisonnier
Lac El Bheir	El Hadjira	6	ER	Existence sur toute l'année

EC : Eau du canal principal

ER : Eau issue de la Remontée

ED : Eau de drainage

EU : Eaux usées

D'après le tableau 07, les sites étudiés sont caractérisés par une extension et un mode d'alimentation différents, 80% des sites sont issues des eaux de remontée de la nappe phréatique ainsi que les eaux de drainage des palmeraies.

Selon **Hacini (2006)**, la variabilité des sources d'alimentation des lacs salés conditionne la formation des séquences évaporitiques et le devenir des éléments présents dans les lacs. Il faut noter aussi que ces sources d'alimentation et la nature des matières dissoutes dans les eaux déterminent la nature de chaque lac.

On remarque d'après le tableau 07, que la superficie la plus importante est celle du chott Merouane suivi par chott Baghdad, le Lac d'Oued Khrouf vient en troisième lieu. Le lac Témacine a la plus petite superficie. Les écosystèmes aquatiques étudiés peuvent être

considérés comme étant des lacs continentaux éphémères, se sont des lacs saisonniers, pouvant devenir secs dans un intervalle de temps très court, cela est due au taux d'évaporation très élevé.

III.1.1. Bilan hydrologique

Le calcul du bilan hydrique des lacs salés constitue un facteur clé, qui permet de comprendre les changements de concentration des saumures, la minéralogie et la genèse des dépôts évaporitiques.

L'établissement d'un bilan hydrique s'avère indispensable. A cet effet il faut connaître les différentes sources d'alimentation des écosystèmes aquatiques étudiés.

Un système hydraulique est défini le volume d'eau que l'on veut étudier. Ce système peut être un lac, une rivière, un aquifère, un bassin versant etc. l'équation de base dans un système hydrogéologique s'écrit :

Variation des réserves = Entrée – Sortie

* **Entrées** : précipitation, infiltration dans le sol, infiltration souterraines, apport artificiel (stockage souterrain d'eau).

* **Sorties** : évaporation, transpiration, ruissellement de surface, ruissellement souterrain, pompage.

***Variation des stocks** : variation du débit ou de la hauteur d'une rivière ou bien d'un lac, changement de l'humidité du sol, stockage dans les dépressions occasionnelles, Le calcul du bilan hydrologique est fonction de plusieurs facteurs du système hydrologique tels que: les précipitations, le ruissellement, l'infiltration et l'évaporation. L'évapotranspiration réelle peut ainsi être calculée en faisant le bilan sur un long terme des entrées et sorties d'eau sur des unités hydrologiques ou hydrogéologiques bien circonscrites. Si, sur l'ensemble du bassin, on connaît bien les précipitations, grâce à des réseaux de pluviomètres et les débits des cours d'eau grâce à des seuils de mesure.

Dans le cas notre zone d'étude (sebkhas), l'évaporation est toujours plus importante que les précipitations. Donc le bilan hydrique pendant toute l'année est en déficit, à l'exception pendant les crues.

III.1.2. Le canal de l'Oued Righ

Le système de drainage de la Vallée d'Oued Righ est assuré par le canal à ciel ouvert sur une longueur de 150 km allant de la localité de Goug (Daira de Temacine) jusqu'au chott Merouane à Melghir (Wilaya d'El Oued). Ce canal a été initialement construit en 1924, sa pente d'écoulement est de l'ordre de 0,1 % (un pour mille), le tiers sud de ce canal étant d'origine naturelle, alors que les deux tiers nord ont été creusés et recalibrés.

Le canal collecte et évacue les eaux de drainage dans le Chott Merouane à travers Oued Khrouf (figure 20). Ses caractéristiques hydrologiques se déclinent comme suit :

- Longueur totale = 136 km
- Largeur moyenne = 10 m.
- Profondeur moyenne = 4 m
- Vitesse moyenne d'écoulement = 0,7 m/s • Salinité moyenne = 15 g/l
- Pente d'écoulement = 1/1000 • Débit en amont (Touggourt) est de 2,6 m³ /s.
- Débit moyen max en aval (Chott Merouane) > 5 m³ /s.

Ce canal central joue donc un rôle vital pour l'ensemble des communautés développées le long de son itinéraire et pour la sauvegarde de la qualité des terres des oasis, principale ressource de denrées alimentaires dans la région. Quant aux ressources souterraines en eau, il existe trois principales nappes :

- la nappe phréatique dont la profondeur varie de 0 à 50 m, avec des eaux chargées en sels (jusqu'à 13 g/l). L'alimentation de cette nappe est entretenue essentiellement par les excédents d'irrigation. Elle est rarement exploitée pour l'irrigation ;
- la nappe du Complexe terminal, située à des profondeurs variant entre 65 et 416 m, dont le débit ponctuel varie de 25 à 45 l/s ; elle fournit une eau ayant une charge saline de 3 à 11 g/l ;
- la nappe du Continental intercalaire, située à des profondeurs pouvant atteindre 2 200 m au nord de la vallée. Sa qualité est nettement meilleure que celle de la précédente. Elle est mobilisée surtout pour l'eau potable. Ces ressources sont de plus en plus sollicitées pour répondre à une croissance effrénée de la demande en eau par tous les secteurs socio-économiques. Mais c'est toujours l'agriculture qui en demande le plus. Le nombre total de

forage d'exploitation des deux principales nappes est passé de 318 en 1975 à 848 en 2004. Ce nombre a certainement dépassé les 1 000 actuellement, compte non tenu des forages illicites. (OSS, 2014).

La faible pente générale de la Vallée ne facilite pas le drainage naturel des eaux excédentaires. Cela induit un engorgement du sol qui affecte à des degrés divers les terres des compartiments successifs de la vallée d'Oued Righ. Les fossés à ciel ouvert à l'intérieur des exploitations, mal entretenus, finissent par s'effondrer, se colmater rapidement et perdent ainsi leur efficacité. De même en est-il des réseaux de canaux secondaires de drainage aménagés à l'extérieur des exploitations. Les roseaux hydrophiles (des phragmites) qui s'y développent rapidement et à des densités élevées, finissent par bloquer l'évacuation des eaux de drainage venant des exploitations. D'où la nécessité urgente de pallier toutes les formes de dégradation de l'ensemble des composantes du réseau de drainage. De plus, les eaux de drainage agricole sont contaminées par les rejets d'eaux usées ménagères et industrielles non traitées des nombreuses bourgades et villes de la Vallée d'Oued Righ.

Les périmètres irrigués souffrent ainsi de trois contraintes édaphiques majeures :

- l'hydromorphie (remontée de la nappe superficielle à faible profondeur provoquant l'asphyxie des cultures) ;
- la salinisation progressive des terres qui lui est associée, découlant d'une mauvaise gestion des eaux d'irrigation et de drainage ;
- la contamination de la nappe et du sol par les polluants biologiques et chimiques des eaux usées industrielles et ménagères.

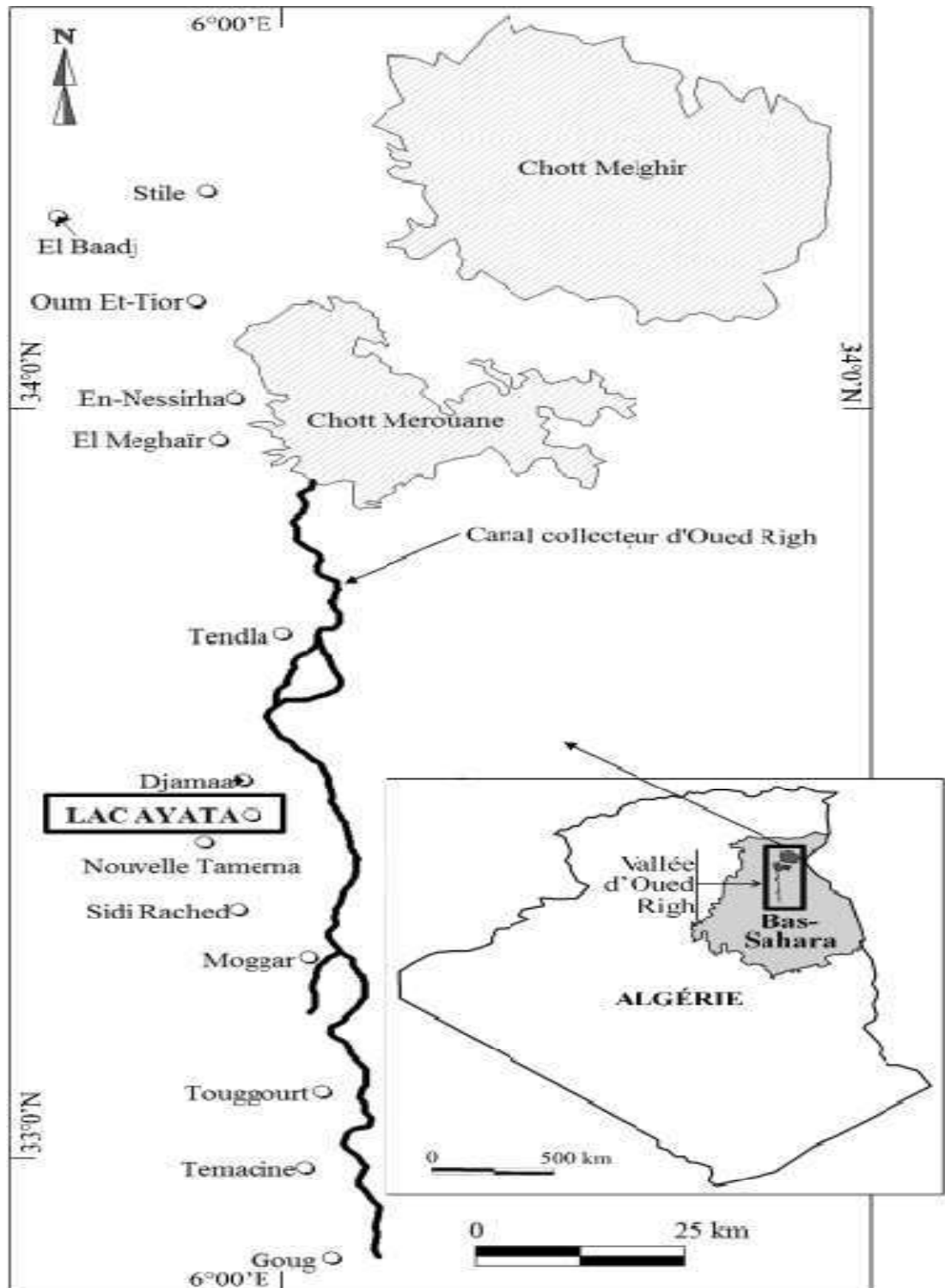


Figure 20 : Le canal collecteur de l'Oued Righ (Chenchouni, 2014)

Suite à la dégradation de la fonctionnalité du canal, l'État avait engagé de grands travaux pour son réaménagement entre 1980 et 1984. Les objectifs de ces travaux étaient :

- le rabattement du niveau de la nappe phréatique ;
- l'assèchement de la vallée par l'évacuation des eaux d'irrigation excédentaires ;
- l'évacuation des eaux d'assainissement des zones urbaines situées de part et d'autre de ce canal, sur tout son trajet.

III.1.3. Calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite

Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humide et semi-aride, ce qui convient à la région de El Hadjira, vu les caractéristiques de son climat. Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). L'estimation de ce paramètre a été faite par l'application de la formule de Hallaire 1960 (cité par J.Ricard 1979).

$$RFU = \frac{1}{2} Da . He . P$$

Ou :

Da : densité apparente du sol, pour la zone d'étude (Da = 0,9)

He : humidité équivalente en % (estimée à 20 %).

P : profondeur de la couche traversée par les racines (estimée à 22 cm).

L'observation du bilan hydrologique nous amène à dire que l'ETP est importante du mois de mars jusqu'au mois d'août, avec des valeurs atteignant les 497,42 mm au mois d'août. A partir du mois de novembre, on assiste à une reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les mois de janvier et mars. Au-delà de cette période, on assiste à une baisse de la RFU, traduisant un épuisement du stock. L'application de la méthode de **Thornthwaite** pour l'année moyenne, l'année la plus humide et l'année la plus sèche a donné les résultats qui sont consignés dans les tableaux 08 et 09.

Tableau 08. Calcul du bilan hydrique (région de Ouargla et El Hadjira) pour la période (2005-2015)

Mois	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
P (mm)	9,4	3,2	3	2	1,6	0,8	0,4	0,6	4,1	4,5	2,9	3,8
T(C°)	13,2	15,1	20,15	25,35	30,75	35,9	39,6	37,35	33,9	27,3	19,35	13,9
i	3,99	4,57	6,10	7,67	9,31	10,87	11,99	11,3	10,26	8,26	5,85	4,2
a	0,56	0,57	0,59	0,62	0,65	0,67	0,69	0,68	0,66	0,63	0,59	0,56
F	1,27	1,06	1,07	0,93	0,86	0,78	0,84	0,92	1	1,15	1,2	1,29
ETP (mm)	144,0	125,3	138,6	132,39	134,55	133,65	153,82	161,55	165,46	169,54	153,28	149,4
P-ETP Déficit	-134,6	-122,1	-135,6	-130,3	-132,9	-132,8	-153,4	-160,9	-161,3	-165,0	-150,3	-145,6
RFU	0,79	0,17	0,6	0,1	0,3	0,09	0,28	0,37	0,34	0,5	0,74	0,23
ETR	10,19	3,37	3,6	2,1	1,9	0,89	0,68	0,97	4,44	5	3,64	4,03
Excès	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 09. Calcul du bilan hydrique (région de l'Oued Righ) pour la période (2005-2015)

Mois	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
P (mm)	15,2	5,4	5,8	9,5	1,5	0,7	0	4,2	6,9	5,3	2,3	4,6
T(C°)	12,45	13,3	18,9	23,95	29,35	34,45	38,1	37,4	32,25	26,1	18,15	12,9
i	3,7	4,02	5,7	7,2	8,8	10,43	11,53	11,3	9,76	7,9	5,49582	3,9
a	0,55	0,56	0,59	0,61	0,64	0,67	0,68	0,68	0,66	0,62	0,58	0,5
F	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	1,05	0,91	0,75	0,7
ETP (mm)	82,21	89,39	129,38	159,75	201,53	217,84	236,83	168,94	177,7	131,3	93,81	79,66
P-ETP (Déficit)	-67	-83,9	-123,5	-150,2	-200	-217,1	-236,8	-164,7	-170,8	-126	-91,51	-75
RFU	0,79	0,17	0,6	0,1	0,3	0,09	0,28	0,37	0,34	0,5	0,74	0,23
Excès	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$$B = Q_{\text{Drainage}} + Q_{\text{Nappe}} - Q_{\text{Evaporation}}$$

Avec:

B: bilan hydrique

Q_{Drainage} : débit de drainage du canal collecteur de l'Oued Righ;

Q_{Nappe} : débit de drainage des eaux souterraines de la nappe du CT;

$Q_{\text{Evaporation}}$: la quantité d'eau évaporée à partir le surface d'eau.

$$B_{\text{Oued righ}} = 131856000 + 62345000 - 2462,6$$

$$B_{\text{Oued Righ}} = 194198537,4 \text{ m}^3/\text{an}$$

$$B = Q_{\text{Drainage}} - Q_{\text{ETP}}$$

$$B_{\text{Ouargla}} = 1496372,25 - 1761,635$$

$$B_{\text{Ouargla}} = 1494610,615$$

Commentaire sur le bilan hydrologique

Le calcul du bilan hydrologique permet de faire les constatations suivantes : La pluie ne permet pas un stockage permanent de l'eau dans le sol des dépressions, ce qui induit un déficit plus ou moins long. Ainsi, la saturation de la RFU, pour une année moyenne, ne dure que trois (03) mois de janvier à mars. Cette saturation ne dure que sept (07) mois pour une année sèche et peut atteindre trois (03) mois pour une année humide (figure 21).

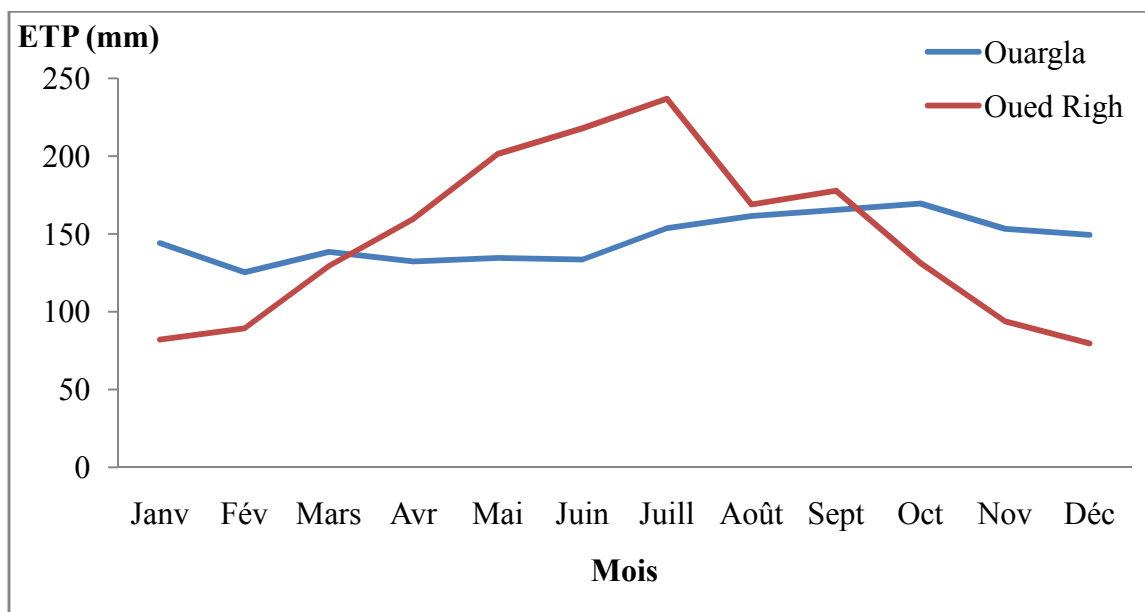


Figure 21 : Variation de l'évapotranspiration dans la région de Ouargla et de l'Oued Righ pendant la période (2005-2015)

Cette situation induit un déficit pendant six (06) mois (de mai à octobre). Pour l'année la plus sèche, le déficit est enregistré pendant sept (07) mois (de mai à novembre). Les sols agricoles demandent donc une irrigation par les eaux de surface, qui vont produire une recharge supplémentaire de la nappe et une modification de la composition chimique des eaux. Généralement, notre zone d'étude est toujours en déficit hydrique très intense. La figure 21 représente la variation de l'évapotranspiration dans les régions de Ouargla et de l'Oued Righ pendant la période (2005-2015).

Conclusion

Le Sahara septentrional est caractérisé par un climat de type hyper-aride, un bassin versant canalise l'eau de pluies vers les dépressions de la région tel que Chott Beghdad et Merouane. L'étude hydro-climatologiques nous permet de déduire que :

- Le climat de la zone d'étude est de type hyperaride, caractérisé par un été chaud et sec et un hiver froid.
- Cette zone est caractérisée par l'irrégularité et la faiblesse de ses précipitations.
- L'évapotranspiration potentielle calculée par la formule de Thornthwaite nous donne 146,80mm (pour la région de Ouargla), et 147,37 (pour Oued Righ) pendant la période (2005-2015), cette valeur va servir dans le calcul du bilan.

La rareté des averses et la quantité annuelle minime des précipitations dans cette zone induisent un déficit hydrique accentué entre - 67 mm et -236,8 mm ;

III.2. Etude floristique

La flore du Sahara septentrional est très pauvre compte tenu de l'immensité de l'écozone (**Ozenda 1983**). D'autre part, bien que le Sahara détienne 80% de la surface de l'Algérie, il n'a fait l'objet que de très peu de travaux relatifs à la mise en valeur des ressources biologiques des milieux aquatiques très originaux qu'il renferme.

Puisque la présence d'eau dans ces zones xériques, qui sont soumises à un climat rude changeant et tendant vers la désertisation (**Le Houérou, 2001**), fait que les plans d'eau attirent et concentrent la majorité des formes de vie désertiques, tant celles qui sont aquatiques que celles qui sont terrestres.

Les travaux consacrés à la connaissance de la biodiversité floristique de la région du Sahara septentrional sont peu nombreux. Nonobstant les études réalisées sur la description de la flore saharienne de façon générale (**Quezel & Santa 1926 et 1963, Quezel 1978, Ozenda 1983**) et celle du Sahara septentrional en particulier (**Ozenda 1958, Chehema 2005, Chehema et al. 2005, Chehema 2006, Chenchouni, 2012, et Koull, 2015**) la végétation de ce biome mérite encore d'être étudiée vue la rareté des espèces et leurs phénologies extraordinaires.

Ces mêmes travaux qui restent ponctuels et localisés signalent la présence d'une biodiversité assez riche et surtout originale pour la région. Par ailleurs, la flore des écosystèmes humides est d'avantage plus indiquée à diagnostiquer et à valoriser étant donné que ces environnements sont exceptionnels, originaux et rares dans le territoire saharien aride.

III.2.1. Paramètres qualitatifs de la flore des stations étudiées

La caractérisation qualitative de la flore fait appel à deux sources essentielles de données de terrain, l'une provenant de mesures et l'autre d'observations (indices de qualité spécifique des taxons). Ces deux sources pouvant éventuellement être complémentaires (composition floristique).

Les mesures et/ou les observations de ces critères qualitatifs sont a priori non destructives. Elles présentent donc l'avantage de pouvoir, avec quelques précautions, être répétées

régulièrement sur des mêmes endroits, ce qui ajoute beaucoup de possibilités pour les comparaisons dans le temps. Ces paramètres sont pour l'essentiel relatifs à la notion d'homogénéité et à la caractérisation de la composition et la structure de la végétation c'est-à-dire :

- la composition floristique,
- le recouvrement des espèces végétales et de la végétation (structure horizontale),
- la densité des taxons (structure horizontale),
- les contacts (structure verticale).

a. Composition floristique

Les relevés floristiques effectués dans l'ensemble des stations étudiées ont permis de recenser 11 espèces appartenant à 07 familles botaniques. La liste des espèces inventoriées est rapportée dans le (tableau 10).

Tableau 10. Liste systématique et types biologiques des espèces végétales inventoriées dans les stations d'étude

Familles	Espèces	Types biologiques
Amaranthaceae	<i>Halocnemum strobilaceum</i>	Chaméphytes
	<i>Sueda fruticosa</i>	Chaméphytes
	<i>Salsola tetragona</i>	Chaméphytes
Poaceae	<i>Phragmites communis</i>	Géophytes
	<i>Cynodon dactylon</i>	Hélophytes
Tamaricaceae	<i>Tamarix gallica</i>	Phanérophytes
Zygophyllaceae	<i>Zygophyllum album</i>	Chaméphytes
	<i>Nitraria retusa</i>	Thérophytes
Plombaginaceae	<i>Limoniastrum guyonianum</i>	Phanérophytes
Chenopodiaceae	<i>Anabasis articulata</i>	Thérophytes
Juncaceae	<i>Juncus maritimus</i>	Hélophytes

b. Les types biologiques

On utilise généralement le système du Danois Raunkier, système en rapport avec l'adaptation du végétal à l'existence d'une saison défavorable (hiver, saison sèche). Il prend en compte le degré de protection assuré aux points végétatifs (bourgeons) à l'origine de nouveaux rameaux.

Les subdivisions (que la plante soit une macrophyte ou une microphyte) republiées par Raunkier en 1934 sont:

***Les phanérophytes** : Les bourgeons survivants se trouvent dans des tiges géotropiquement négatives (géotropie) qui se projettent dans l'air : Phanérophytes à feuilles persistantes qui ne couvrent pas leurs bourgeons. Phanérophytes à feuilles persistantes qui couvrent leurs bourgeons. Phanérophytes à feuilles caduques qui couvrent leurs bourgeons.

***Les chaméphytes** (ou chamaephytes): les bourgeons survivants sont en tiges très proches du sol, elles sont subdivisées comme suit :

- Chaméphytes frutescents: les tiges aériennes sont érigées (buissonnantes). Au début de la saison défavorable, elles meurent et la partie de longueur variable qui porte les bourgeons survivants est maintenue.

- Chaméphytes passifs. Les tiges sont persistantes, mais n'ont pas suffisamment de tissu de soutien pour les maintenir droites. Ils sont donc procombants.

-Chaméphytes actifs: les tiges sont, elles, persistantes et transversalement géotropes par rapport à la lumière, et pour cette raison, ils meurent.

***Les hémicryptophytes**: les bourgeons survivants sont à la surface du sol: plantes en rosettes ou partiellement en rosettes.

***Les géophytes (ou géocryptophytes)**: on trouve des géophytes à rhizome, à bulbes, à tubercules de tige, à racines tubéreuses.

***Les hélophytes (ou limnophytes, limnocryptophytes)**: les plantes de marais.

***Les hydrophytes (ou hydrocryptophytes)**: les plantes aquatiques, avec attachement

au substrat subaquatique ou les plantes flottantes.

(<https://www.aquaportail.com/definition-12280-classification-de-raunkier.html>, 2018)

Selon la figure 22, Les thérophytes et les héliophytes montrent le même nombre de taxons (2 espèces). Les phanérophytes sont représentées par deux espèces (*Tamarix gallica* et *Limoniastrum guyonianum*) ils constituent 18 % de l'ensemble de la végétation (figure 22). Il est à signaler l'absence de plantes supérieures submergées ou flottantes dans le plan d'eau.

Les géophytes sont représentées par une seule espèce (*Phragmites communis*), tandis que les chamaephytes sont les plus nombreux (4 espèces) avec un pourcentage de 37% de l'ensemble des espèces recensées. Ces dernières ont une bonne adaptation aux conditions du milieu (Le Houérou, 1992), ce qui leur permet d'occuper des territoires plus ou moins étendus.

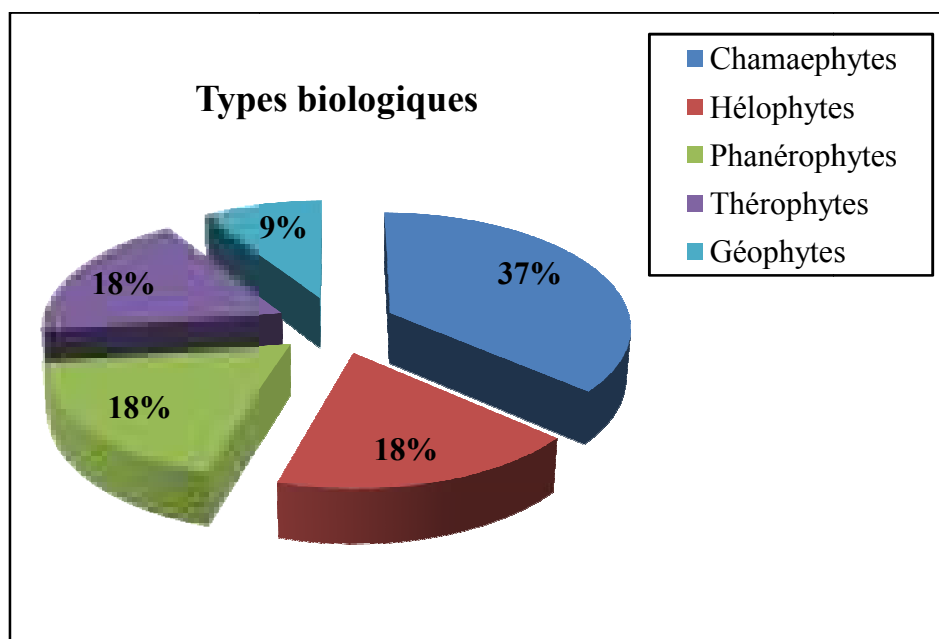


Figure 22. Répartition des espèces inventoriées selon le type biologique

Les plantes annuelles du désert apparaissent brusquement après les pluies et se développent avec une rapidité surprenante, effectuant leur cycle vital, de la germination à la fructification avant que le sol ne soit desséché (cycle de 3 à 4 mois ou 8 à 15 jours).

Ces annuelles constituent souvent après les périodes de pluie, un tapis recouvrant le sol, désigné au Sahara sous le nom d'*Achab*, âgés de quelques semaines, encore à l'état plantules

mais ayant déjà fleuri ou fructifié. Les mêmes remarques peuvent s'expliquer à propos des géophytes, soit bulbeuses, soit rhizomateuses, dont l'apparition est souvent très brusque après les pluies et dont le développement est rapide.

Le fait que plan d'eau ne contient aucune espèce végétale flottante ou submergée peut être interprété par la salinité moyenne des eaux qui connaît des variations saisonnières brusques ne permettant pas la pérennité de cette catégorie de végétation sténohaline exigeante des conditions plus ou moins stables. L'eutrophisation des eaux peut jouer le rôle de stérilisateur contre ces plantes. Par ailleurs, la littérature documentée révèle l'absence d'espèces flottantes de macrophytes dans la région du Sahara septentrionale (**Ozenda 1958, Ozenda 1983, Chehma et al. 2005**) et ceci peut être dû à la rudesse des conditions climatique (**Chenchouni, 2012**).

Tableau 11. Les espèces inventoriées dans les stations d'étude

Chott Merouane <i>Halocnemum strobilaceum</i>	Lac Oued Khrouf <i>Halocnemum strobilaceum</i> <i>Phragmites communis</i> <i>Zygophyllum album</i>	Lac Ayata <i>Halocnemum strobilaceum</i> <i>Phragmites communis</i> <i>Juncus maritimus</i> <i>Tamarix gallica</i>
Chott Sidi Slimane <i>Halocnemum strobilaceum</i> <i>Phragmites communis</i> <i>Juncus maritimus</i>	Lac Témacine <i>Halocnemum strobilaceum</i> <i>Phragmites communis</i> <i>Juncus maritimus</i> <i>Cynodon dactylon</i> <i>Sueda fruticosa</i> <i>Salsola tetragona</i>	Chott Baghdad <i>Halocnemum strobilaceum</i> <i>Tamarix gallica</i> <i>Sueda fruticosa</i> <i>Nitraria retusa</i> <i>Limoniastrum guyonianum</i> <i>Anabasis articulata</i>
Lac Elbheir <i>Halocnemum strobilaceum</i> <i>Phragmites communis</i> <i>Tamarix gallica</i>	Chott Oum Erraneb <i>Halocnemum strobilaceum</i> <i>Juncus maritimus</i> <i>Tamarix gallica</i> <i>Sueda fruticosa</i> <i>Cynodon dactylon</i>	Lac Hassi Ben Abdellah <i>Phragmites communis</i> <i>Juncus maritimus</i> <i>Zygophyllum album</i>
Chott Ain El Beidha <i>Halocnemum strobilaceum</i> <i>Phragmites communis</i> <i>Juncus maritimus</i> <i>Tamarix gallica</i>		

D'après le tableau 11, Les écosystèmes aquatiques étudiés présentent une richesse floristique très faible. Cette rareté floristique est directement liée aux conditions édaphiques et climatiques contraignantes à la survie des plantes dans la région.

En effet, **Chehma et al. (2005)**, montrent que les communautés végétales des sols salés sont généralement pauvres et caractérisées par la prédominance d'espèces spécialement adaptées à la salinité des sols.

Du point de vue spatial, la répartition des espèces rencontrées varie selon les stations étudiées (tableau 11). Ainsi le lac Témacine et le Chott Baghdad qui sont relativement les plus riches et les plus diversifiés avec 06 espèces vivaces, ensuite devient le Chott Oum Erraneb avec 05 espèces vivaces. Le Chott Ain El Beida et le lac Ayata renferment 04 espèces. Le lac de Oued Khrouf, chott Sidi Slimane, le lac Hassi Ben Abdellah et le la Elbheir hébergent 03 espèces vivaces. Le chott Merouane vient en dernier avec une seule espèce vivace.

On a trouvé un nombre d'espèces moins élevé par rapport à celui trouvé par Koull en 2015 (Temacine, Chott Sidi Slimane, Ayata, Chott Ain Beidha, lac Hassi Ben Abdellah) et Chenchouni en 2012, qui a travaillé sur la zone humide de Ayata.

La majorité des espèces inventoriées dans les stations étudiés sont soit des espèces à affinité halophytique (*Halocnemum strobilaceum*, *Sueda fructicosa*, et *Zygophyllum album*); soit des plantes hydrophytes représentées notamment par des espèces caractéristiques telles *Phragmites communis* et *Juncus maritimus*. La présence de ces deux catégories d'espèces est un bon indicateur des habitats humides salés.

Plusieurs auteurs dénotent la diversité et l'abondance en cette flore dans les régions sahariennes caractérisées par des sols salés et humides (**Chehma 2005**).

Selon **Ozenda (1983)**, *Limoniastrum guyonianum* est l'une des espèces endémiques du Sahara Septentrional.

Les espèces inventoriées dans l'ensemble des habitats temporaires et salés au Sahara septentrional montrent que la famille des Amaranthaceae rassemble la majorité des espèces communes.

Ces espèces présentent par ailleurs des recouvrements importants dans ces milieux (**Ozenda, 1983, Chehma et al. 2005**). En outre l'abondance des espèces Amaranthacées dans les alentours des sites étudiés justifie également la dominance des chaméphytes sur les autres types biologiques.

On note également la présence de l'espèce *Halocnemum strobilaceum* (Guerna) dans la quasi-totalité des écosystèmes étudiés, c'est un arbrisseau à tiges cylindriques, nombreuses, jaunâtres, rampantes puis redressées de 30 à 100 cm de haut à rameaux longs articulés. En fonction de l'âge, la plante peut avoir des couleurs qui varient du vert vers le rouge.

Selon **Chehma 2006**, le *Halocnemum strobilaceum*, est une plante halophile supportant une très forte salinité, vivant dans les terrains compactés salés et humides en bordure immédiate des chotts. C'est une plante peu broutée par les dromadaires.

III.2.2. Paramètres quantitatifs (densité et taux de recouvrement) de la flore des stations étudiées

Ces paramètres sont indispensables pour toute étude écologique. Ils permettent de faire le suivi de la végétation et la comparaison entre les différentes stations d'étude.

A. Densité floristique

La densité d'individus pérennes est un indicateur important de l'état de l'écosystème. Il peut être avantageusement utilisé en combinaison avec d'autres descripteurs, telle la taille moyenne des individus ou encore le recouvrement. Elle permet également de définir les tendances à l'installation ou à la raréfaction des individus des taxons pérennes et ainsi d'évaluer les tendances évolutives (régénération, dégradation) d'une formation végétale.

Les valeurs enregistrées pour les différentes stations d'étude nous montrent que la densité des espèces au niveau de chott Aïn El Beida représente les nombres les plus élevés suivis par lac Témacine, lac Hassi Ben Abdalla, Chott Oum Eranneb, chott Sidi Slimane, lac Ayata, lac Elbheir, Oued Khrouf, chott Baghdad et enfin vient le chott Merouane (figure 23). Ces

différences sont dues essentiellement à la richesse de certains écosystèmes aquatiques en *Phragmites* qui peut couvrir des grandes surfaces.

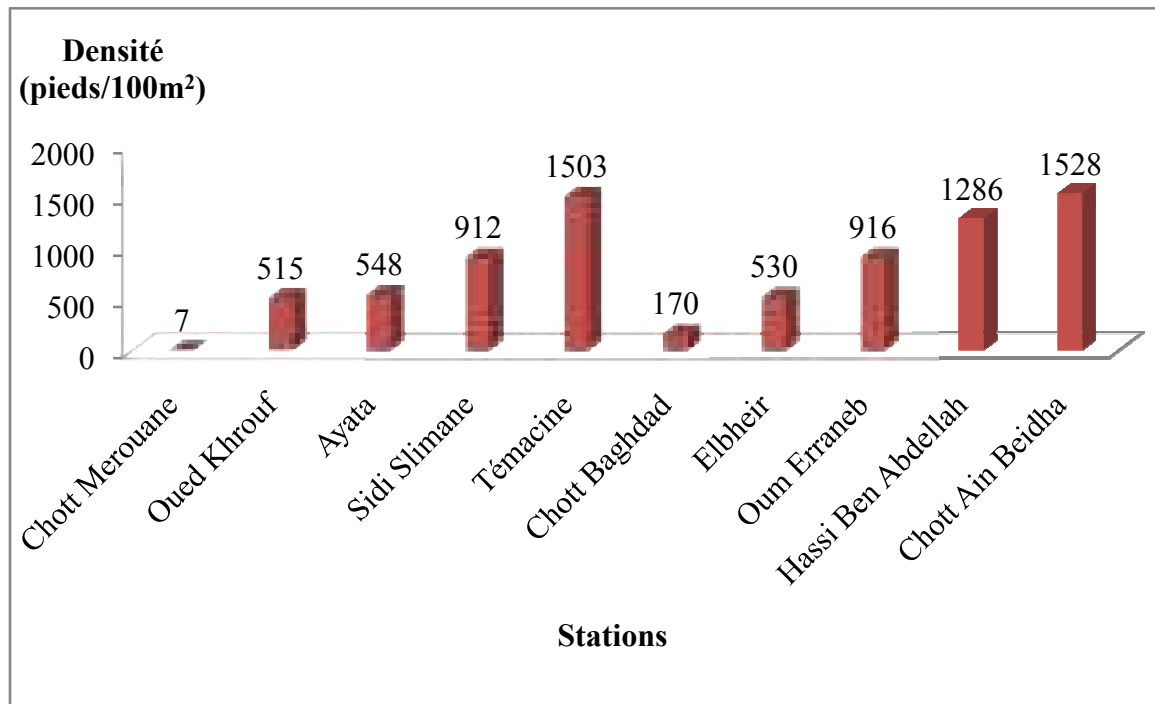


Figure 23. Densité floristique au niveau des écosystèmes aquatiques étudiés.

B. Le taux de recouvrement

D'une façon générale, on remarque que le recouvrement varie d'une station à l'autre (figure), cela est directement lié à la diversité floristique, à la densité des espèces et aux conditions édapho-climatiques du milieu.

En effet, on note que le chott Sidi Slimane, avec un taux de recouvrement de 67,54 %, vient en première position suivi du lac Témacine, lac Ayata, Elbheir, Chott Baghdad, chott Aïn El Beida, lac Oued Khrouf, chott Oum Erraneb, lac Hassi Ben Abdellah et en dernier lieu vient le chott Merouane.

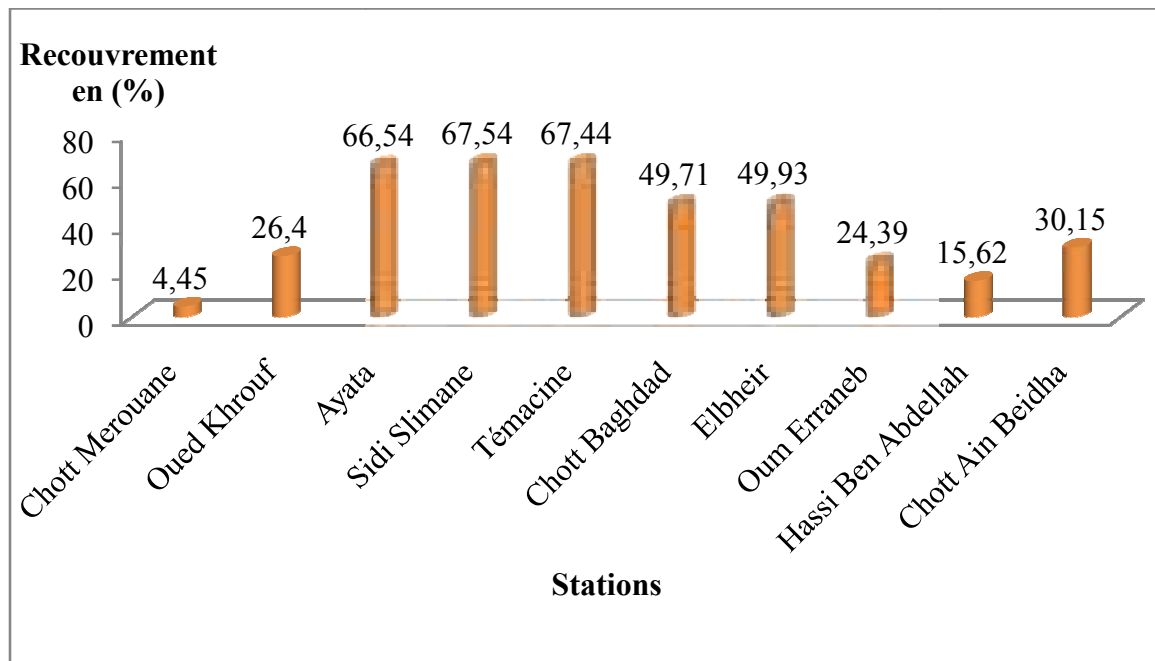


Figure 24. Taux de recouvrement au niveau des écosystèmes aquatiques étudiés

Concernant les taux de recouvrement des stations étudiées (figure 24), on remarque qu'il y a une disproportion entre les densités et les recouvrements qui peut s'expliquer par la différence de taille des espèces occupant les différentes stations étudiées, du fait que parmi les espèces inventoriées il y a des touffes, des arbustes et même des arbres qui présentent des recouvrements totalement différents (Chehna, 2005).

C. Diversité alpha (diversité- α) ou intrabiotope

La diversité- α est la diversité des espèces dans une communauté (Huston, 1994) ou encore la diversité intrabiotope. Elle peut être évaluée grâce à l'emploi d'indices basés sur des paramètres (l'abondance-dominance ou la contribution spécifique mesurée) relatifs aux taxons considérés séparément.

La diversité est maximale dans les peuplements où toutes les espèces ont le même nombre d'individus. A l'inverse, un peuplement dont une espèce est majoritairement dominante affiche une valeur faible de son indice de diversité.

Parmi les indices proposés, nous avons retenus:

– L'indice de Shannon & Weaver (H), largement utilisé ; sa valeur est calculée à partir de données quantitatives ou semi-quantitatives de la végétation. A une valeur d'indice élevée correspond une diversité élevée.

L'interprétation est complétée par le calcul de l'équitabilité (E). L'équitabilité est élevée quand toutes les espèces sont bien représentées. Son évaluation est utile pour détecter les changements dans la structure d'une communauté et a, quelquefois, prouvé son efficacité pour déceler les changements d'origine anthropique.

D'après la figure 25, Le chott Baghdad et Sidi Slimane ainsi que le lac Oued Khrouf présentent les indices d'équitabilité les plus grands donc ils sont les plus équilibrés par rapport aux autres stations (figure 24). Néanmoins, l'indice d'équitabilité pour le chott Merouane et le lac Ayata est le plus petit, ce qui suggère qu'il y a certainement une (des) espèce (s) dominante (s) dans ces écosystèmes, à savoir *Halocnemum strobilaceum* (pour le Chott Merouane), et *Juncus maritimus* pour Ayata.

Pour l'indice de Shannon & Weaver (H), les valeurs élevées sont enregistrées pour le lac de Oued Khrouf et le Chott Baghdad, ce qui reflète une diversité intrabiotopie élevée, tandis que les valeurs minimales sont enregistrées au niveau de la station de chott Merouane.

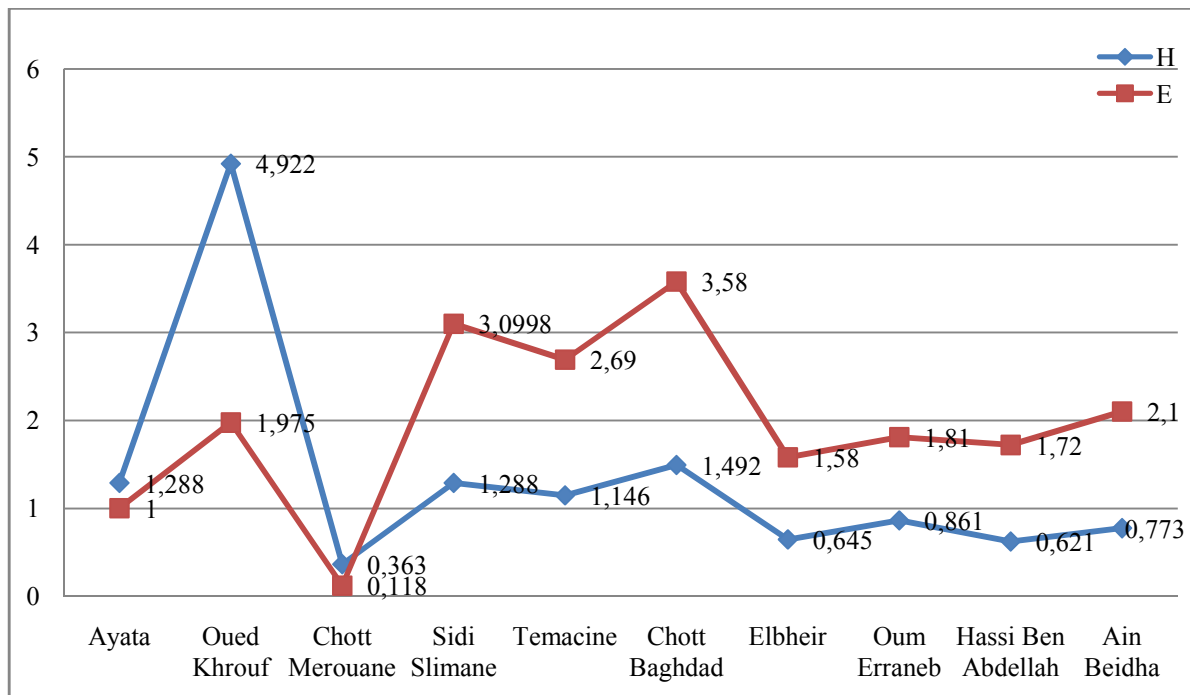


Figure 25. Indice de Shannon-Weaver et l'équitabilité dans les écosystèmes aquatiques étudiés.

D. L'abondance-dominance des espèces

➤ Chott Merouane

L'échelle de l'abondance-dominance de Braun-Blanquet (1951), appliquée à la seule espèce qui occupe cette station, montre que l'espèce *Halocnemum strobilaceum* est une plante dominante, elle est classée à l'échelle **3**, avec un taux de recouvrement de 44,23 %

➤ Lac Oued Khrouf

Pour le lac Oued Khrouf les espèces *Halocnemum strobilaceum* et *Phragmites communis* représentent les taux de recouvrement les plus élevés avec respectivement (36,23 % et 29 %), ils sont classés à l'échelle **3**, tandis que les espèces *Zygophyllum album*, *Juncus maritimus* sont classés à l'échelle **1** avec respectivement 1,75 % et 1 % de taux de recouvrement (figure 26).

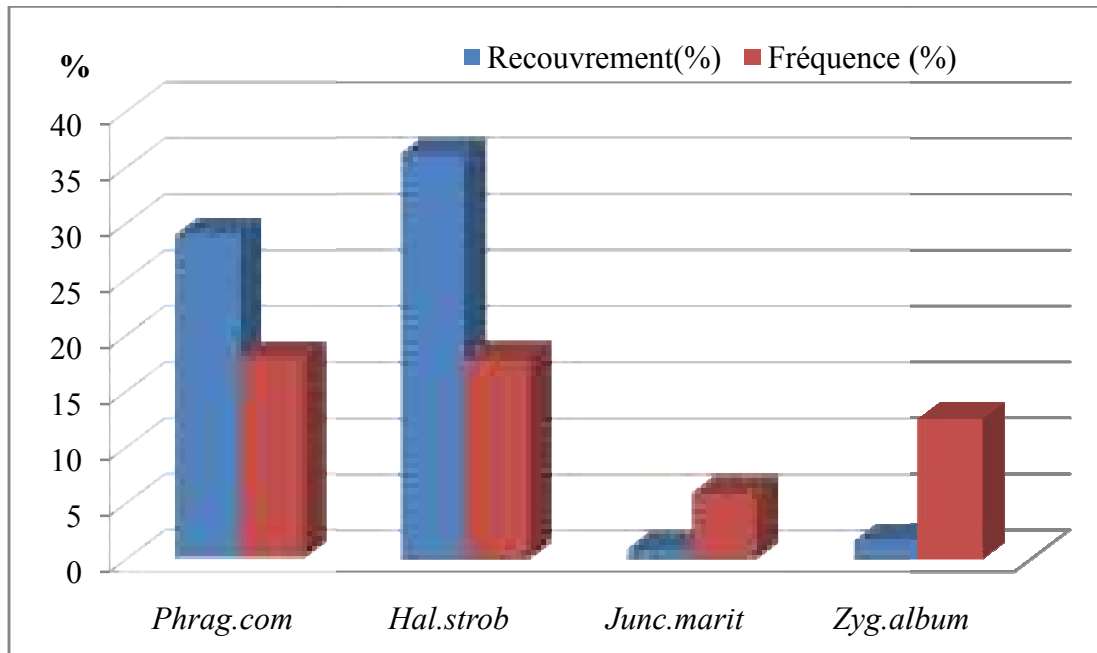


Figure 26. Recouvrements et fréquences floristiques du Lac Oued Khrouf

➤ Lac Ayata

En ce qui concerne le lac Ayata, nous avons remarqué qu'il est dominée par la présence de *Juncus maritimus* avec un coefficient d'abondance dominance classé à l'échelle 3, ainsi plus de 32 % du taux de recouvrement (figure), suivi par les autres espèces classées à l'échelle 2. (Figure 27).

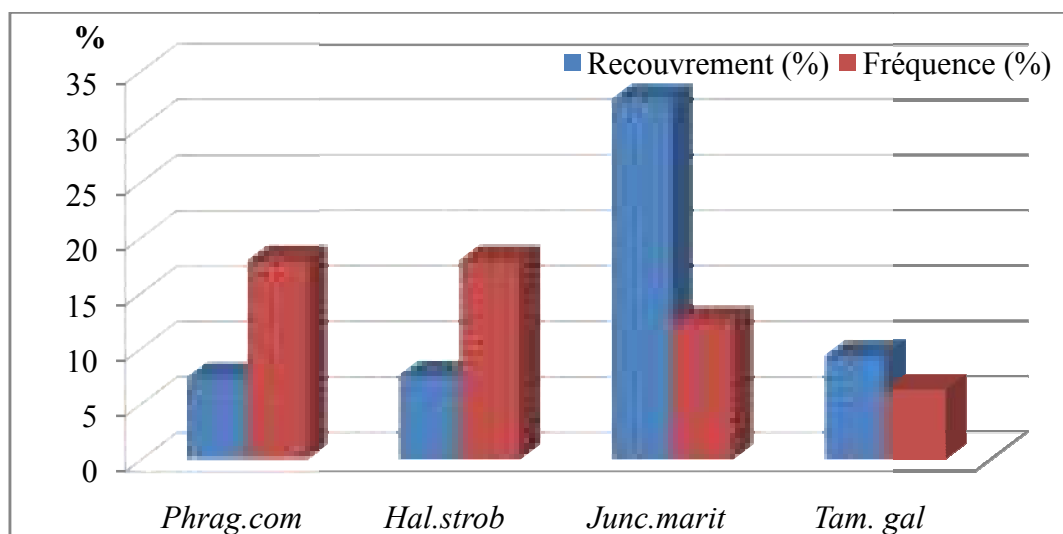


Figure 27. Recouvrements et fréquences floristiques du lac Ayata

➤ Chott Sidi Slimane

Le chott Sidi Slimane est dominé par la présence de *Halocnemum strobilaceum* le *Tamarix gallica* et le *Phragmites communis* avec un coefficient d'abondance-dominance classé à l'échelle 2 (figure 28). Le *Zygophyllum album*, et le *Juncus maritimus* sont classés à l'échelle 1 présentant respectivement 3,63 % et 2,7 % de taux de recouvrement.

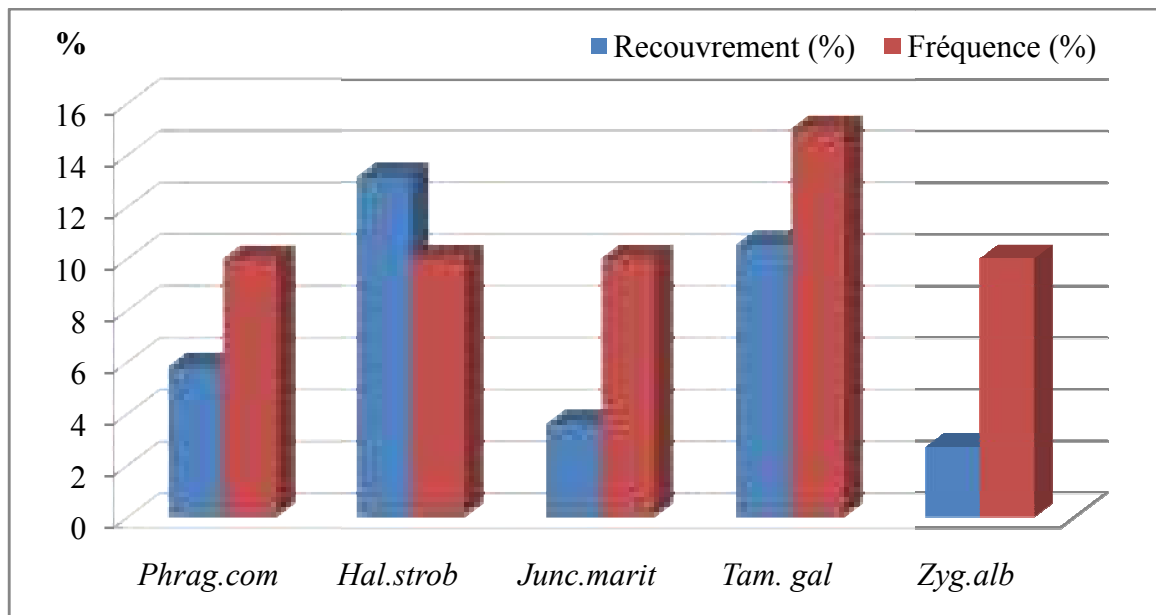


Figure 28. Recouvrements et fréquences floristiques du Chott Sidi Slimane

➤ Témacine

Pour le lac Témacine, *Phragmites communis* et le *Juncus maritimus*, *Halocnemum strobilaceum*, et le *Tamarix gallica*, présentent un taux de recouvrement plus de 11 %. Ils sont classés à l'échelle 2. Les autres espèces *Suaeda fruticosa*, *Cynodon dactylon*, et *Sasola tetragona* sont classées à l'échelle 1. (Figure 29).

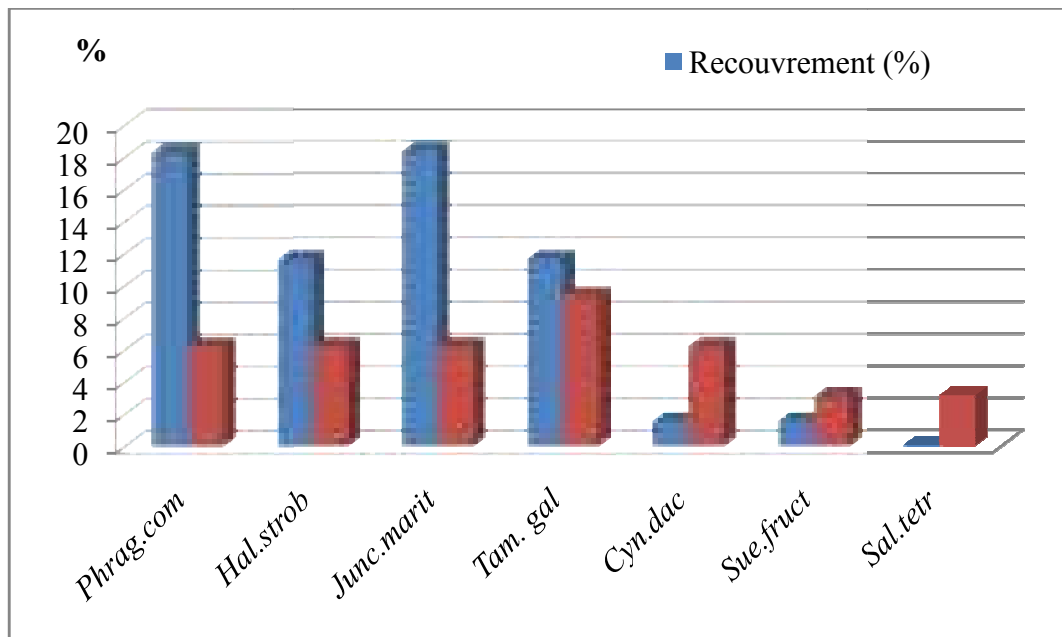


Figure 29. Recouvrements et fréquences floristiques du lac Témacine.

➤ Chott Baghdad

L'espèce *Tamarix gallica* est classée à l'échelle 3, avec plus de 41% de taux de recouvrement, ensuite vient le *Halocnemum strobilaceum* qui est classé à l'échelle 2, tandis que les autres espèces sont classées à l'échelle 1. (Figure 30).

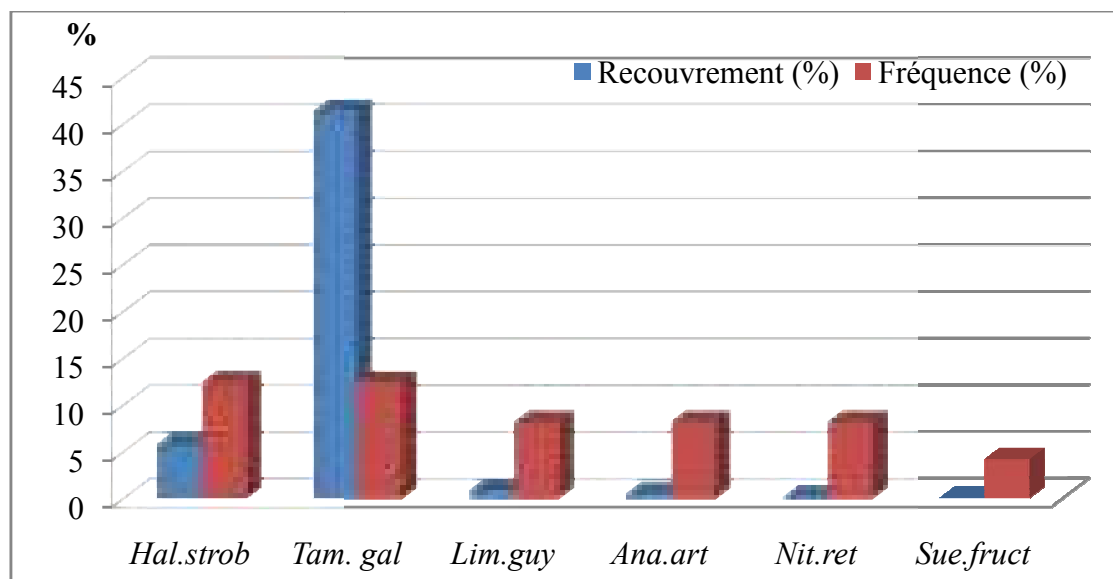


Figure 30. Recouvrements et fréquences floristiques du chott Baghdad

➤ Lac Elbheir

En ce qui concerne le lac Elbheir, nous avons remarqué qu'elle est dominée par la présence de *Tamarix gallica* et *Halocnemum strobilaceum*, avec un coefficient d'abondance-dominance classé à l'échelle 3 représentant ainsi plus de 33 % du taux de recouvrement (figure 31). Le *Phragmites communis* est classé à l'échelle 1.

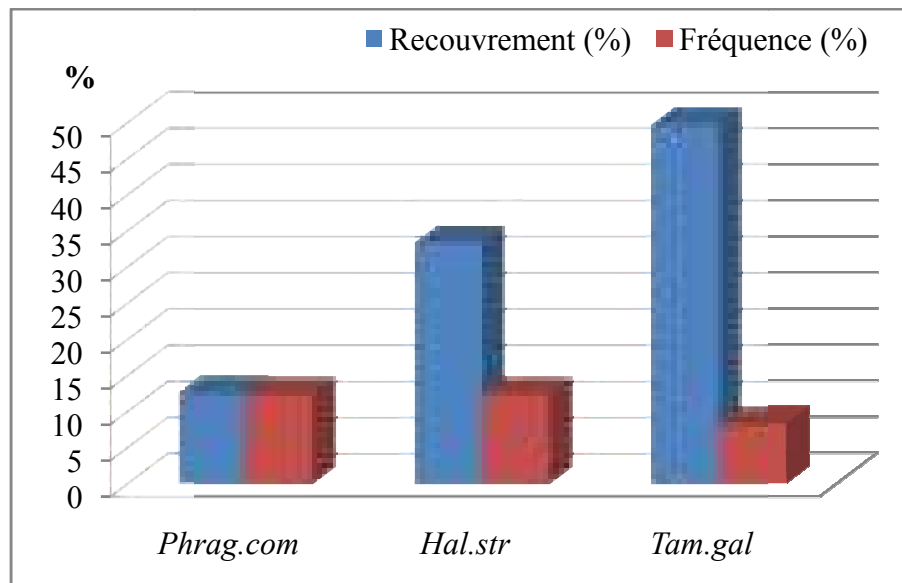


Figure 31. Recouvrements et fréquences floristiques du lac Elbheir.

➤ Chott Oum Erraneb

Le chott Oum El-Ranneb (figure 32), est dominé par la présence de *Halocnemum strobilaceum* et *Tamarix gallica* avec un coefficient d'abondance dominance de 3. Elles représentent un taux de recouvrement dépassant les 25 %. Les autres espèces *Cynodon dactylon*, et *Sueda fructicosa* sont classées à l'échelle 2.

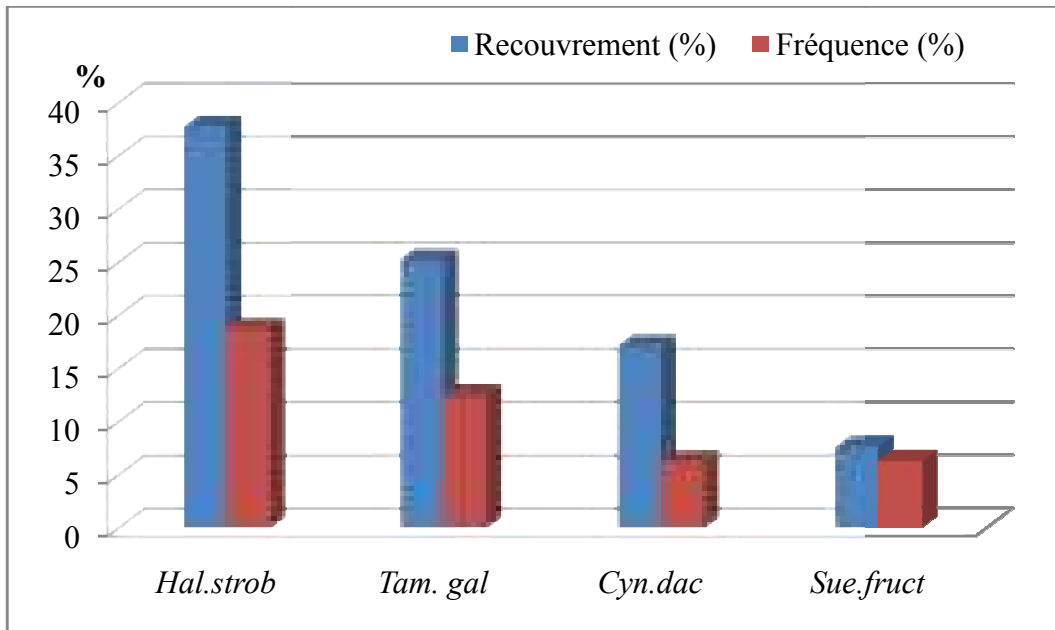


Figure 32. Recouvrements et fréquences du chott Oum Erraneb

➤ Lac Hassi Ben Abdellah

Le lac Hassi Ben Abdallah dominé par la présence *Juncus maritimus* classée à l'échelle 3 avec un taux de recouvrement de 30 %. Les autres espèces classées à l'échelle 2 avec des taux de recouvrement ne dépassant pas 15 % (figure 33).

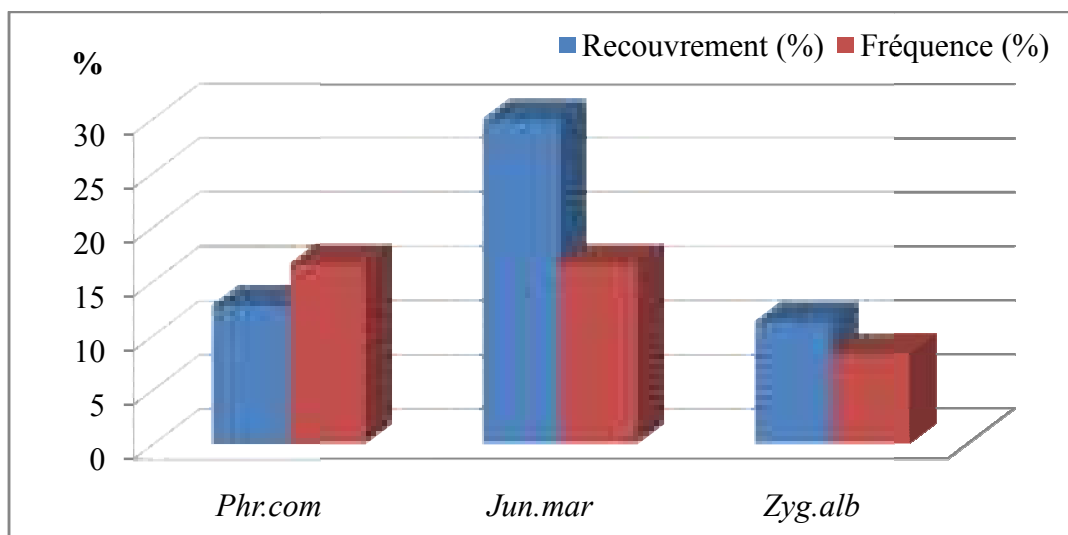


Figure 33. Recouvrements et fréquences floristiques du lac Hassi Ben Abdallah

➤ Chott Ain El Beidha

L'échelle de l'abondance-dominance appliquée aux espèces constituant le chott Ain El Beida montre que *Halocnemum strobilaceum* (figure 34), classée à l'échelle 3 et représentant à elle seule plus de 28 % du taux recouvrement. L'espèce *Phragmites communis* classée à l'échelle 2, ensuite en dernier lieu viennent *Tamarix gallica* et *Juncus maritimus* classées à l'échelle 1.

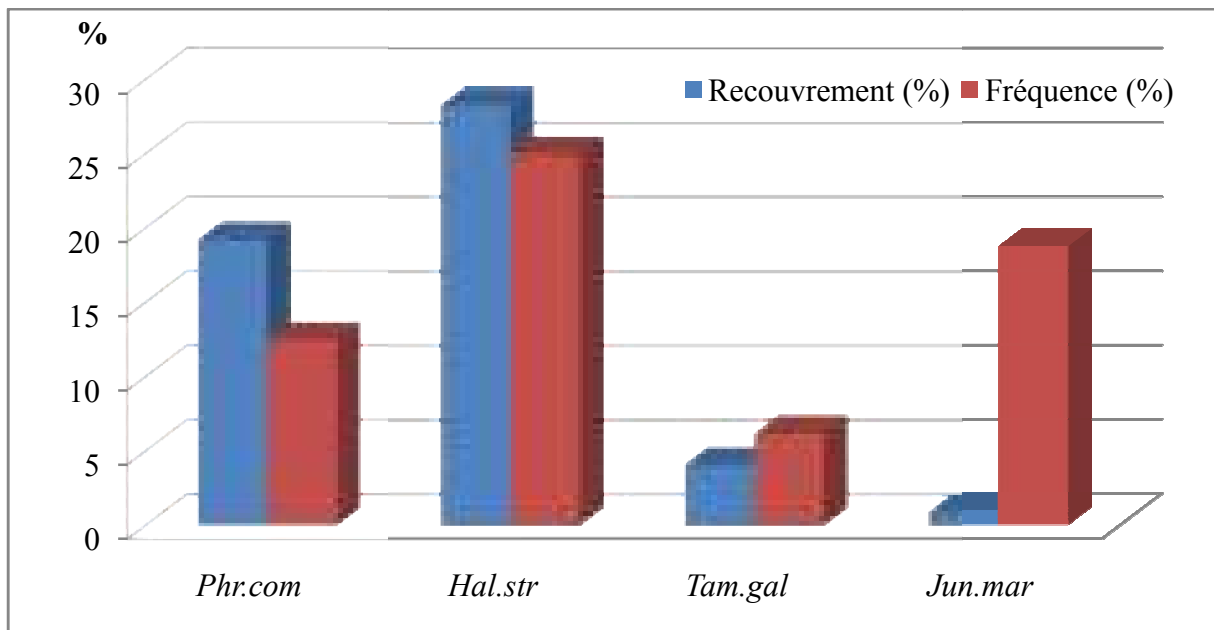


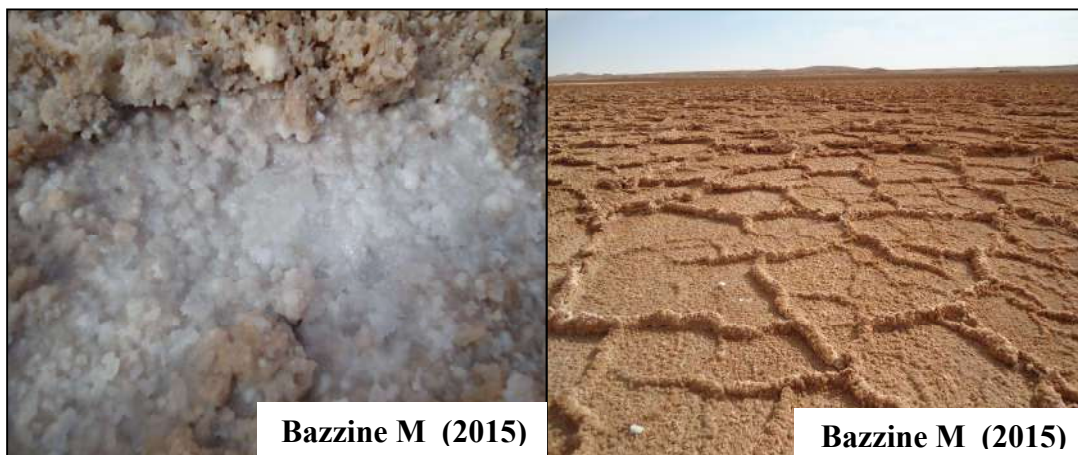
Figure 34. Recouvrements et fréquences floristiques du chott Ain Beidha

La majorité des espèces inventoriées sont soit des espèces à affinité halophytique (*Halocnemum strobilaceum*, *Salicornia fruticosa*, *Suaeda fruticosa*); soit des plantes hydrophytes représentées notamment par des espèces caractéristiques telles *Phragmites communis*, *Juncus maritimus* et *Tamarix gallica*. La présence de ces deux catégories d'espèces est un bon indicateur des habitats humides salés. La présence des halo-gypsophiles (*Zygophyllum album* et *Limoniastrum guyonianum*) indique l'hétérogénéité des sols des écosystèmes aquatiques. La composition spécifique de la flore terrestre rencontrée dans les zones humides de la région de l'Oued Righ est hétérogène; elle change d'une zone à l'autre, voire dans le même habitat. A cet effet, la recherche de la dynamique de la végétation des zones humides serait en mesure de révéler des stratégies adaptatives très intéressantes chez la flore du Sahara.

II.3. Etude du sol

III.3.1. La structure du sol

La structure d'un sol se définit comme le mode d'arrangement des différentes particules solides (sables, limons, argiles, matières organiques) du sol et la conséquence de cet assemblage (formation d'agrégats). La structure du sol au niveau des écosystèmes étudiées varie d'une région à une autre voire dans la même région. La photo 07, représente l'état de surface du sol au niveau du chott Baghdad et lac Elbheir. Les écosystèmes aquatiques sont caractérisés par une structure lamellaire fine à moyenne (épaisseur 3mm à 4cm) auprès du plan d'eau et particulière dans les environs.



Chott Baghda

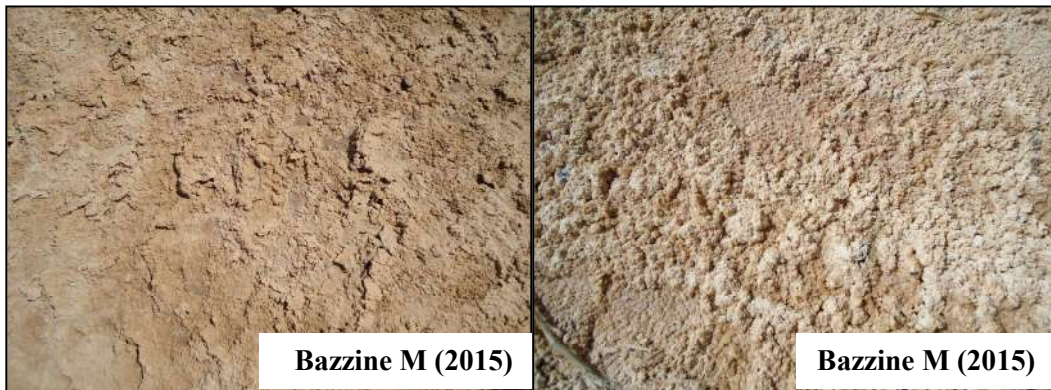


Lac Elbheir

Photo 07. Etat de surface des sols étudiés dans la région d'El Hadjira

En ce qui concerne la région de l'Oued Righ, la structure du sol est lamellaire fine dont l'épaisseur varie entre 3 à 5 mm (photo 08).

Les croûtes sont donc apparues comme une caractéristique essentielle de la surface des sols arides. Mais celle-ci comprend également bien d'autres éléments. Par exemple: des pavages de cailloux et de graviers. Des placages de sable. Des efflorescences salines. Ces différents composants ont aussi un impact sur l'infiltration, le développement des plantes, la sensibilité du sol à l'érosion hydrique ou à la déflation.



Témacine

Sidi Slimane



Ayata

Oued Khrouf



Chott Merouane

Photo 08. Etat de surface des sols étudiés dans la région d'Oued Righ

La structure du sol des écosystèmes aquatiques étudiés au niveau de la région de Ouargla est particulière (élémentaire) pour Oum Erraneb, et hassi Ben Abdellah, elle est lamellaire au niveau du chott Ain El Beidha (Photo 09).



Oum Erraneb

Chott Ain Beidha



Hassi Ben Abdellah

Photo 09. Etat de surface des sols étudiés dans la région d'Ouargla

On parle de structure particulière quand les particules constitutives du sol n'ont aucune adhérence entre elles. Cette structure n'existe que dans les horizons très sableux. Les structures particulières sont défavorables par leur manque en colloïdes (argile et humus) : les sols seront alors chimiquement pauvres.

Si les éléments sableux sont grossiers, le sol ne retient ni l'eau ni les minéraux solubles, il est filtrant. Si les éléments fins dominent, ils ont tendance à s'engrener les uns dans les autres, rendant le sol battant et imperméable. Dans les deux cas le sol est sensible à l'érosion.

Les structures, dont les lamelles sont d'épaisseur variable (du 3 mm à 4 centimètres) sont d'origine variée. Il peut s'agir :

- D'un héritage de la structure de la roche ;
- Du résultat de certaines des fortes accumulations monominéral qui se produisent dans de nombreux sols : ces accumulations de calcaire, de fer, de silice... etc, donnent naissance à des croûtes dont la structure est fréquemment lamellaire, résultant d'une fissuration horizontale des masses accumulées.
- De résultat de la destruction par les pluies ou par des irrigations mal conduites, des agrégats arrondis ou anguleux de la surface du sol ; il se forme une croûte de battance de fine épaisseur à structure lamellaire.

Les structures lamellaires sont toujours un obstacle à la pénétration verticale de l'eau et au développement des systèmes racinaires comme c'est le cas du chott Baghdad où aucune plante ne se développe au centre du chott, puisque une croûte dure et épaisse le recouvre, les plantes n'apparaissent que dans les environs où la structure devient particulière.

Les structures lamellaires facilitent la circulation latérale des eaux quand elles se forment à la surface du sol (croûtes de battance), cela signifie que le sol est fragile du point de vue structural. La formation d'une croûte de battance facilite le ruissellement des eaux et augmente ainsi l'érosion des sols.

III.3.2. Composition granulométrique

Le résultat de l'analyse granulométrique permet de définir la texture d'un sol à partir des mesures de pourcentage de ses divers constituants (argile, limon et sable). Avec cette analyse, nous pouvons expliquer les propriétés physiques du sol, c'est à dire son comportement vis-à-vis de l'eau, de l'air et des racines.

Dans le cas où le sol est composé des sables fins et des limons, ceux-ci rendent le sol battant et asphyxiant permettant un tassement du sol. Un sol argileux par contre assure la plasticité, l'adhésivité et l'aptitude de changer de volume en fonction de l'humidité.

Les analyses granulométriques des sols étudiés montrent en général une prédominance de la texture sableuse, riche en fractions sableuses fines (figure 35). Le taux de sable peut dépasser 80 % dans certains endroits (Sidi Slimane, Témacine, Elbheir, Chott Baghdad et Oum Erraneb). Le taux de limon et d'argile est variable, la valeur la plus élevée est enregistrée au niveau de lac Ayata avec un taux de 61%, et le minimum est enregistré au niveau du sol de Sidi Slimane, Oum Erraneb, et Chott Baghdad avec respectivement (10%, 11% et 12%).

Les résultats d'analyses granulométriques (figure 33) des sols des zones humides étudiées montrent qu'elles sont caractérisées par des sols à prédominance de la texture sableuse, riche en fractions sableuses fines qui peuvent dépasser les 70% (sols de lac Mégarine). En effet, dans la région de l'Oued Righ, les chotts représentent les zones les plus basses de la vallée et jouent le rôle de cuvettes de décantation. Les sols de ces dépressions sont de texture grossière, à dominance sableuse mais pouvant comporter de fines particules plus limoneuses (**CDARS, 1998**). Selon **Khadraoui (2007)**, la texture des sols dans la vallée est très grossière et la teneur en sable fin et grossier peut dépasser les 90%. Les sols des chotts d'Ain El Beida et Oum El-Ranneb sont caractérisés par des teneurs de fractions fines (limon + argile) supérieures à 20%. **Hamdi-Aissa (2001)** a indiqué que sur les sols de la dépression, la masse basale argileuse présente un aspect poussiéreux. Elle est constituée d'un mélange de micrite détritique et de quelques paillettes de micas. **Rouvilois-Brigole (1975)** a noté que la région de Ouargla est caractérisée par des sols légers à prédominance sablonneuse et à structure particulière avec quelques exceptions.

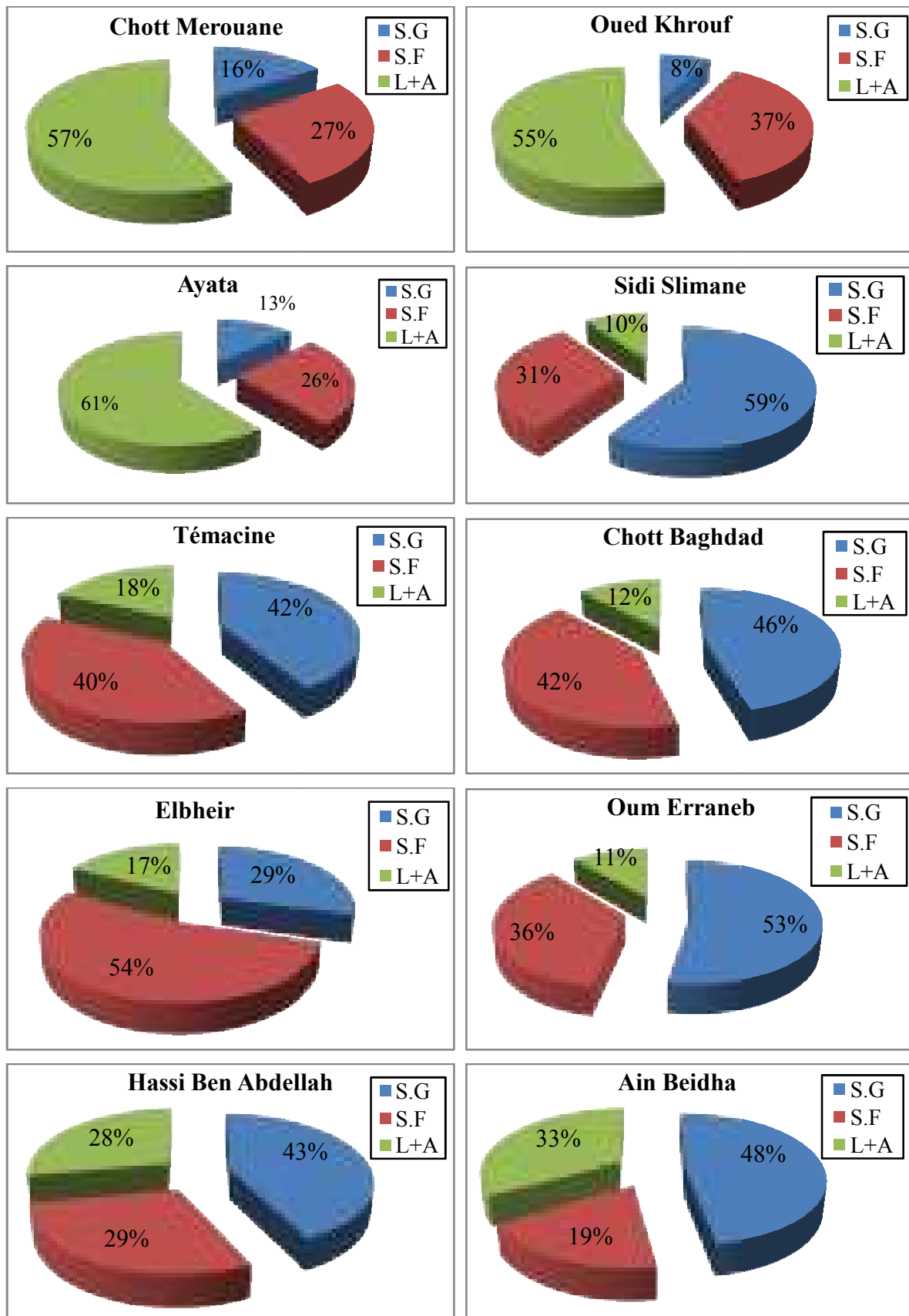


Figure 35. La composition granulométrique des sols des écosystèmes aquatiques étudiés

III.3.3. Le pH

La mesure du pH (potentiel hydrogène) d'un sol permet de définir son état d'acidité ou d'alcalinité (ou statut acido-basique).

Les analyses des sols des écosystèmes aquatiques étudiés montrent que selon l'échelle de **Morand (2001)**, ils sont caractérisés par des sols neutres à alcalins avec un pH variant de 7.2 (Sidi Slimane) à 8,8 (Oum Erraneb) (figure 37). La différence entre les stations est non significative ($P > 0.0001$). En effet, selon **Khadraoui (2007)**, les sols halomorphes de la région de l'Oued Righ ont un pH souvent alcalin, résultant surtout d'une importante teneur en gypse.

La valeur du pH détermine les comportements physiques (stabilité de la structure, résistance à la battance...), chimiques (fonctionnement de la CEC, assimilabilité du phosphore, biodisponibilité des oligo-éléments et micro éléments...) et biologiques (humification et minéralisation des matières organiques) du sol. Cette valeur du pH est soumise à des variations saisonnières. Elle varie avec l'état hydrique du sol, la température, la présence ou non d'une culture en période de croissance active soit avec les saisons. Ainsi le pH a tendance à baisser en saison sèche (acidité) et à augmenter en hivernage (basicité). Ces variations qui peuvent atteindre et parfois dépasser un (01) point de pH s'expliquent notamment par : la production d'acides organiques en période de forte activité biologique, favorisée par la chaleur et l'humidité du sol ; la dilution des ions H^+ sous l'effet des pluies plus intenses de l'hivernage.

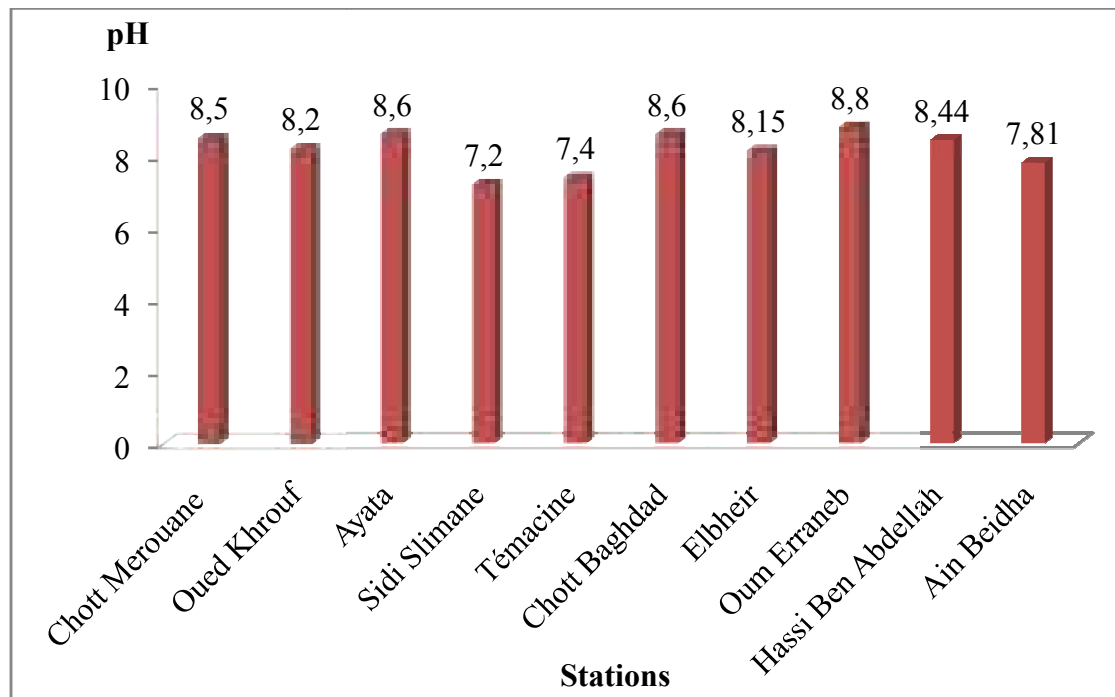


Figure 36. Variation du pH dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés

III.3.4. L'humidité du sol

D'après la figure 37, on remarque que le taux d'humidité est élevé dans l'ensemble des stations d'étude il dépasse (13 %), qui est expliqué par la présence d'une nappe phréatique proche de surface. Les sols du lac Ayata et du chott Sidi Slimane sont les plus humides ($H > 27\%$). Ensuite vient les sols des lacs Oued Khrouf, Témacine et Hassi Ben Abdellah avec un taux d'humidité qui dépasse 20%. Le taux d'humidité des sols des chotts Baghdad, Merouane et Ain Beidha ainsi que le lac Elbheir est de l'ordre de 19%. En dernier, vient le sol du chott Oum Erraneb avec un taux d'humidité de 13%.

La variation du taux d'humidité entre les stations est non significative ($P > 0,0001$), cette variation peut être expliquée par la variation de la texture et la structures des sols, la présence d'une croûte gypseuse qui bloque l'infiltration des eaux et le niveau des eaux de la nappe phréatique.

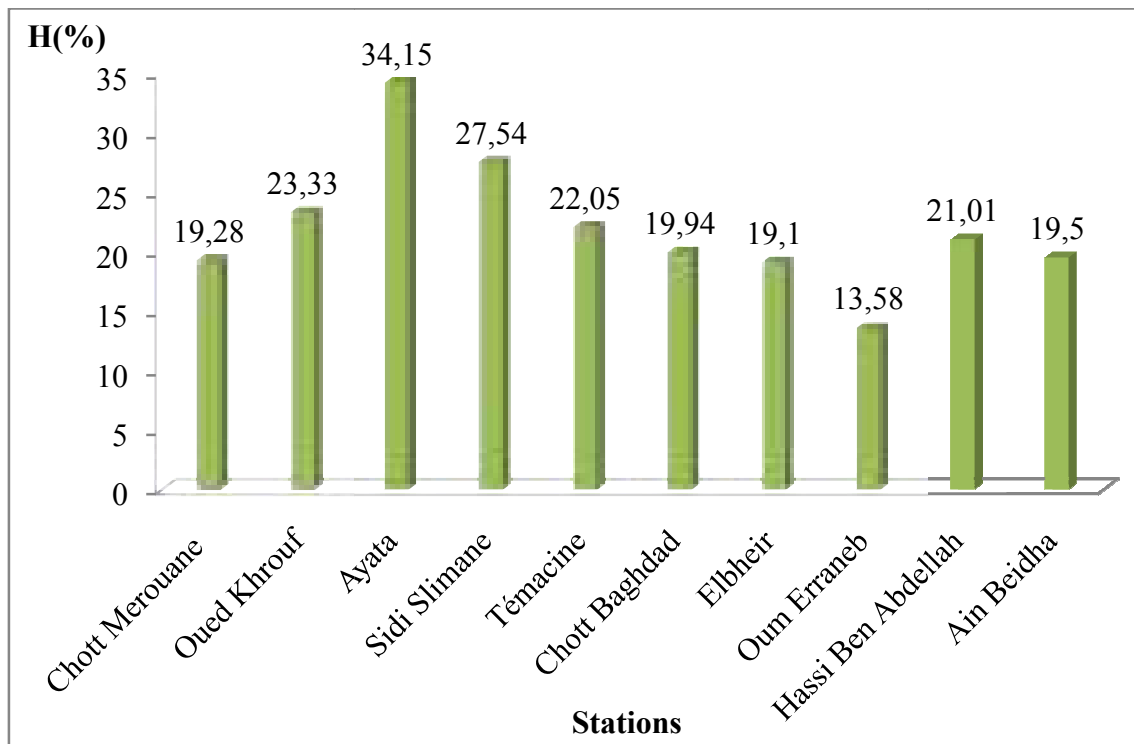


Figure 37. Variation d'humidité dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés

L'humidité du sol varie d'une station à l'autre, voire au niveau de la même station (entre les sous stations). D'une façon générale elle diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne du plan d'eau, les sous stations qui sont en contact avec l'eau sont les plus humides, en s'éloignant du plan d'eau la profondeur de la nappe phréatique augmente et le sol devient beaucoup plus sec.

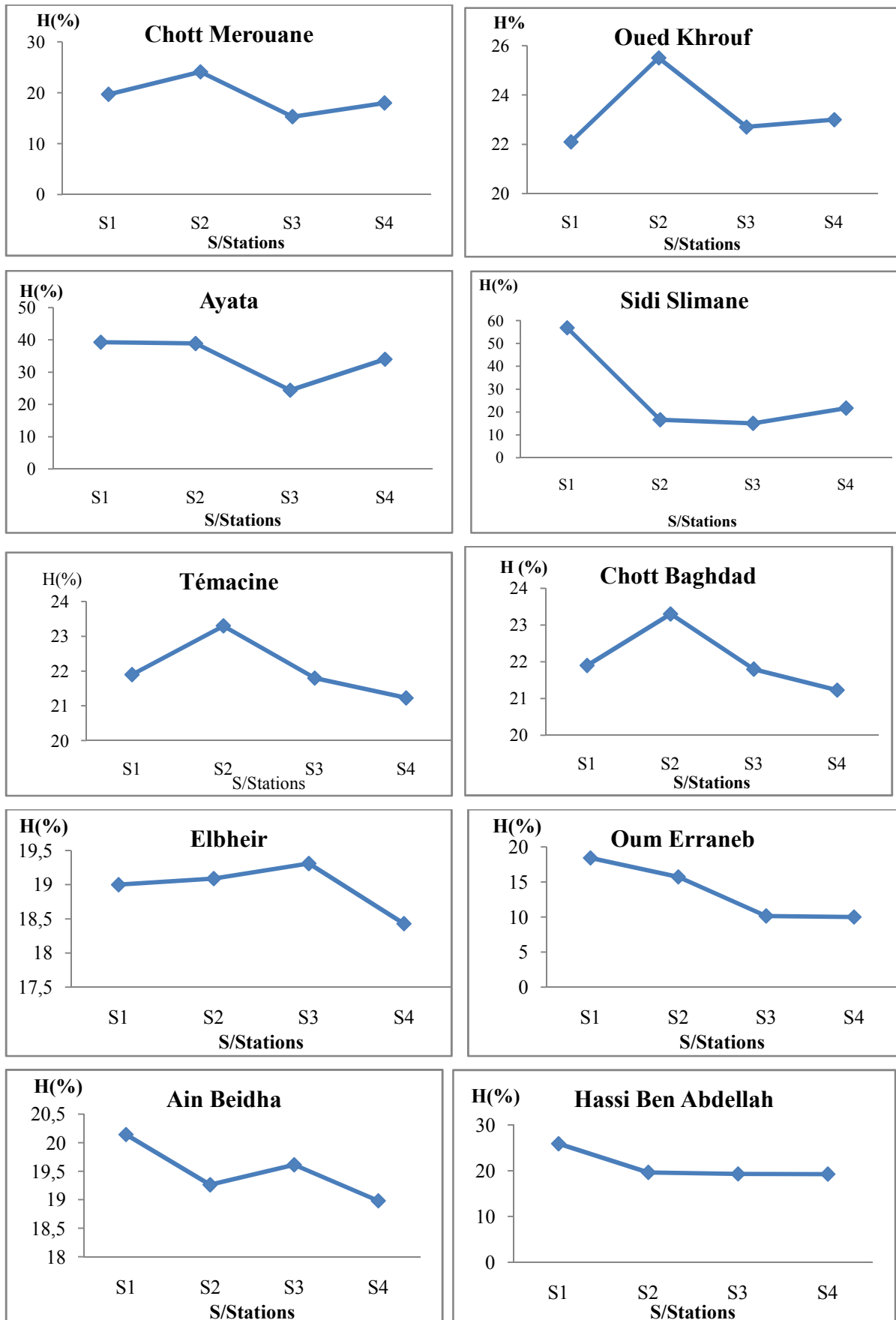


Figure 38. Variation de l'humidité du sol selon les sous stations étudiées

III.3.5. La conductivité électrique

La conductivité électrique des sols détermine leur degré de salinité. Cette salinité se traduit par un comportement différent des cultures vis-à-vis des classes de salinité. L'échelle de Durand J.H. (tableau) a été utilisée pour indiquer la classe de salinité des sols sur extrait 1/5.

D'après la figure 39, la conductivité électrique la plus importante est enregistrée au niveau des sols des Chotts Sidi Slimane et Ain Beidha ainsi que le lac Témacine, ensuite viennent les sols du chott Baghdad et lac Elbheir. Après on trouve les sols des chotts Merouane, Oum Erraneb et, du lac Hassi Ben Abdallah, le minimum est observé dans les sols des lacs Oued Khrouf et Ayata.

Les résultats d'analyses des sols des écosystèmes aquatiques étudiés montrent qu'ils sont caractérisés par une conductivité électrique supérieure à 2 dS/m (figure 39). Ces sols sont classés comme des sols salés (Oued Khrouf et Ayata avec CE égale à 2.45 et 3.43 dS/m), très salés (chott Merouane, chott Oum Erraneb et lac Hassi Ben Abdallah avec des valeurs de CE 5.63, 5.47 et 5.43 dS/m) à extrêmement salés (pour le reste des écosystèmes aquatiques avec CE pouvant atteindre 44.86 dS/m comme valeur maximale au niveau du chott Ain Beidha). Nos résultats sont similaires à ceux de **Youcefi (2011)** et **Koul (2015)**, qui indiquent que le sol du chott Ain El Beida est extrêmement salé et le sol du lac Hassi Ben Abdallah est très salé.

La variation de la conductivité électrique dans les sols étudiés est significative, en effet, la variabilité de la salinité des sols entre les stations est fonction des caractéristiques hydro-pédologiques et géomorphologiques par rapport aux axes naturels d'écoulement et de concentration des eaux. Le caractère de la salinité des sols peut varier d'une façon quantitative et qualitative surtout en présence d'un plan d'eau en relation étroite avec la dynamique des nappes saumâtres imposées par les conditions géomorphologiques et climatiques de la région (**Khadraoui, 2007**).

Les paramètres « nappe-sol-salinité-évaporation » sont intimement liés et le plus souvent la courbe linéaire de la salinité dans un graphique est inversement proportionnelle au plan d'eau (niveau hydrostatique de la nappe phréatique) ; lorsque le niveau de la nappe décroît (drainage naturel) la salinité de l'eau et du sol augmentent principalement en surface (concentration).

Par contre, lorsque le niveau d'eau augmente vers la surface du sol la salinité des eaux et des sols diminuent (**Khadraoui, 2007**).

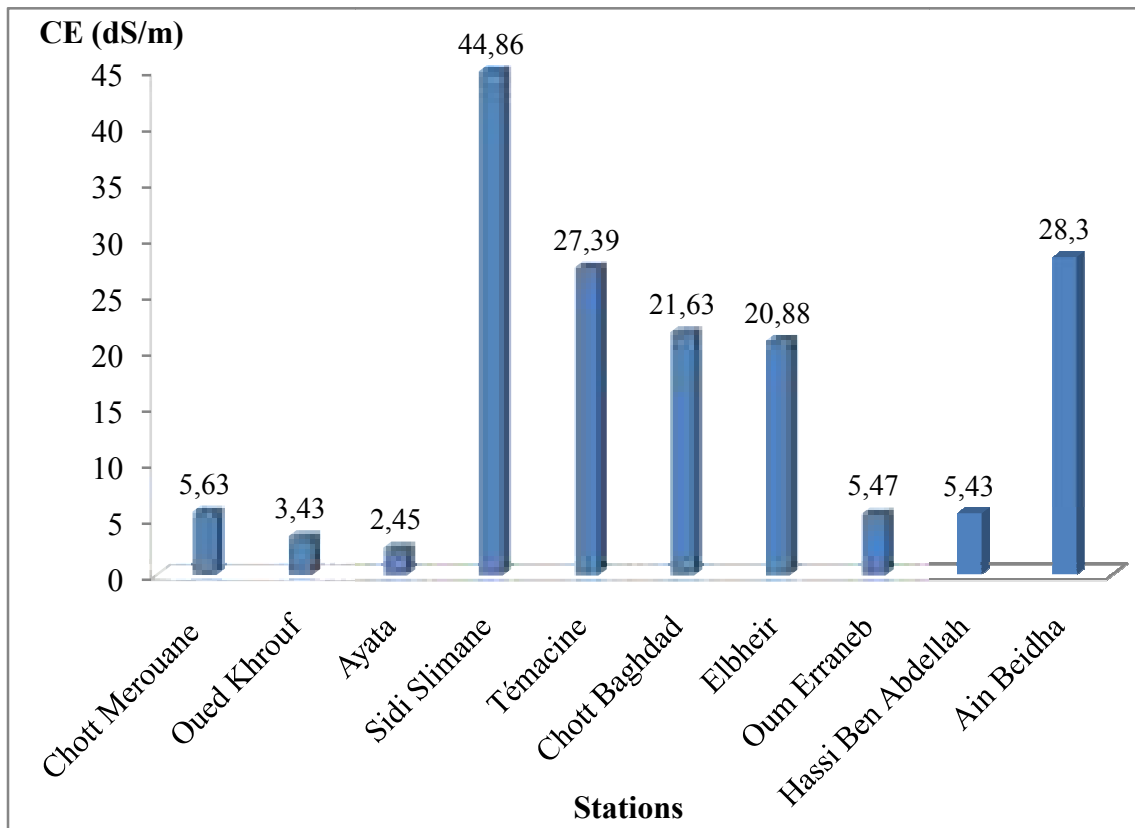


Figure 39. Variation de la conductivité électrique dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés

III.3.6. Les sels solubles

La figure 40, représente le pourcentage des ions (Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} et K^+) dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés. Leur teneur varie d'une station à l'autre mais, d'une façon générale on remarque la dominance de sodium (Na). Donc la salinité est de type chloruro-sodique pour les sols du chott Oum Erraneb et sulfaté sodique pour les chotts Ain Beidha, Sidi Slimane et Merouane, ainsi que les lacs Hassi Ben Abdellah et Témacine. Pour les sols étudiés qui restent la salinité est sodique.

En effet, la teneur en sels solubles des différents horizons d'un sol salé, est très variable d'un sol à l'autre, et, pour un même sol, d'une saison à l'autre. Cependant ces variations sont dues

à un certain nombre de facteurs, climatiques, topographiques, biotiques, tels que les caractéristiques des sols et des sels, la présence ou absence d'une nappe phréatique salée etc ... (Aubert, 1976).

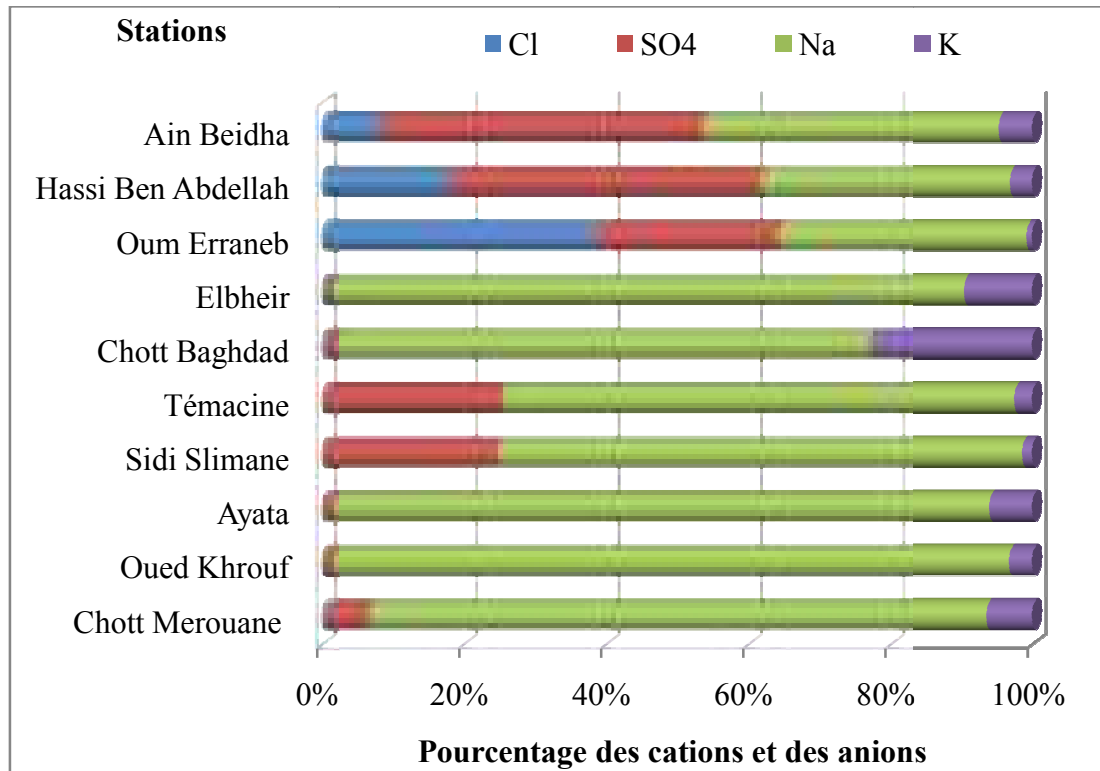


Figure 40. Variation de la teneur en cations et anions dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés

Les sols sodiques sont des sols affectés par la salure sous la dominance de l'ion sodium (cas des sols étudiés), génétiquement ils constituent deux sous classes très différentes les sols salins, où le sodium se trouve sous forme de sels solubles et les sols à complexe sodique, où les sels solubles sont peu abondants.

Ce sodium peut avoir une double origine :

- Soit de chlorure de sodium existant dans une nappe salée ;
- Soit le sodium libéré par l'altération d'une roche sodique.

Aussi une trop forte quantité de sels dans le sol va-t-elle avoir un effet défavorable sur les plantes et sur le sol lui-même. Le sel empêche les plantes de s'alimenter normalement en eau même lorsque le sol est bien arrosé.

III.3.7. Le gypse

Élément très fréquent dans les sols salins et dans les formations des régions arides et semi-arides, le gypse est plus soluble que le calcaire et le bicarbonate de calcium ; il donne ainsi des phénomènes de dissolution et de représentation analogues à ceux du calcaire, mais dans lesquels le gaz carbonique n'intervient pas (solubilité moyenne de 2g-2,5g/l d'eau). Il est souvent associé aux sels de magnésium et de sodium dans les efflorescences et les pseudo-mycéliums des sols et des formations prés-citées.

Sa solubilité est non négligeable, sa densité est plus faible que celle des constituants minéraux habituels des sols et il possède une grande facilité de déshydratation et de réhydratation.

La figure 41 représente la variation de taux de gypse dans les sols des stations étudiées. Le maximum est enregistré au niveau du sol de Chott Merouane (plus de 60 %), ensuite viennent les sols de lac Témacine, chott Sidi Slimane et lac Hassi Ben Abdelah. Le taux de gypse le plus faible est enregistré pour les sols des chotts d'Ain Beida et Oum Erraneb. La variation entre les stations est significative.

Selon l'échelle de **Barzandji (1973)**, les sols des chotts Oum Erraneb et Ain Beidha sont classés comme étant des sols légèrement gypseux, les lacs Oued Khrouf, Ayata et Elbheir ainsi que le chott Baghdad ont des sols modérément gypseux, les sols des écosystèmes aquatiques étudiés qui restent sont classés comme extrêmement gypseux.

Selon **Boumaraf (2013)**, Dans la vallée de l'oued Righ, l'origine du gypse est due essentiellement à l'influence de la nappe sub-affleurante trop chargée en sels solubles et à l'intensité de l'évaporation qui peut atteindre dans la région de chott Merouane 2712.64mm/an. Un autre facteur non négligeable est aussi responsable de cette distribution, c'est le vent, caractéristique climatique actuelle des régions sahariennes.

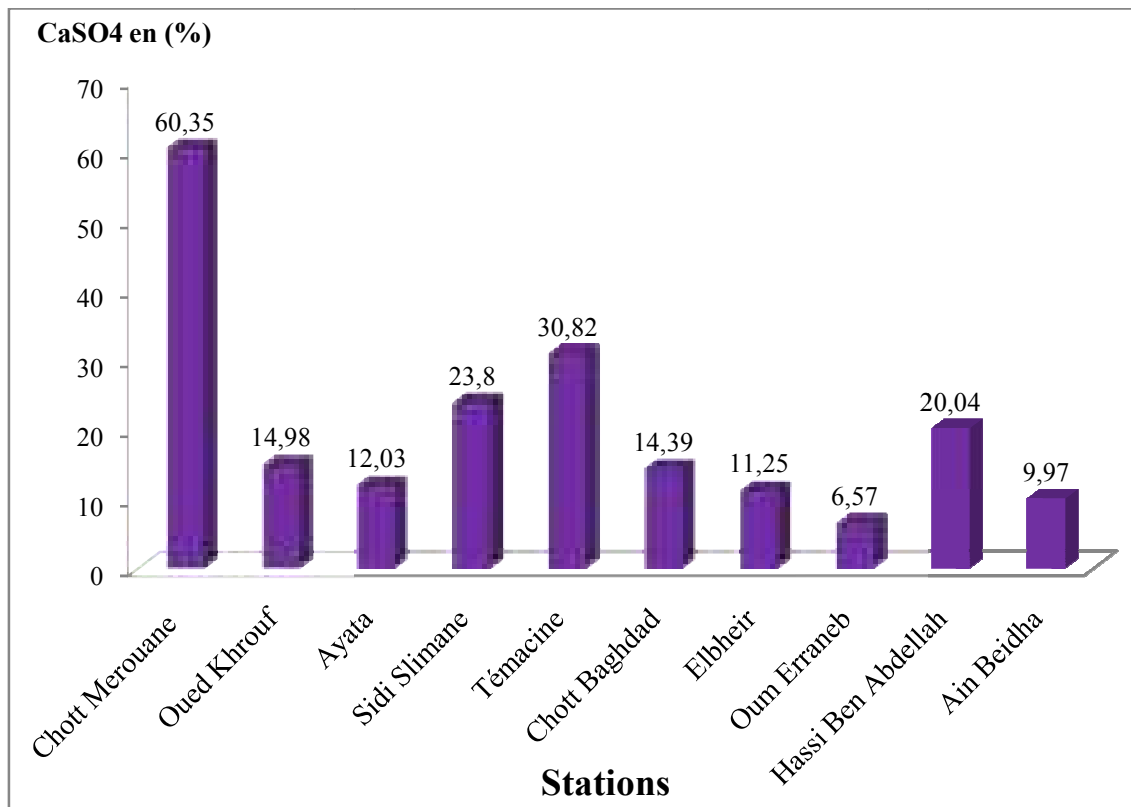


Figure 41. Variation de la teneur en gypse dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés

III.3.8. Le calcaire

Le calcaire peut se trouver dans le sol à l'état de fragments de dimensions quelconques depuis les blocs et les graviers jusqu'à la taille des colloïdes anguleux. Généralement, les fragments sont des parties de la roche-mère qui ont subsisté pour des raisons diverses et notamment grâce à une plus grande résistance aux agents de l'altération.

A côté de ces débris résiduels de la roche-mère, on peut trouver dans le même sol, des formes provenant d'une précipitation du calcaire précédemment maintenu à l'état dissous par les solutions du sol (pseudo-mycélium, nodules, etc ...).

Il peut se produire également que le calcaire n'existe pas initialement dans les horizons du sol (roche-mère non calcaire) mais, qu'il ait été apporté dans le profil en surface par colluvionnement à l'état fragmentaire, par ruissellement à l'état dissous, en profondeur par

précipitation du bicarbonates de calcium dissous dans la nappe phréatique, quand, celle –ci remonté en saison humide dans les horizons proches de la surface et enfin par apport éolien.

Dans le sol, le calcaire est la source la plus fréquente de calcium, celui-ci étant fixé constitue le calcium échangeable du sol, il est donc fourni au complexe par les solutions du sol dans lesquelles il se trouve à l'état de bicarbonates (provenant du calcaire) mais aussi de sulfates et parfois de nitrates.

Le calcaire remplit dans le sol plusieurs fonctions et il est d'autant plus actif et efficace (voire toxique) qu'il se trouve à un degré de finesse plus avancé. A l'état de graviers et de sable grossier, il s'agit surtout comme élément granulométrique, mais aussi comme réserve en calcium en général assez facilement mobilisable. Mais au sein du calcaire total c'est surtout à l'état de très fines particules susceptibles de se solubiliser rapidement sous forme de bicarbonates qu'il intervient dans les propriétés physiques, chimiques et biologiques. des sols c'est le calcaire actif.

Comme le calcium provoque la floculation des colloïdes argileux et humiques, le calcaire du sol est un élément favorisant la stabilité de la structure et la perméabilité, on sait que l'humus calcique est le meilleur ciment des agrégats.

Le calcaire fournit d'autre part aux végétaux le calcium nécessaire à l'édification de leurs tissus.

Les résultats d'analyses des sols des écosystèmes aquatiques étudiés montrent qu'ils ont des taux de calcaire qui varient entre (2 à 58%) ; selon l'échelle de Baise (1998), le sol du Chott Oum Erraneb est peu calcaire (2.08 %), alors que les sols du Chott Merouane et lac Ayata sont modérément calcaires (12.18 et 12.1 %), le sol de lac Témachine est fortement calcaire (42.15%), tandis que le sol du Chott Sidi Slimane est classé comme étant très calcaire avec un taux de 58.03% (figure 42). La différence est très hautement significative entre les stations ($P < 0,0001$) est expliquée par la qualité des eaux phréatiques et les conditions édaphiques (types de sels solubles) propres à chaque station.

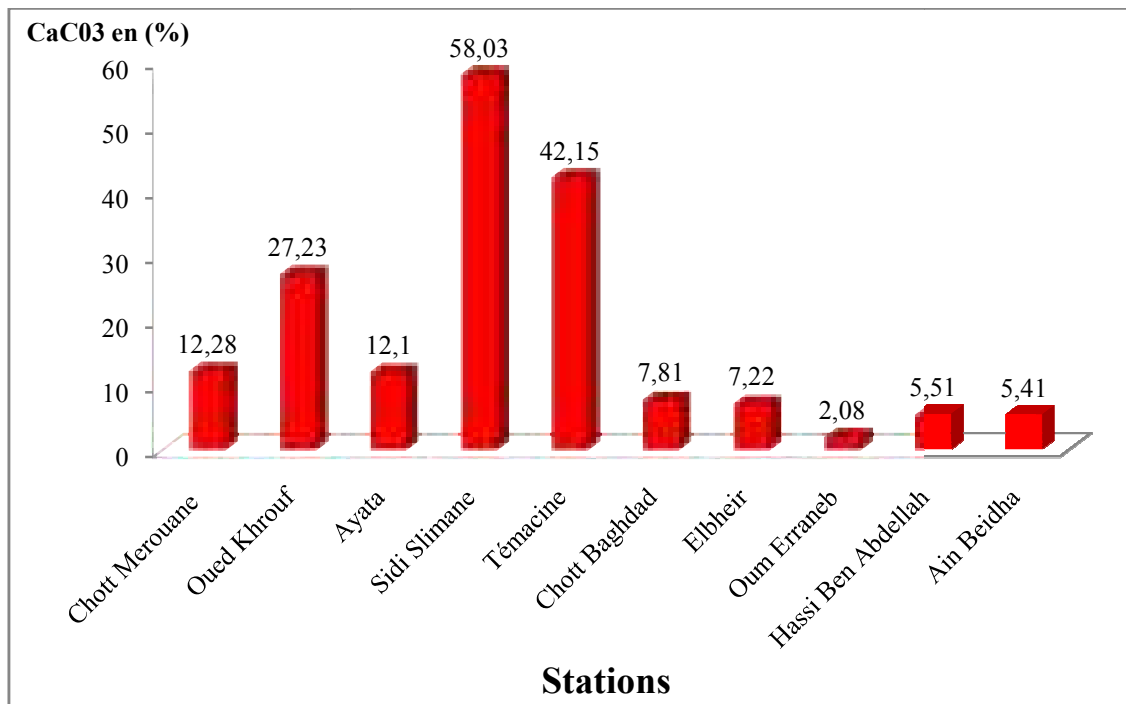


Figure 42. Variation de la teneur en calcaire dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés

III.3.8. La matière organique

Les résultats obtenus sont représentés dans la figure 43, après analyse des échantillons de sol montrent des valeurs de matière organique qui sont inférieures à 5%. Cependant, cela illustre plus la faiblesse de la teneur en matière organique des sols étudiés. Le taux le plus élevé est noté pour les sols du chott Merouane, lac Oued Khrouf et Chott Ain Beidha (avec des taux de MO de 4.5, 4.46 et 4.14 %), qui sont classés comme étant riches en matière organique, cette richesse est due à la présence des crottes des oiseaux et aux rejets des eaux usés dans ces milieux aquatiques, ensuite viennent les sols des lacs de Témacine, Hassi Ben Abdellah, Ayata et chott Oum Erraneb et Sidi Slimane avec des taux qui dépassant 2%, ils sont classés comme moyennement riches en matière organique, et en dernier lieu viennent les sols de Elbheir et du chott Baghdad qui sont pauvres en matière organique avec un taux de 1.94 et 1.42 % successivement.

D'une manière générale, nous remarquons une diminution significative de la matière organique tout en s'éloignant du plan d'eau, du fait que les dernières placettes sont dépourvues de végétation.

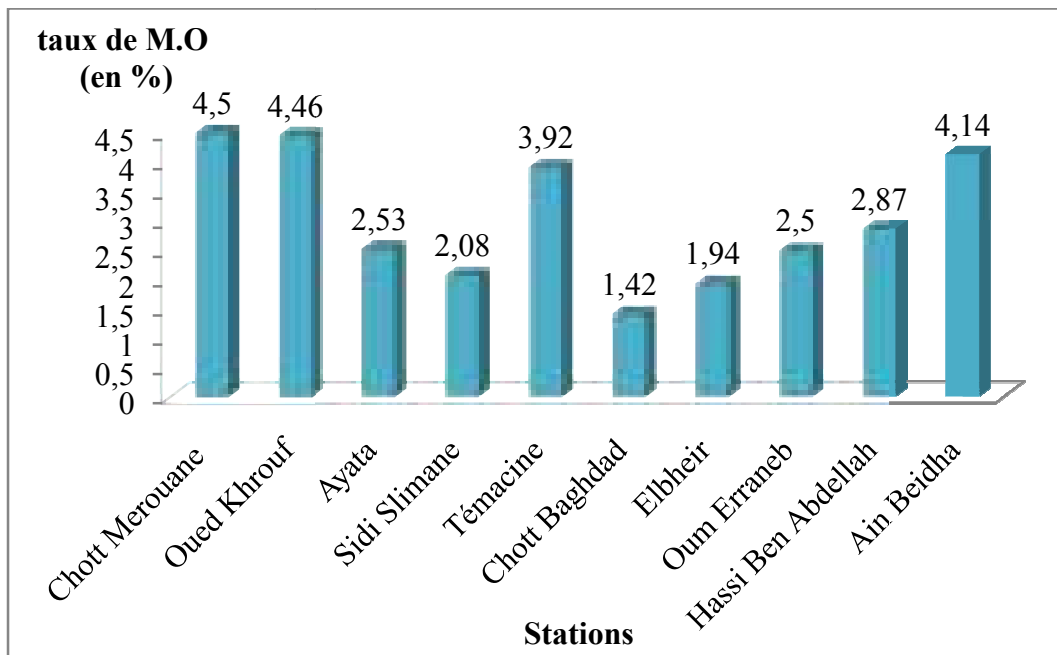


Figure 43. Variation de la teneur en matière organique dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés

Les matières organiques jouent un rôle important dans le fonctionnement global du sol, au travers de ses composantes qui définissent la notion de fertilité. Elles sont essentiellement décrites par les teneurs en Carbone et en Azote. Les matières organiques jouent un rôle physique, biologique et chimique au niveau des sols. L'évolution de la matière organique incorporée au sol s'accompagne d'une diminution progressive du rapport C/N jusqu'à des valeurs de 10 environ.

III.3.10. L'azote total

L'azote total d'un sol constitue la réserve globale, d'azote contenu dans l'humus, réserve dont la rapidité de mobilisation (par minéralisation) est très variable suivant le type d'humus.

La teneur en azote total est un bon indice de fertilité, condition d'être interprétée en fonction du rapport C/N, l'intérêt du résultat, généralement limité aux horizons de surface du sol, est ainsi d'avantage perçu à travers ce calcul du rapport C/N que, dans la pratique, celle de l'azote minéral.

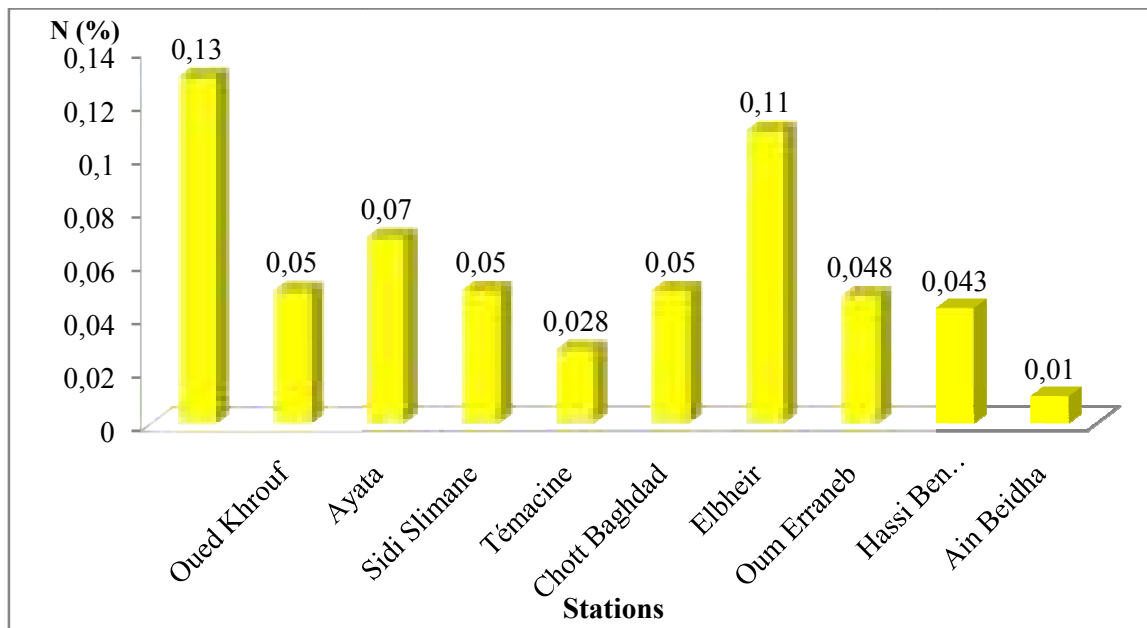


Figure 44. Variation de la teneur en azote dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés

Les sols des écosystèmes aquatiques étudiés sont pauvres en azote, les maximums (0,13 et 0,11%) sont enregistrés respectivement au niveau des sols du chott Merouane, et lac Elbheir et le minimum est enregistré dans les sols de Témacine et Ain Beidha. Les teneurs faibles en azote dans les sols étudiés sont dues à la pauvreté et parfois l'absence du couvert végétal.

III.3.11. Le rapport C/N

C/N : le rapport carbone/azote du sol est un indicateur du plus ou moins bon fonctionnement du sol. La classification des rapports C/N dans les sols est définie dans le projet PNUD/FAO Gui 72/004 comme suit :

- satisfaisant si C/N est inférieur ou égal à 10
- un peu élevé si C/N est compris entre 10 et 12
- assez élevé si C/N est compris entre 12 et 15
- élevé si C/N est supérieur à 15.

Les résultats de l'analyse du sol montrent que le rapport C/N est généralement élevé dans les sols des écosystèmes aquatiques étudiés (tableau 12).

Tableau 12. Les valeurs du rapport C/N des sols des écosystèmes aquatiques étudiés

	Chott Merouane	Oued Khrouf	Ayata	Sidi Slimane	Témacine	Chott Baghdad	Elbheir	Oum Erraneb	Hassi Ben Abdellah	Ain Beidha
C/N	16,61	123,8	21	57,6	81,42	16,4	10,18	30,20	38,60	240
Classification	élevé	élevé	élevé	élevé	élevé	élevé	Peu élevé	élevé	élevé	élevé

Les valeurs du rapport C/N élevées dans les sols des stations étudiées peut être interprétées par l'accumulation de la matière organique sous une forme non assimilable par les micro-organismes telluriques et ainsi par les plantes. Selon Koull (2015), la variation de la teneur en matière organique des sols des zones humides de l'Oued Righ et Ouargla durant toute l'année est non significative. Ceci peut s'expliquer par la stabilité du couvert végétal (plantes vivaces) qui apporte la matière organique au sol. Aussi, la dégradation de la matière organique est difficile dans ces conditions édaphiques très contraignantes à la vie microbienne (forte salinité et hydromorphie). Une forte salinité d'un sol ralentit la biodégradation des composés organiques et amplifie le transfert des fractions humiques.

III.3.12. Approche statistique des données des sols échantillonnés

Afin de faire une analyse plus profonde de nos résultats, nous avons privilégié une approche synthétique globale, grâce à la matrice des corrélations. Cette méthode permet d'étudier les sources indépendantes de la variabilité de tous les paramètres confondus, au lieu de les étudier paramètre par paramètre.

- **Matrice des corrélations**

Les résultats montrent que les corrélations sont positives et significatives entre Na⁺, Cl⁻, SO₄ et K (tableau 13). Habituellement dans le contexte de solutions salées, lorsque la concentration des solutions par évaporation est la principale source de variation de la qualité des solutions, il est fréquent d'obtenir des coefficients de corrélation plus élevés entre les éléments solubles tels que Na⁺, Cl⁻ comme il est le cas de nos stations. Ceci peut indiquer que, dans le cas des écosystèmes aquatiques étudiés, le déterminisme de la qualité des solutions est plus complexe et que les mécanismes impliqués sont plus

nombreux. Ce type de résultats devrait se traduire par une grande dispersion de la variance entre les différents axes factoriels.

Tableau 13. Matrice de corrélation (Pearson) des caractéristiques des sols étudiés

Variables	H	CE	pH	Cl	SO4	Na	K	MO	N	CaCO ₃	CaSO ₄	S.G	S.F	L+A
H	1													
CE	-0,039	1												
pH	-0,056	-0,697	1											
Cl	-0,351	-0,270	0,352	1										
SO4	-0,293	-0,090	0,174	0,631	1									
Na	-0,337	0,005	0,133	0,767	0,702	1								
K	-0,230	0,050	0,177	0,227	0,718	0,388	1							
MO	0,111	-0,230	-0,167	-0,006	0,061	-0,137	-0,005	1						
N	0,027	-0,166	0,221	-0,117	-0,280	-0,234	-0,273	0,064	1					
CaCO ₃	0,153	0,602	-0,766	-0,328	-0,362	-0,205	-0,421	0,067	-0,107	1				
CaSO ₄	0,009	-0,044	-0,165	-0,283	-0,291	-0,297	-0,264	0,411	0,452	0,218	1			
S.G	-0,161	0,608	-0,247	0,322	0,505	0,522	0,406	-0,340	-0,251	0,124	-0,225	1		
S.F	-0,191	0,054	-0,053	-0,029	-0,344	-0,092	-0,334	-0,294	0,083	0,062	-0,141	-0,101	1	
L+A	0,242	-0,562	0,288	-0,270	-0,283	-0,416	-0,200	0,458	0,206	-0,142	0,267	-0,827	-0,449	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification ($\alpha = 0.05$)

A la lumière des résultats présentées dans le tableau 13, on peut dire que :

- L'humidité du sol est en corrélation avec la conductivité l'azote et le gypse (très hautement significative), le pH (significative).
- La conductivité est en corrélation avec le Sodium (Très hautement significative), le Potassium, le gypse et le sable fin (significative).
- Le pH est en corrélation avec le sable fin (significative).
- Le chlore est en corrélation avec la matière organique et le sable fin (Très hautement significative).
- Le potassium est en corrélation avec la matière organique (Très hautement significative).

III.4. Etude des eaux des écosystèmes aquatiques étudiés

Les paramètres physico-chimiques fournissent des indicateurs sur la qualité de l'eau, mais elles sont sujettes à des variations par les activités anthropiques qui modifient les caractéristiques d'une eau.

III.4.1. La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau traduit l'aptitude que possède celle-ci à laisser passer le courant électrique. Le transport des charges se faisant par l'intermédiaire des ions contenus dans l'eau, il est logique d'admettre que la conductivité d'une eau sera d'autant plus importante que sa minéralisation est élevée.

Il existe donc une relation la teneur en sels dissous d'une eau et la résistance qu'elle oppose au passage du courant électrique. Cette résistance est également fonction de la température : elle est plus importante lorsque la température augmente

Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées dans les stations d'étude sont représentées dans la figure 45. Le maximum est enregistré au niveau des chotts Merouane et Baghdad avec une CE de 204,5 et 163, 37 dS/m respectivement, ensuite viennent les chotts Oum Erraneb et Sidi Slimane avec des valeurs de CE qui dépassent 80 dS/m, le lac Elbheir est caractérisé par une CE qui dépasse 50dS/m, tandis que les valeurs minimales de la CE sont enregistrées pour les écosystèmes aquatiques qui restent (Hassi Ben Abdellah, Oued Khrouf, Témacine, Ayata et Ain Beidha).

La salinité des écosystèmes étudiés est très élevée. Selon **Hacini (2006)**, la salinité du chott Merouane varie entre 9542,29 mmol/kg d'eau et 5264, 92 mm/ kg d'eau. Il s'agit d'une salinité très élevée, les chlorures et le sodium ont la grande part de cette salinité.

Cette teneur augmente donc quand des terrains en contact avec l'eau sont chargés en sels, en fonction de la durée de contact, de la surface de contact et parfois, de la vitesse d'écoulement.

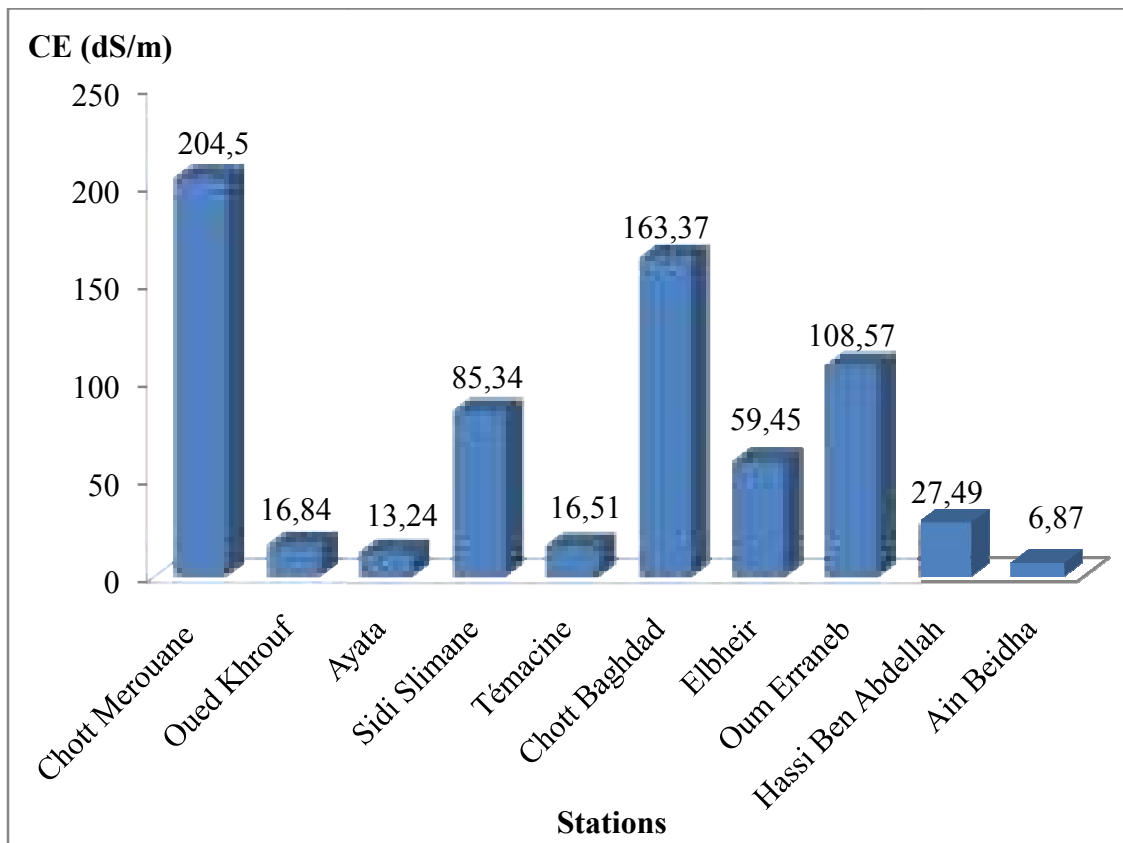


Figure 45. Variation de la conductivité électrique dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés

III.4.2. La teneur en sels solubles

Les résultats des analyses des eaux des écosystèmes aquatiques étudiés montrent qu'elles sont chargées en sels solubles, notamment les chlorures et les sulfates pour les anions, et le sodium pour les cations. La participation de chaque élément majeur en pourcentage est présentée dans la figure 46.

Il s'agit d'une salinité très élevée, ces valeurs de salinité très élevés peuvent être liées aux conditions de confinement qui favorisent la concentration des eaux. S'ajoute à cela le déficit hydrique et l'évaporation intense qui conduisent aussi à une salinisation des eaux.

Le diagramme de **Piper (1944)** est largement utilisé pour comparer les compositions chimiques des eaux en éléments majeurs.

Les faciès hydro-chimiques, sont aussi fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles.

Pour la détermination du faciès chimique et établir le diagramme de Piper, le logiciel DIAGRAMMES est utilisé. La présentation des résultats dans le diagramme de Piper (figures 47 et 48) montre que les eaux analysées ont un faciès chloruré-sulfaté calcique et magnésienne pour les eaux de lac Témacine, chott Sidi Slimane et d'Ain El Beida.

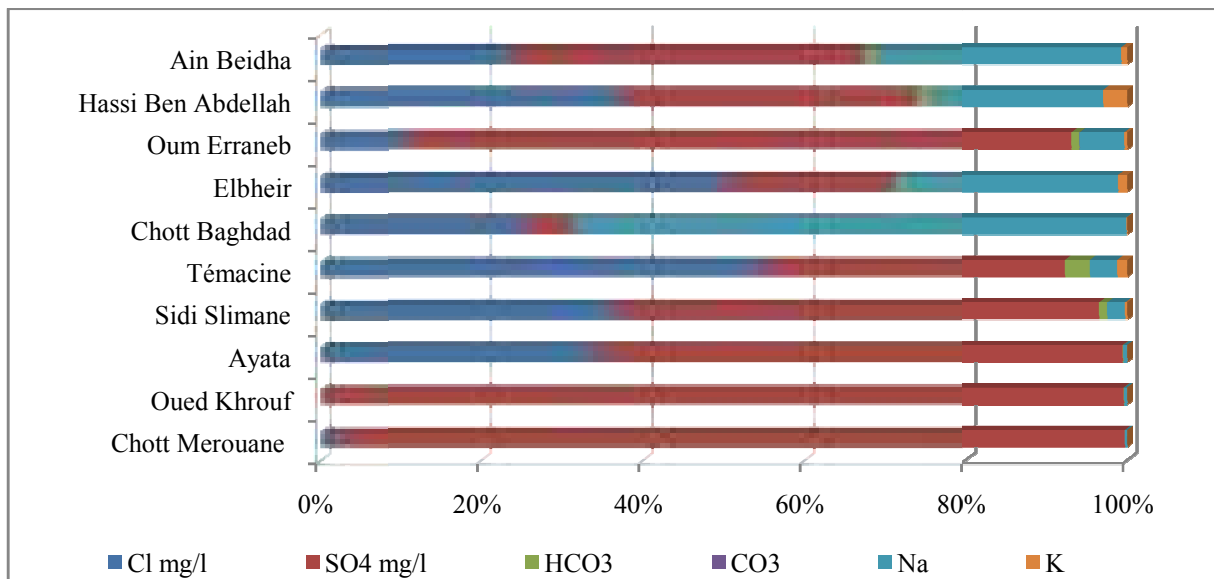


Figure 46. Variation de la teneur en cations et anions dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés

Les eaux des écosystèmes aquatiques qui restent ont un faciès chloruré sodique. Il est observé que les chlorures et les sulfates sont dominants par leur origine géologique, précisément lors de la forte évaporation des eaux. Les carbonates sont en faibles quantités voire même absentes dans la quasi-totalité des eaux étudiées.

Selon **Koull (2015)**, la projection des eaux sur le diagramme de Piper montre que le faciès des eaux ne change pas à travers les saisons, ce qui indique que les eaux de ces écosystèmes sont plus ou moins stables. Alors qu'il y a une variation saisonnière significative des taux des sels liée au processus de dissolution/précipitation des sels en fonction des conditions climatiques et apport des eaux (remontée de nappe phréatique en hiver).

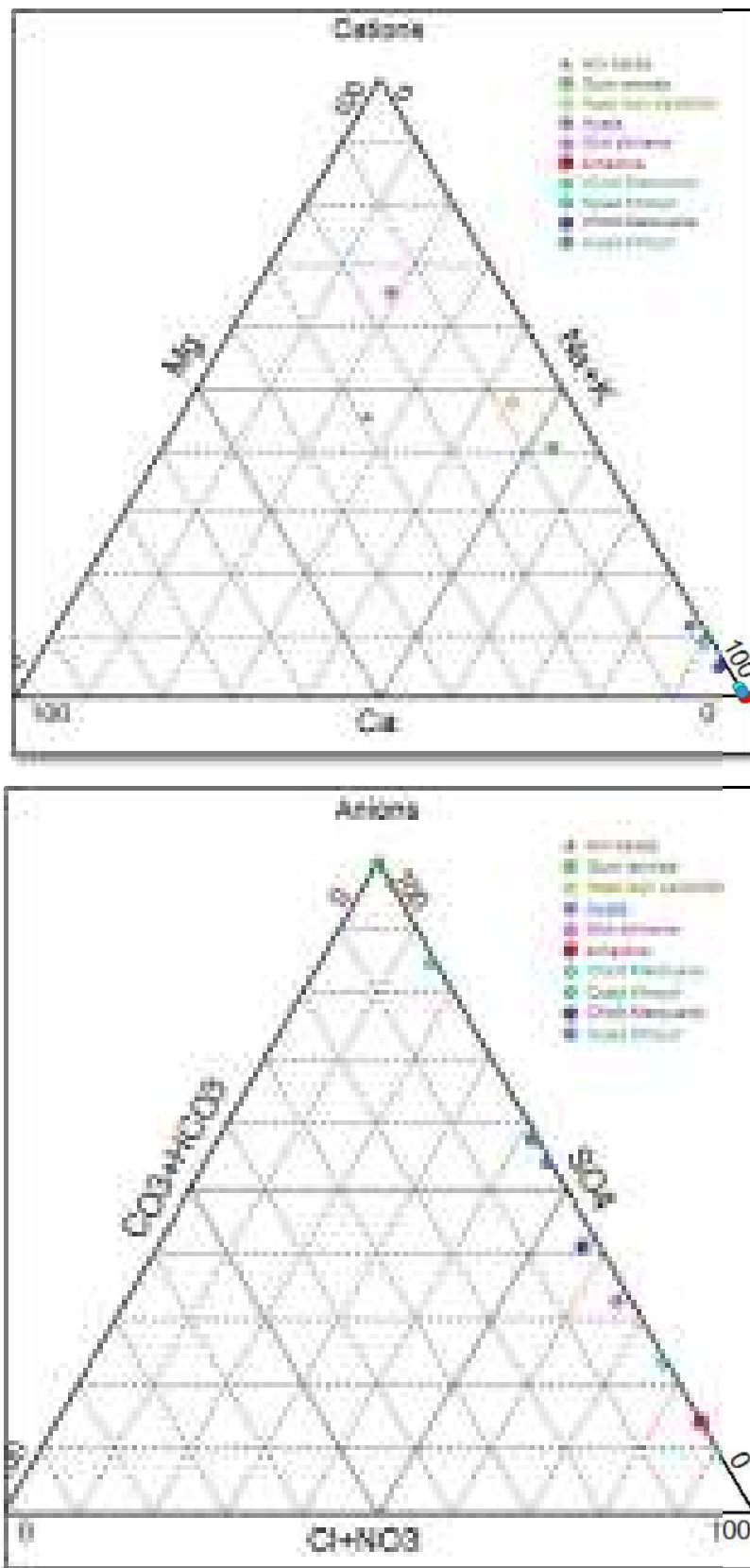


Figure 48. Présentation des teneurs en cations et anions des eaux des écosystèmes aquatiques étudiés dans le diagramme de Piper (1944)

III.4.3. Le pH

Le pH (potentiel Hydrogène) est une caractéristique fondamentale de l'eau. Le pH donne une indication de l'acidité d'une substance. Il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogène hydronium (H^+) ou d'ions hydroxyde (OH^-) contenus dans une substance. Quand les quantités de ces ions sont égales, l'eau (ou la substance) est considérée comme neutre, et le pH a une valeur aux alentours de 7. Le pH d'une substance varie entre 1 et 14. Au-dessus de 7, la substance est considérée comme basique et la quantité d'ions OH^- est supérieure à celle d'ions H^+ , au-dessous de 7, la substance est acide ; les ions H^+ sont en quantités supérieures.

Le pH est l'un des paramètres chimiques importants lorsqu'il s'agit de déterminer la qualité d'une eau. Il sert au contrôle de la qualité de l'eau.

Les résultats des analyses des eaux étudiés montrent que le pH varie d'une station à l'autre, les valeurs sont comprises entre 8,4 (Oued Khrouf) et 7,6 (Chotts Baghdad et Oum Erraneb) (Figure 49), il s'agit des eaux alcalins à très alcalins. Cette variabilité du pH dans les différents écosystèmes aquatiques étudiés s'explique par la nature des apports et la nature des sols et des roches lessivées avant d'arriver au lac.

Donc l'alcalinité des eaux de lac Khrouf, chott Merouane, lac Elbheir peut être expliquée par la nature géologique des terrains traversés riches en carbonates et bicarbonates et l'effet tampon des eaux de drainage. L'alcalinité des eaux du lac Ayata et Témacine, peut être liée aux effets anthropiques par l'évacuation des eaux usées ou/et de drainage chargées en engrais.

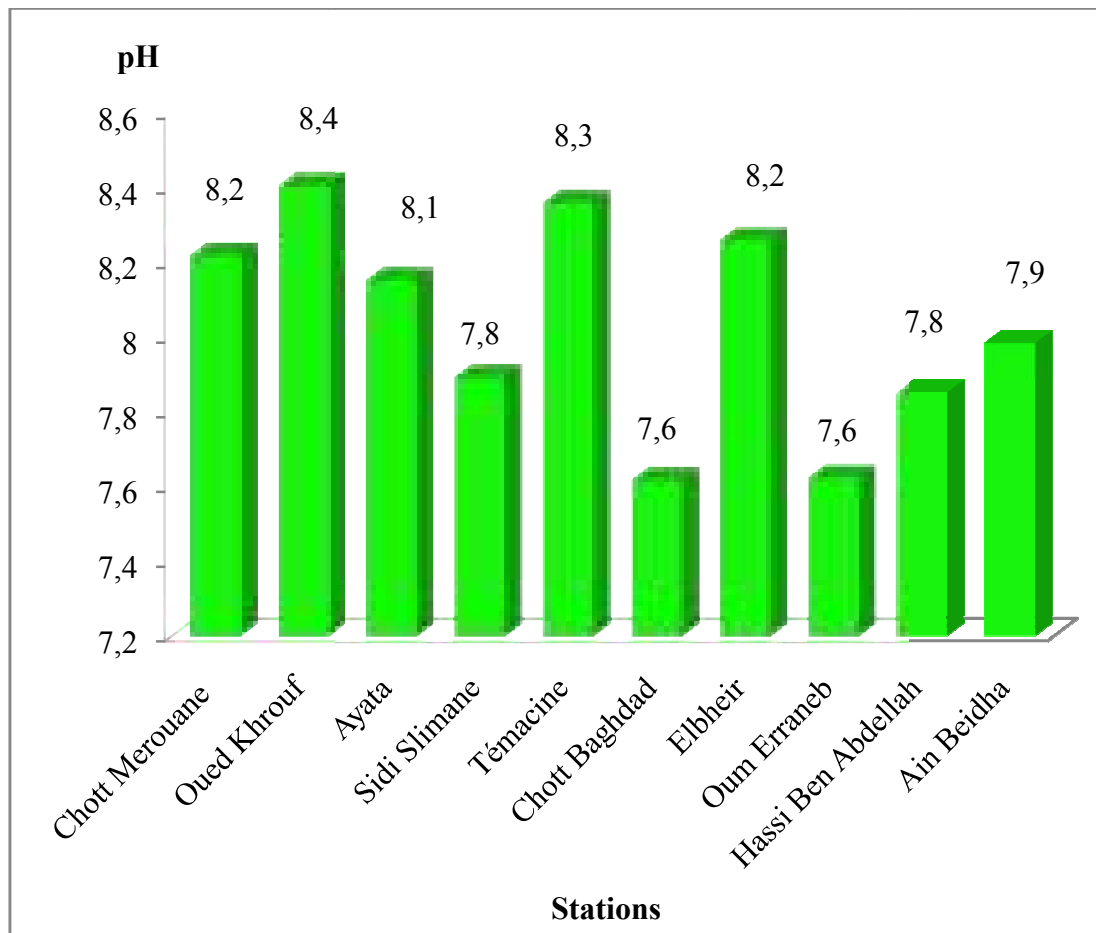


Figure 49. Variation du pH dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés

III.4.4. La température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc. (Rodier, 2005).

Les résultats de la mesure de la température in-situ au niveau des écosystèmes aquatiques étudiés sont représentés dans la figure 50.

La température varie d'une station à l'autre, les valeurs se situent entre 23,13 °C (Sidi Slimane) et 13,51 °C (lac Ayata).

Les variations de la température sont généralement acceptables à des valeurs normales des eaux de surface. Les des eaux de surface sont caractérisée par une température ne dépasse 25C, les valeurs convenables de la température sont favorables la vie des poissons et favorise le développement de certaines espèces aquatiques.

La température étant un facteur très important pour la fonction des écosystèmes, pour les eaux superficielles elle est due aux influences atmosphériques et particulièrement les changements de la température de l'air.

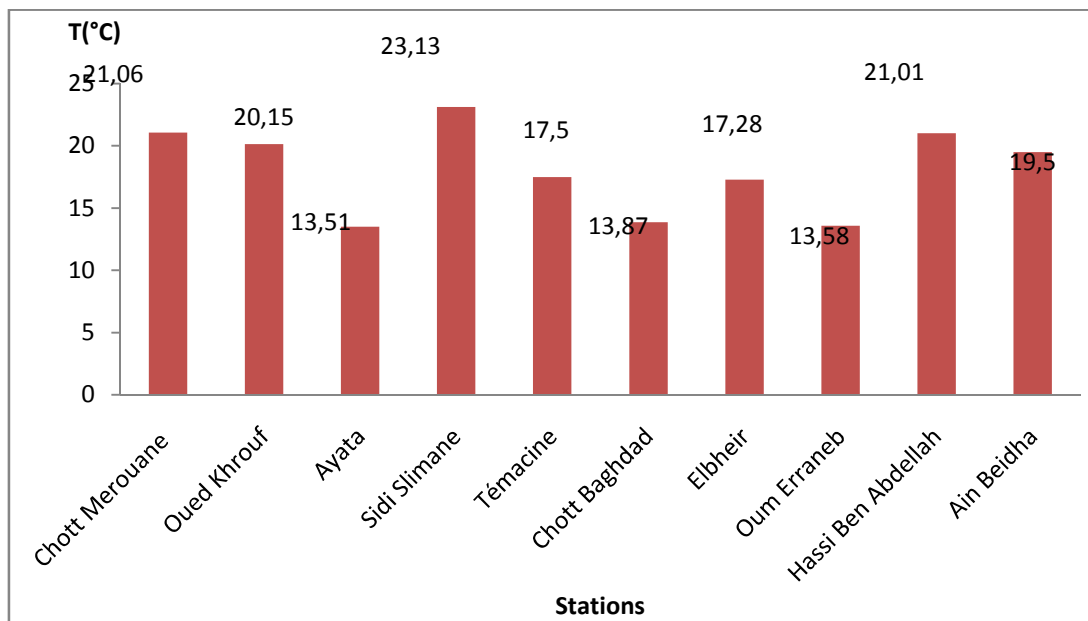


Figure 50. Variation de la température dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés

III.4.5. les indicateurs de pollution

a. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. Il est indispensable pour la dégradation biologique des matières polluantes qui se fait principalement en aérobiose (Rejsek, 2008).

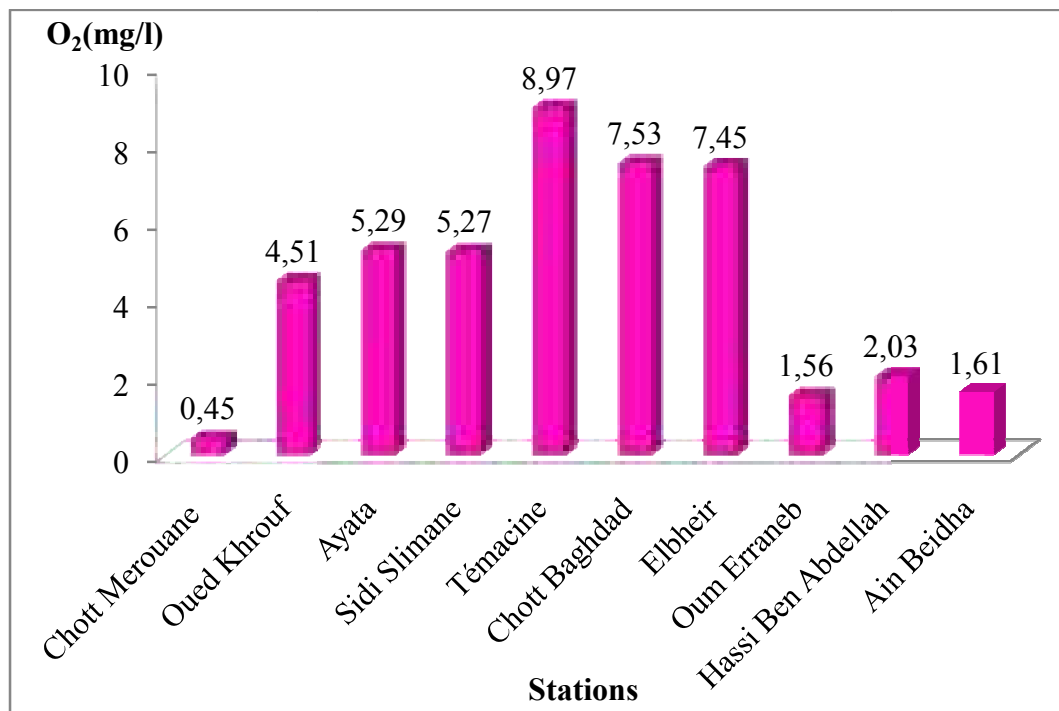


Figure 51. Variation de l'Oxygène dissous dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés

L'oxygène, toujours présent dans l'eau, n'en est pas un élément constitutif. Sa solubilité est fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. L'oxygène dissous conserve ses propriétés oxydantes, soit par une réaction purement chimique en oxydant des composés minéraux (Fe^{2+} , NH_4^+ , $\text{NO}_2\dots$) ou organiques, soit par des phénomènes biochimiques (consommation de l'oxygène par les microorganismes pour assurer la dégradation des constituants de l'eau), soit encore par des réactions électrochimiques (Rodier, 2009).

Les résultats d'analyses montrent que l'oxygène dissous des eaux varie entre 0.45 - 8.97 mg/l pour l'ensemble des stations (figure 51). Ces concentrations relativement faibles reflètent le taux de la charge organique existante réellement dans l'eau, ceci pourrait être expliqué par la dégradation des matières organiques biodégradables déversées dans les plans d'eau par les micro-organismes entraînant une consommation de l'oxygène dissous dans l'eau.

Selon **Belifert et al (2001)**, les eaux des lacs Témacine, Ayata et Elbheir ainsi que celles des chotts Sidi Slimane, chott Baghdad et Oued Khrouf sont classées comme des eaux de qualité moyenne à médiocre pouvant ainsi générer un stress biologique ($3\text{mg/l} < \text{O}_2 < 5\text{mg/l}$), les eaux du lac Hassi Ben Abdellah sont considérée de mauvaise à très mauvaise qualité, tandis que les eaux de chott Merouane est hors classe, niveau 2, relevant du domaine anoxiques.

b. Matières en suspension (MES)

La teneur en matières en suspension dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés est très variable (figure 52). Pour chacun de ces écosystèmes, elle varie en fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des travaux publics et des rejets des eaux usées, etc... (**Rodier, 1976**) en annexe.

Les valeurs les plus élevées de la teneur en matières en suspension dans les eaux étudiées sont enregistrées dans les stations de Ain Beidha et chott Merouane avec des teneurs dépassant 300 mg/l, ensuite les stations de Hassi Ben Abdellah, Oum Erraneb et Ayata, les stations de Sidi Slimane et Témacine ont des teneurs en matières en suspension les plus faibles.

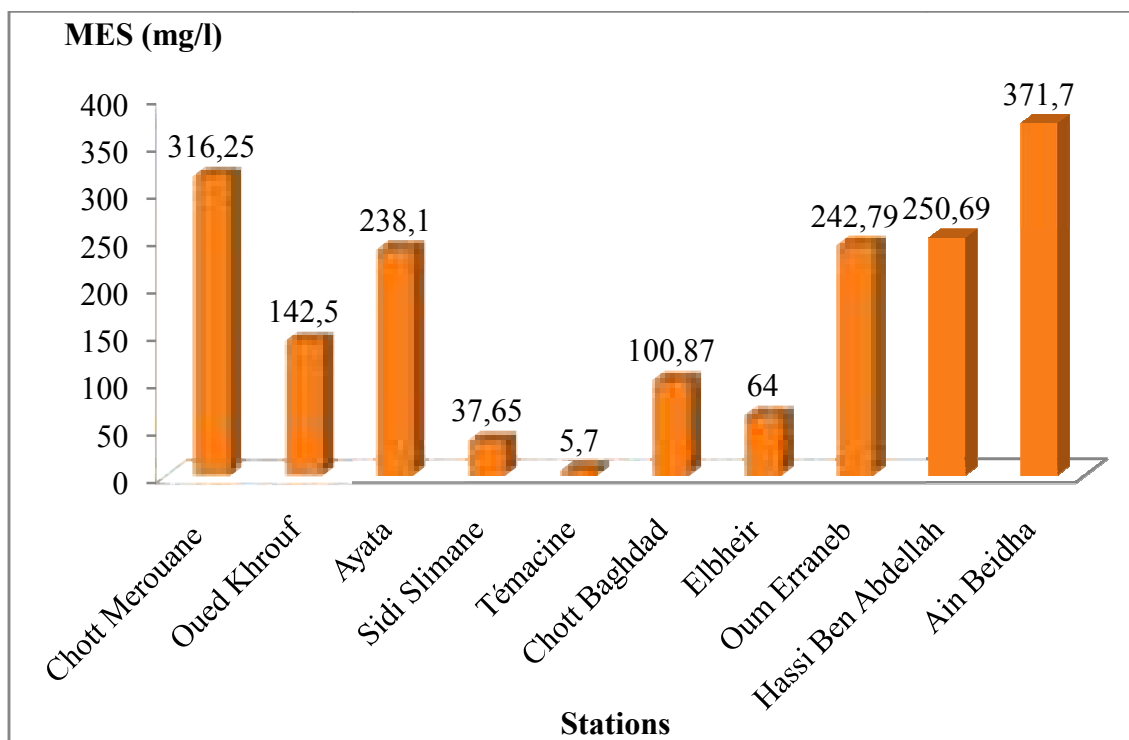


Figure 52. Variation de la teneur en matières en suspension dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés

Les teneurs élevées de matières en suspension dans les eaux de lac Ayata et chott Ain Beidha proviennent des apports des évacuations des eaux usées, cependant, la teneur élevée enregistrée pour les eaux de chott Merouane provient du canal collecteur de Oued Righ et les eaux de drainage.

Les concentrations des matières en suspension dans les eaux de lac Ayata et chott Merouane dépassent celle de la norme, Ceci témoigne d'une pollution à ces endroits par les activités anthropiques (extraction du sel pour Chott Merouane et les rejets des déchets liquides et solides pour Ayata).

La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par suite, la photosynthèse. Elles peuvent également gêner la respiration des poissons. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...). Les matières oxydables consomment l'oxygène dissous et entraînent l'asphyxie des êtres vivants donc le phénomène de bioturbation.

c. La Demande Biologique en Oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène (DBO) est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène qui est utilisée pour la destruction de matières organiques décomposables par des processus biochimiques. La détermination de la DBO sert à évaluer la concentration des polluants organiques dans les eaux (voir annexe).

D'après la figure 53, le maximum de la DBO est observé pour le lac Ayata et chott Baghdad (66 et 30,12 mg/l respectivement), ensuite le lac Elbheir, le chott d'Ain Beidha, alors que le lac de l'Oued Khrouf et chott Oum Erraneb ont une valeur de DBO₅ la plus faible (< 10 mg/l). L'indicateur utilisé est généralement la DBO₅ qui correspond à la quantité d'oxygène (exprimée en mg/l) nécessaire aux micro-organismes décomposeurs pour dégrader et minéraliser en 5 jours la matière organique présente dans un litre d'eau polluée. Plus la DBO₅ est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée.

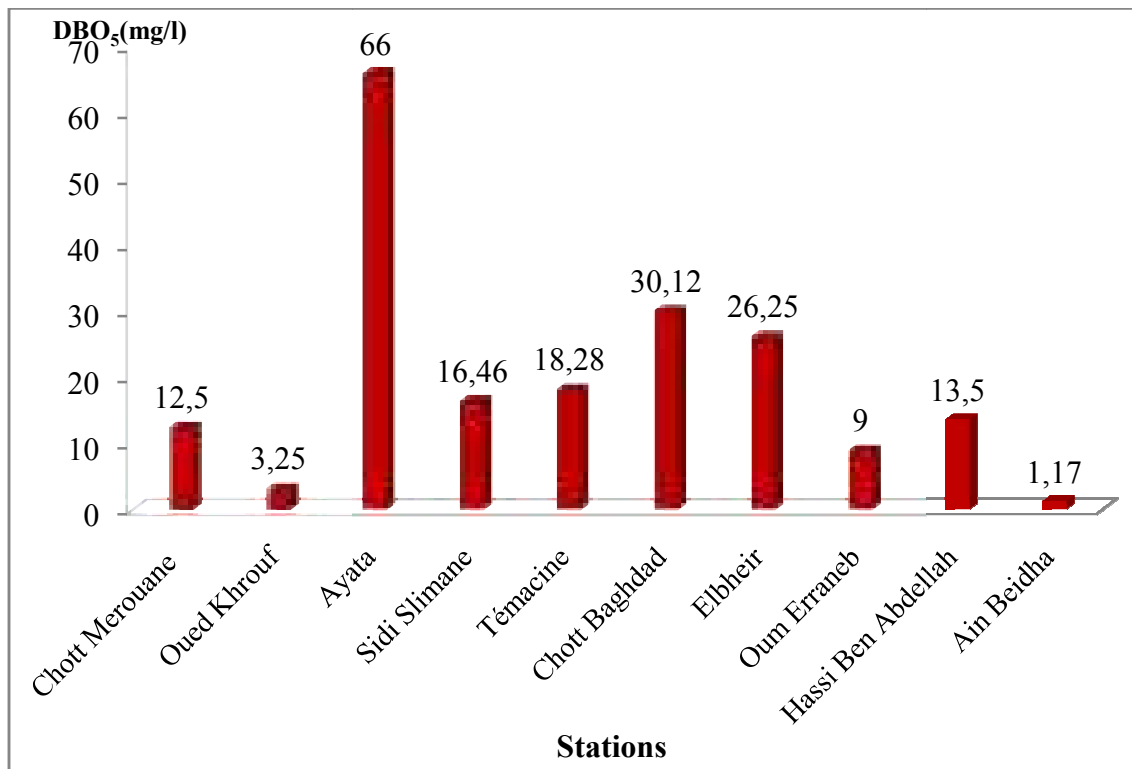


Figure 53. Variation de DBO₅ dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés

d. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique, effectuée à l'aide d'un oxydant puissant, des composés organiques présents dans l'eau. Elle permet de mesurer la teneur en matières organiques totales (excepté quelques composés qui ne sont pas dégradés), y compris celles qui ne sont pas dégradables par les bactéries (CRPE, 2007).

Il s'agit donc d'un paramètre important permettant de caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques. La différence entre la DCO et la DBO est due aux substances qui ne peuvent pas être décomposées biologiquement. Le rapport entre la DBO et la DCO constitue une mesure indicative de la « dégradabilité » biochimique des composés présents dans l'eau. Le rapport DCO/ DBO évolue d'environ 2,5 (eau résiduaire récemment déversée) à 10-20 après décomposition totale.

Dans ce dernier cas, on parle d'une eau bien minéralisée. Cependant, lorsque des composés toxiques sont présents, l'activité biologique est ralentie et, de ce fait, la quantité d'oxygène

consommée après 5 jours est moindre. Ceci se traduit également par un rapport DCO/DBO élevé. La DBO et la DCO se mesurent en mg d'O₂ par litre.

La dégradation des matières organiques (de matières protéiques, d'acides aminés, de lipides et d'autres substances de réserves) déversées dans les cours d'eau entraîne une consommation de l'oxygène dissout dans l'eau. Cela se fait au détriment des organismes vivants et peut entraîner ainsi l'asphyxie du milieu. La pollution par les matières organiques est provoquée par les rejets industriels et les rejets des populations urbaines. L'importance de cette pollution dans un effluent peut être évaluée par la demande chimique en oxygène (CREPA, 2007).

La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. Ainsi, par la mesure de la DCO, on pourra évaluer la charge polluante d'une eau en matières organiques. (figure 54).

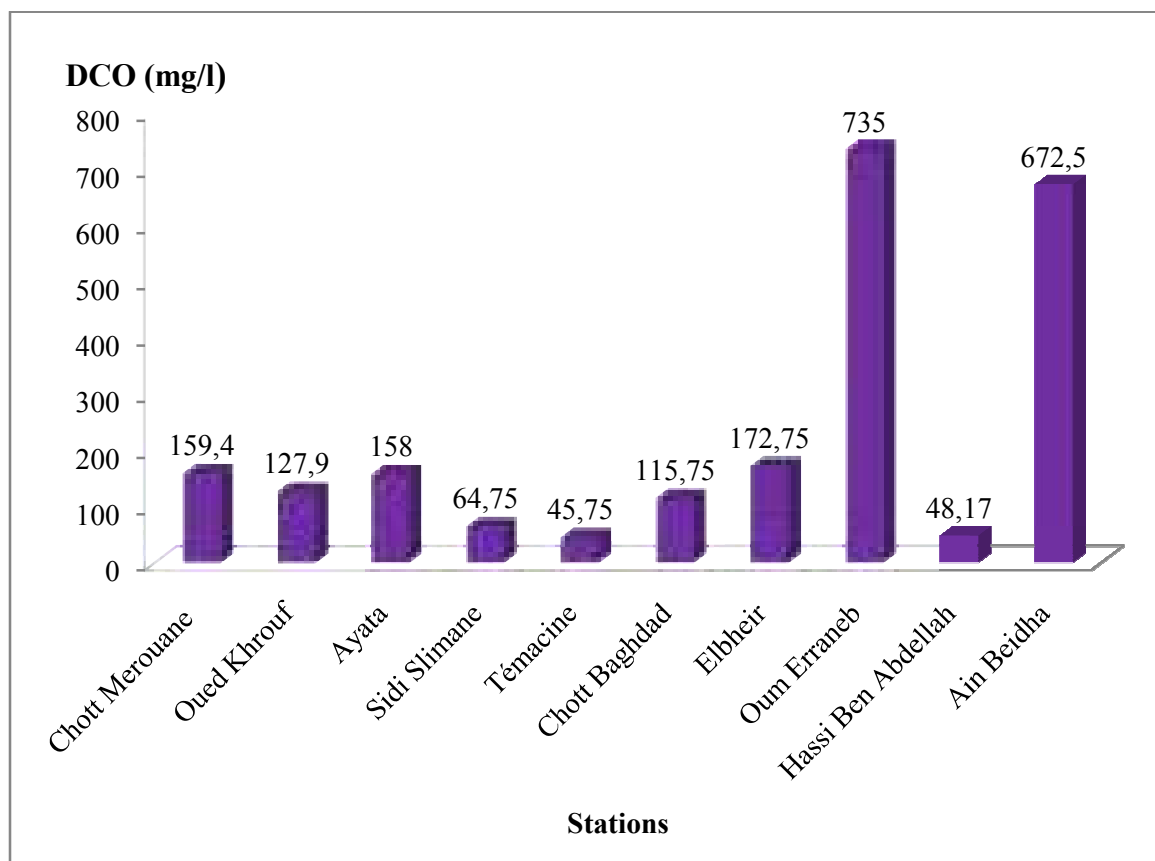


Figure 54. Variation de la DCO dans les eaux des écosystèmes aquatiques étudiés

Les eaux des stations étudiées peuvent être classées selon l'échelle Belifert (2003) cité en annexe comme suit :

- Hors classe ($DCO > 80$ mg/l): les eaux des Chotts Oum Erraneb (735 mg/l), Ain Beidha (672.5 mg/l), lac Elbheir (172.75 mg/l), chott Merouane (159.4mg/l), Ayata (158 mg/l), Oued Khrouf (127.9 mg/l) et Chott Baghdad (115.75 mg/l).
- Médiocre (40 mg/l $< DCO < 80$ mg/l) : les eaux des écosystèmes aquatiques qui restent à savoir : Sidi Slimane (64.75 mg/l), Hassi Ben Abdellah (48.17 mg/l) et lac Témacine (45.75 mg/l).

III.4.5. Approche statistique

La corrélation est une statistique qui caractérise l'existence ou l'absence d'une relation entre deux échantillons de valeurs prise sur un même groupe de sujets. Le coefficient de corrélation permet de quantifier cette relation 1- par le signe de la corrélation (positive et négative), et par la force de cette corrélation.

Le degré de corrélation, se mesure sur une échelle de 0 à 1. Zéro signifie une totale absence de corrélation entre les deux mesures, alors que 1 signifie une corrélation parfaite, c'est à dire que connaître la valeur d'une mesure nous permet de connaître exactement la valeur de l'autre.

❖ Matrice de corrélation

Les corrélations entre les paramètres physico-chimiques des eaux étudiées sont rapportées dans le tableau 14.

On remarque des corrélations positives et significatives entre la CE et le potassium (K), entre le DBO et le pH, entre la MES et les bicarbonates (HCO_3) et enfin entre la MES et la température des eaux.

Tableau 14. Matrice de corrélation (Pearson) des caractéristiques des eaux étudiées

Variables	CE	PH	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	Na	K	DBO ₅	DCO	O ₂	MES	T°C
CE	1												
PH	-0,376	1											
Cl	0,449	-0,498	1										
SO₄	0,667	0,250	-0,100	1									
HCO₃	-0,343	-0,276	-0,027	-0,484	1								
CO₃	-0,154	-0,396	-0,159	-0,234	0,172	1							
Na	0,459	-0,515	0,991	-0,068	-0,065	-0,125	1						
K	0,001	-0,387	0,597	-0,383	0,560	0,286	0,548	1					
DBO₅	-0,066	0,035	0,242	-0,188	-0,421	-0,182	0,185	-0,063	1				
DCO	-0,022	-0,392	-0,158	-0,078	0,412	-0,028	-0,134	0,029	-0,338	1			
O₂	-0,212	0,251	0,412	-0,493	-0,041	-0,393	0,360	0,214	0,420	-0,525	1		
MES	0,068	-0,188	-0,241	0,406	0,068	0,272	-0,200	-0,051	-0,154	0,580	-0,874	1	
T°C	-0,052	0,297	-0,418	0,310	0,248	0,159	-0,420	-0,109	-0,562	-0,310	-0,298	0,017	1

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

❖ L'Analyse en Composante Principale (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est un outil extrêmement puissant de synthèse de l'information, très utile lorsque l'on est en présence d'une somme importante de données quantitatives à traiter et interpréter. Pour déterminer la relation entre les paramètres physicochimiques des eaux et les facteurs sources de ses variations nous avons utilisé l'Analyse en Composante Principale (ACP). Ainsi deux sources de variabilité importantes apparaissent suivant l'inertie des axes.

Le plan factoriel de l'ACP (figure 55), est constitué par le croisement du premier et du second axe factoriel. Pour déterminer la source de variabilité représentée par le premier axe, on oppose les éléments situés à droite contre ceux qui sont situés à gauche. Ainsi, pour le premier axe factoriel, on retrouve, tous les éléments solubles avec la DBO₅, qui est lié à l'activité microbienne influencée par la température, le pH et la salinité.

Le côté positif de cet axe exprime la concentration des eaux en sels sous l'effet des hautes températures avec le phénomène d'évaporation. Le côté négatif exprime une bonne activité microbienne reflétant l'amélioration des conditions physicochimiques notamment la salinité et la température.

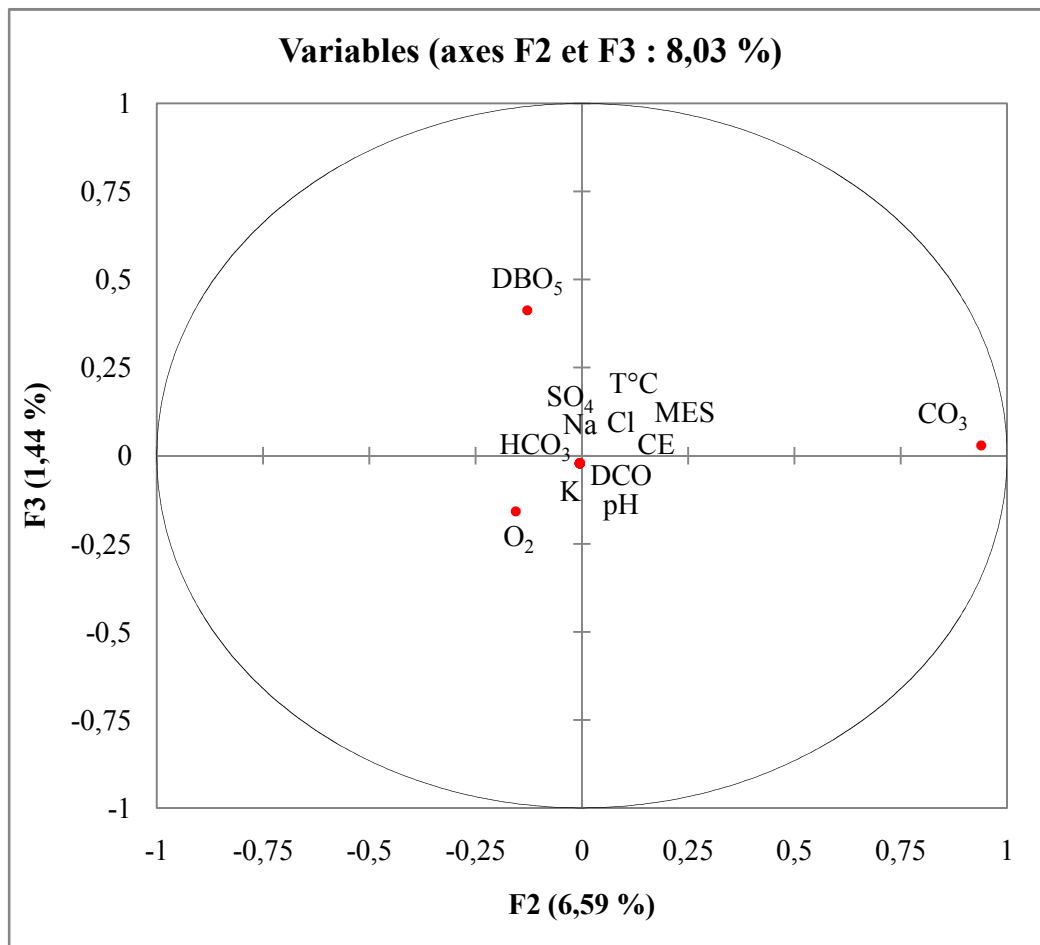


Figure 55. Représentation sur le plan factoriel de l'ACP des caractéristiques des eaux des écosystèmes aquatiques étudiés

Donc, on peut dire que le premier axe exprime l'effet du facteur climat (évaporation et température) sur les caractéristiques des eaux. Pour déterminer la source de variabilité représentée par le deuxième axe, on oppose les éléments situés en haut (DBO_5 et HCO_3^-) aux éléments situés en bas (pH, O_2 , K et DCO). On peut dire que cet axe exprime le phénomène d'oxydoréduction et calco-carbonique dans les eaux salées étudiées.

❖ L'analyse factorielle des correspondances (AFC)

La superposition des résultats d'analyses des eaux et les différentes stations étudiées sur le plan factoriel de l'AFC (figure 56) montre la présence de trois groupes ; le premier groupe

composé des chotts d'Ain Beida, Merouane et Oum Erraneb en plus des lacs Ayata, Hassi Ben Abdellah et Oued Khrouf caractérisé par des eaux qui contiennent des teneurs élevées en DCO et en MES.

Le deuxième groupe est composé des chotts Sidi Slimane et Baghdad en plus du lac Elbheir avec des eaux très riches en oxygène dissous et en DBO₅.

Le troisième groupe composé du lac Témacine qui est caractérisé par des eaux salées et moins riches en MES. Ainsi on peut dire que cet axe exprime un gradient décroissant de salinité et de pollution (teneur en matière organique). L'importance de l'inertie de cet axe (58,88%) montre que ces deux éléments sont les principaux facteurs de différenciation entre les eaux étudiées.

Le deuxième axe présente une inertie de 36,71 %, ceci traduit la faible contribution de ce facteur dans la différenciation entre les stations. Les stations du troisième groupe se trouvent sur l'axe, montrant que ce groupe ne contribue pas à la formation de deuxième axe. Seuls le premier et le deuxième groupe jouent un rôle sur cet axe en exprimant la variation de taux de pollution et le type de la salinité (faciès des eaux).

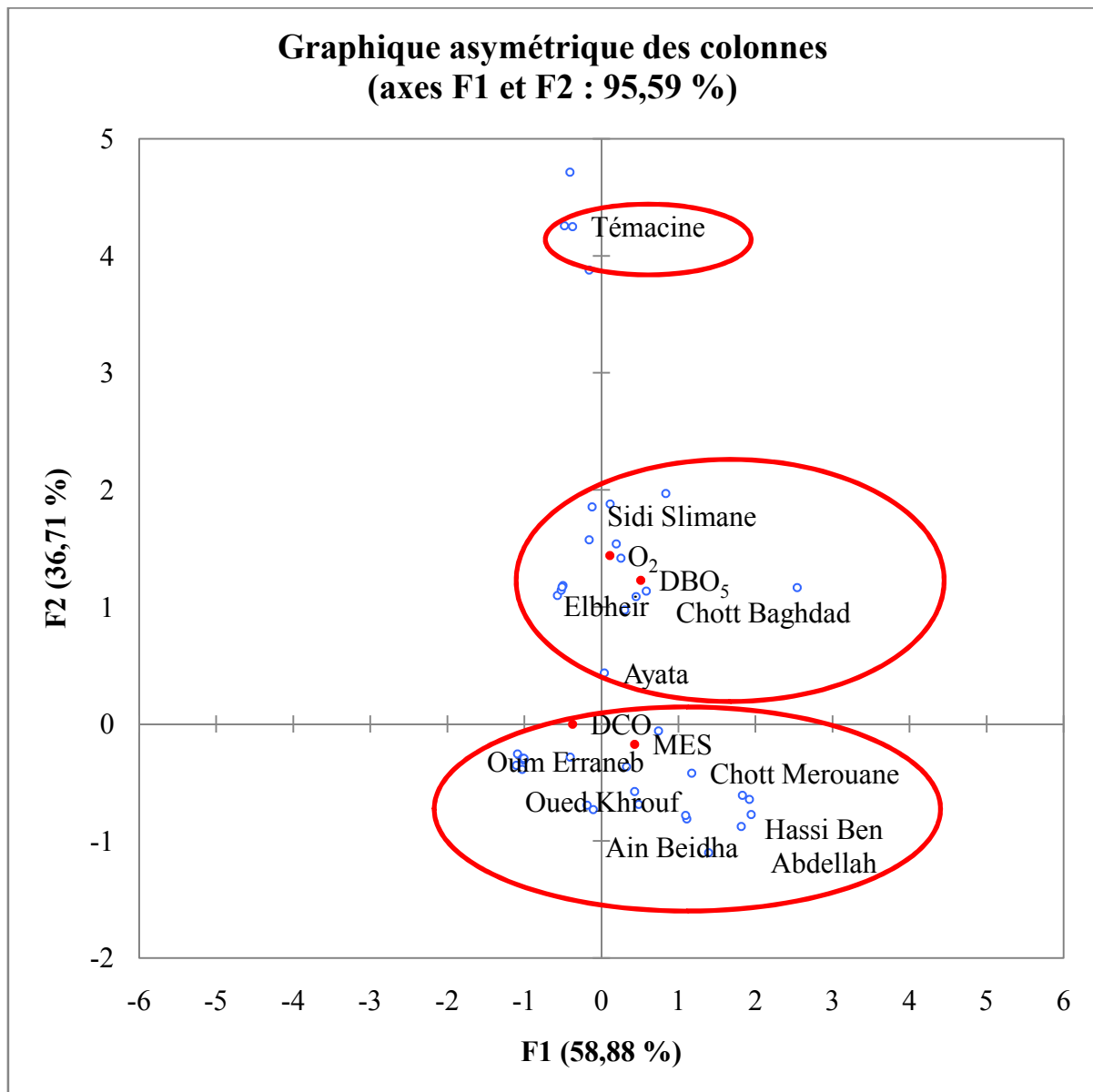


Figure 56. Représentation sur le plan factoriel de l'AFC des groupes des écosystèmes aquatiques suivant la qualité de leurs eaux.

Les résultats obtenus montrent que les eaux des écosystèmes aquatiques du Bas Sahara sont très salées. La salinité des eaux varie sous l'effet des conditions climatiques et de la remontée des eaux phréatiques. Les eaux sont généralement alcalines.

La qualité des eaux varie d'une station à l'autre en relation avec les ressources en eaux (nappe phréatique, eau de drainage agricole et urbain).

Les résultats des indicateurs de la pollution ont montré que les eaux des chotts Merouane, Ain El Beida et Oum El-Ranneb ainsi que le lac Ayata et Hassi Ben Abdellah sont très polluées avec un taux très important de MES et extrêmement riches en sels. Les eaux des écosystèmes aquatiques (chott Sidi Slimane et les lacs Témacine, Oued Khrouf) sont salées et moins riches en matière organique. Donc on peut dire que la salinité et la teneur en MES sont les principaux facteurs de différenciation entre les eaux étudiées.

Selon (Koull, 2015), le faciès des eaux est chloruré magnésien et chloruré sodique et qui ne change pas à travers les saisons, ce qui indique que les eaux de ces écosystèmes sont plus ou moins stables. Au même temps, il y a une variation saisonnière significative des taux des sels liée au processus de dissolution/précipitation des sels en fonction des conditions climatiques et apport des eaux (remontée de nappe phréatique en hiver).

III.5. Etude écologique des écosystèmes aquatiques étudiés

III.5.1. Relation sol-Végétation

Cette étude nous permet de comprendre les relations entre les plantes et leur milieu. La méthode d'analyse appliquée est une approche globale réalisée à partir d'une Analyse de Composante Principale (ACP) dans laquelle l'ensemble des relations interspécifiques ou des relations entre les espèces et les facteurs du milieu, est pris en compte simultanément.

a. La salinité du sol

Les études effectuées sur la végétation des zones arides ont montré que la salinité du sol est un facteur principal qui influe sur la répartition de la flore, seules les espèces qui supportent la salinité persistent.

La figure 57 montre l'existence de trois classes de végétation : la première classe regroupe 03 espèces ont de préférence la classe 1, c'est-à-dire se localisent beaucoup plus dans les sols moins salés à savoir *Phragmites communis*, *Juncus maritimus* et *Salsola tetragona*; cinq espèces préfèrent la classe 2 se sont des espèces gypso-halophiles (*Tamarix gallica*, *Halocnemum strobilaceum*, *Cynodon dactylon*, *Zygophyllum album*, et *Sueda fruticosa*, trois espèces ont de préférence la troisième classe qui sont des psammophiles (se développent

sur des terrains à texture sableuse) à savoir : *Nitraria retusa*, *Limoniastrum guyonianumb* et *Anabasis articulata*.

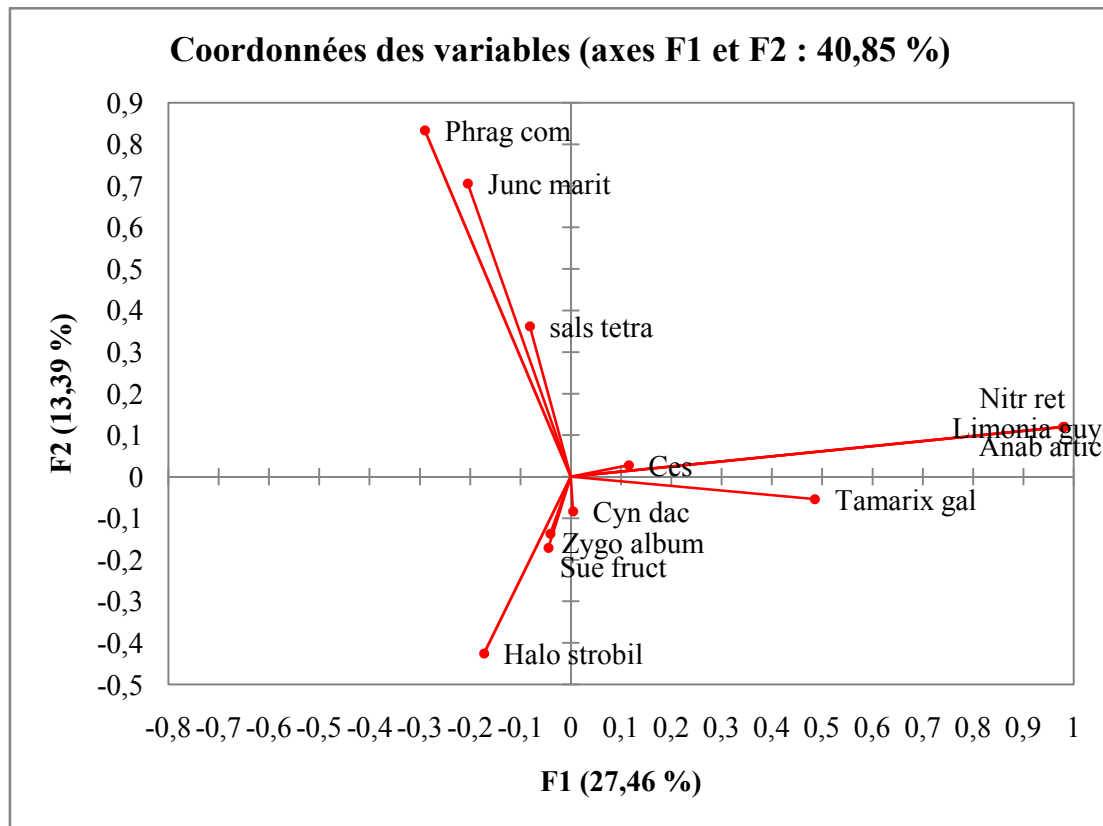


Figure 57. Représentation sur le plan factoriel de l'ACP de la répartition des espèces végétales selon la salinité des sols étudiés

b. L'humidité du sol

La particularité des écosystèmes aquatiques du Bas Sahara par rapport aux d'autres écosystèmes arides est bien la présence permanente ou saisonnière de l'eau. Donc l'humidité du sol est un facteur déterminant pour la répartition de la flore.

La composition floristique varie en s'éloignant du plan d'eau, on trouve des espèces qui n'existent qu'au contact direct avec l'eau formant ainsi une ceinture aux alentours du plan d'eau. La répartition des espèces en fonction de l'humidité du sol est représentée dans la figure 58. Le *Juncus maritimus* occupe les sols ayant une période plus longue d'inondations et la salinité élevée (Rogel et al, 2001).

Les espèces *Phragmites communis*, *Halocnemum strobilaceum*, *Tamarix gallica* ainsi que *Suaeda fruticosa* prélevées à des niveaux élevés d'humidité. Ces espèces se localisent dans les placettes qui se trouvent partiellement ou complètement inondées pendant une période de l'année. Le *Phragmites communis* est une espèce qualifiée fortement hydro-halophile. Les hydro-halophytes sont représentées par le *Cynodon dactylon*. Les espèces qui restent vivent dans les terrains moins humides.

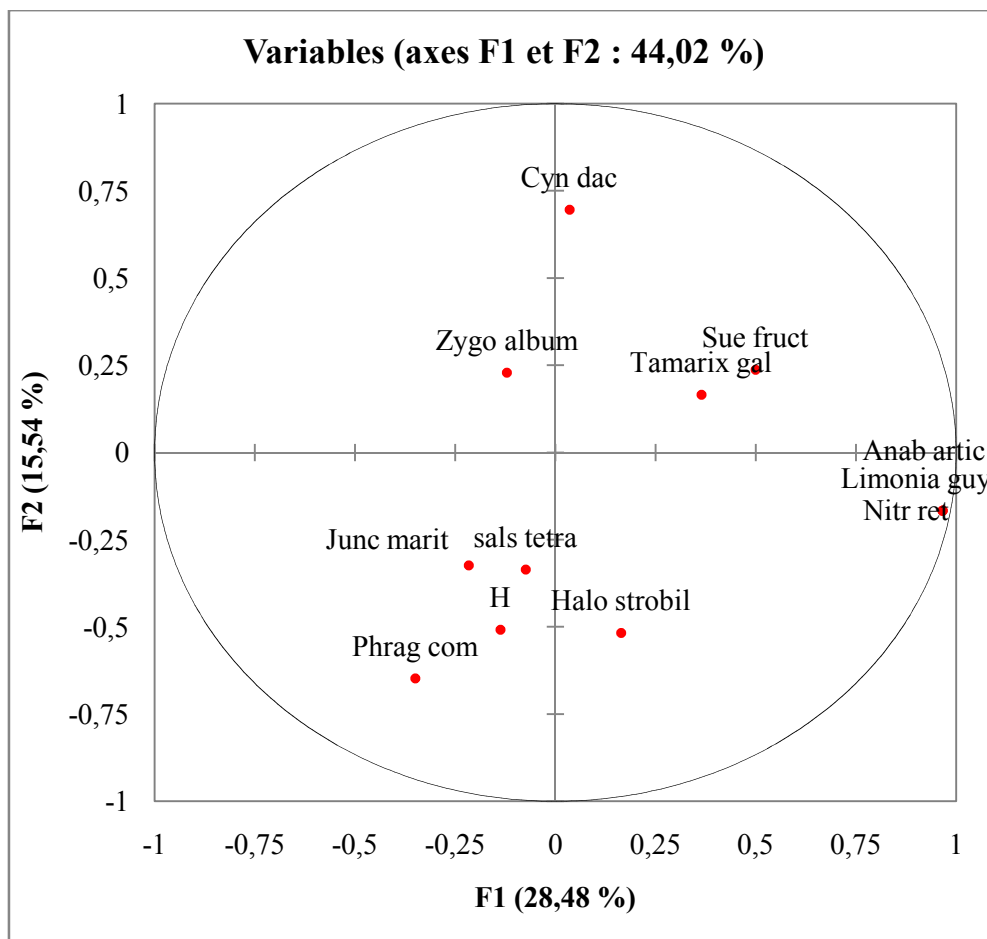


Figure 58. Représentation sur le plan factoriel de l'ACP de la relation entre la végétation et l'humidité des sols étudiés

c. Les caractéristiques du sol

Les autres caractéristiques des sols tels que le taux de matière organique, l'azote, le calcaire et le gypse agissent d'une façon ou d'une autre sur la répartition de la végétation dans les écosystèmes étudiés.

D'après la figure 59, on remarque qu'il y a une relation entre certaines espèces et les paramètres chimiques du sol. De ce fait on peut grouper la végétation en cinq groupes :

- Végétation gypsophile : *Halocnemum strobilaceum*
- Végétation qui tolère une forte teneur en calcaire : *Cynodon dactylon* et *Tamarix gallica*.
- Végétation qui tolère une faible teneur en calcaire : *Phragmites communis* et *Juncus maritimus*, *Salsola tetragona* et *Zygophyllum album*.
- Végétation indifférente c'est-à-dire sa répartition n'est pas en relation directe avec ces paramètres seuls.

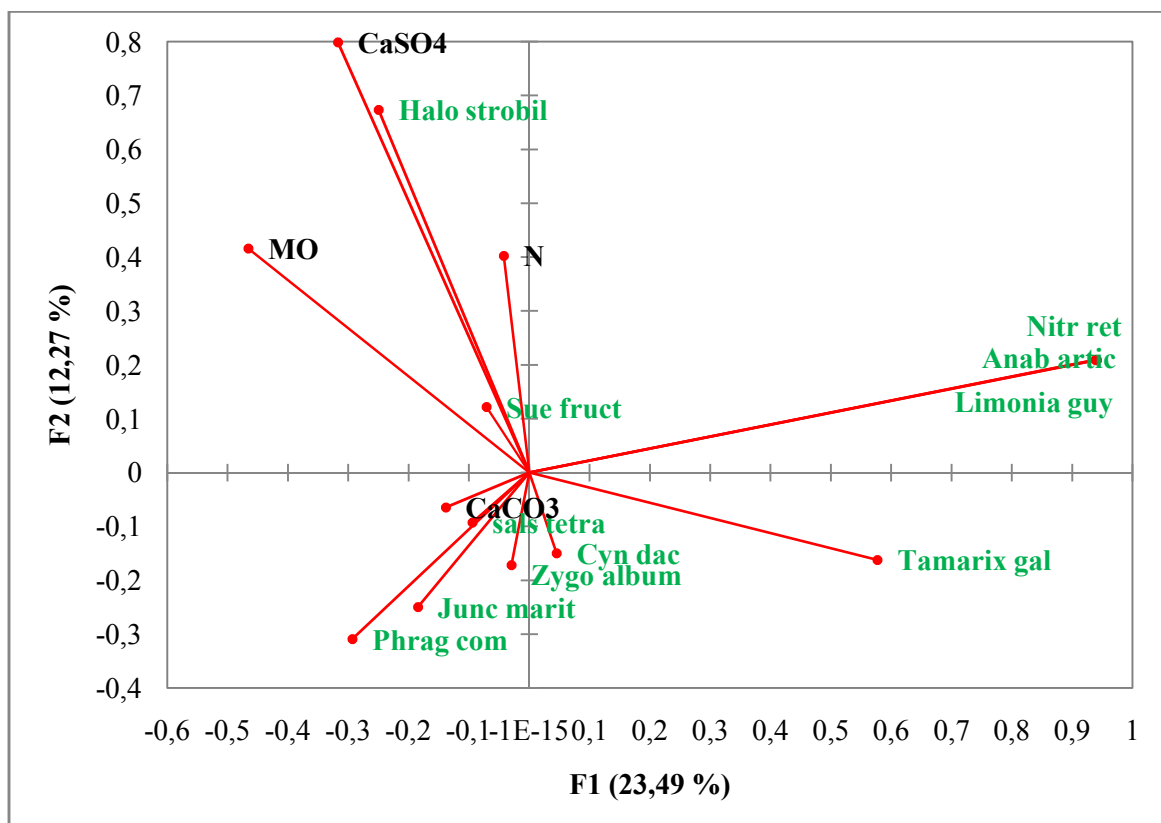


Figure 59. Représentation sur le plan factoriel de l'ACP de la relation entre la végétation et les caractéristiques des sols étudiés

caractéristiques du sol. Ces dernières ont un effet positif sur la présence de ces plantes à savoir CE, H, -, HCO₃⁻, Ca⁺⁺, Na⁺, CaCO₃ ou un effet négatif tel pH, SO₄, Cl et K⁺. Les espèces présentent des corrélations positives significatives avec la majorité des caractéristiques des eaux des écosystèmes aquatiques.

Les espèces *Cynodon dactylon*, *Juncus maritimus* et *Halocnemum strobilaceum* présentent des corrélations significatives positives avec les conditions édaphiques (pH, Cl, SO₄) et négative avec HCO₃⁻, Ca⁺⁺, CaCO₃ et M.O) et des corrélations positives significatives avec la plus part des caractéristiques des eaux.

Un autre groupe est composé des deux espèces halo-gypsophiles *Zygophyllum album* et *Phragmites communis*. Les propriétés du sol (limon+argile, N, CaSO₄ et M.O) et les caractéristiques des eaux (pH et SO₄) ont un effet positif sur la présence de ces deux plantes. Tandis que CaCO₃ et la teneur en sable fin du sol ont un effet négatif. L'*Anabasis articulata* constitue un autre groupe qui présente des corrélations positives avec la teneur en sable. C'est une plante psammophyte.

Koull (2015) a signalé que la salinité a des effets positifs sur l'habitat de *Halocnemum strobilaceum*. Cette espèce appartient à la famille des Amaranthacées qui est connue pour avoir un mécanisme efficace de tolérance de la salinité. Cette espèce peut tolérer les hautes CE, les fortes teneurs en Na⁺, la salinité du sol et l'alcalinité. Sa communauté a une faible diversité des espèces.

Au terme des résultats de l'ACP, les principaux facteurs environnementaux affectant la présence et la distribution de la végétation sont la salinité des sols et des eaux et l'humidité du sol. **Rogel et al. (2001)** a indiqué que dans les habitats halomorphes, les principaux facteurs édaphiques contrôlant la distribution des plantes sont la concentration du sel, l'humidité du sol, le pH, le calcaire total et de gypse.

La répartition spatiale de la flore des écosystèmes aquatiques n'est pas un hasard, elle résulte de l'interaction de plusieurs variables environnementales, y compris les facteurs abiotiques, biotiques et anthropiques.

III.6. Etat de l'environnement des écosystèmes aquatiques étudiés

L'importance des écosystèmes aquatiques se mesure par rapport à leurs fonctions, leurs valeurs et leurs attributs aussi bien pour l'équilibre de l'environnement ou pour la production agricole.

Tout écosystème aquatique regroupe un certain nombre de composantes physiques, biologiques ou chimiques telles que les sols, l'eau, les espèces végétales et animales. Au sein et entre ces composantes, divers processus prennent place et permettent aux écosystèmes aquatiques d'accomplir certaines fonctions comme la prévention des inondations et la protection contre les tempêtes ; de générer des produits comme la faune et la flore sauvage, les ressources halieutiques et forestières.

Dans le Sahara Algérien, la superficie globale des écosystèmes aquatiques recensée à travers les limites du territoire du CI et CT est de 934.000 ha. Cette surface ne représente que 1,3 % de la superficie totale du Sahara septentrional. Ces zones constituent un lieu d'habitat important pour l'avifaune migratrice de la méditerranée vers le Sahara notamment en période d'hivers.

Malheureusement, ces zones ne sont pas protégées et connaissent une dégradation continue de leur milieu naturel par le rejet des eaux usées, le dépôt de débris et gravats. Ce qui constitue une sérieuse menace pour la diversité biologique (ANRH, 2005).

Les prospections effectuées dans les stations d'étude, permettent à constater la physionomie générale, les caractéristiques biologiques et les principaux problèmes qui affectent le fonctionnement de ces deux écosystèmes aquatiques.

III.6.1. Importance et exploitation des écosystèmes aquatiques étudiés

✓ Aspect économique de la région

Malgré le climat rude aux contraintes multiples, la présence des eaux souterraines a permis une mise en valeur agricole importante, notamment avec le développement de la phoeniciculture. D'après le tableau 15, la région est incontestablement à vocation agricole, c'est le secteur qui est le plus gros pourvoyeur d'emplois. Cependant l'industrie est inexistante dans le bassin des Chotts. L'exploitation du gypse, du sel et même le sable reste comme industrie artisanale.

Tableau 15. L'exploitation des écosystèmes aquatiques étudiés

Station	intérêts				
	pastoralisme	Economi- que	Tourisme et loisirs	Agri- culture	écologique
Chott Merouane	-	Extraction des sels	-	-	Lieu de nidification pour le Flamant Rose + poissons
Oued Khrouf	Parcours ovins et caprins	-	Lieu de détente	palmeraie	Flore + faune (oiseaux d'eau + poissons + insectes)
Lac Ayata	-	-	Lieu de détente	palmeraie	Flore + faune (Oiseaux d'eau + insectes)
Sidi Slimane	-	-	Lieu de détente + tourisme	palmeraie	Flore + faune (Oiseaux d'eau + poissons)
Témacine	-	-	tourisme	palmeraie	Flore + faune (Oiseaux d'eau+ insectes+ poissons et grounoiulles)
Chott Baghdad	Parcours camelins	-	Lieu de détente	-	Flore + mammifères (rongeurs+ chacal)
Elbheir	Parcours camelins	-	Lieu de détente	-	Flore + mammifères(rongeurs+ chacal)
Oum Erraneb	-	-	-	-	Flore + insectes
Hassi Ben Abdellah	-	-	Lieu de détente (jeux et pêche)	palmeraie	Flore + faune (insectes+ poissons)
Ain Beidha	-	-	-	palmeraie	Flore + faune (insectes)

✓ **Agriculture**

La majorité des communes de la zone d'étude sont des régions agro-pastorales, malgré la prédominance de la vocation pastorale (parcours camelins, ovins et caprins), les zones humides commencent à développer une activité agricole de phoeniciculture.

Auparavant l'activité dominante aux alentours des zones humides était l'élevage, la phoeniciculture représentait une activité secondaire. Tandis qu'actuellement cette dernière est devenue plus importante suite aux politiques d'encouragement et les opérations de la mise en valeur vers les années quatre vingt, soit juste après l'avènement de la promulgation de la loi portant, accession à la propriété foncière agricole, et la loi de la concession agricole dans les années deux milles ; un vaste programme d'investissement en agriculture a été mis en place par les pouvoirs publics qui a permis de mettre en valeur des milliers d'hectare dans le secteur de la phoeniciculture, et même la plasticulture avec l'irrigation localisée. Cette dernière a connu un essor considérable ces dernières années, malheureusement, il est difficile d'avoir des données récentes et fiables.

✓ **Pastoralisme**

L'élevage reste aussi une activité importante avec; cette activité et en particulier l'élevage ovins qui est considéré parmi les activités les plus importantes du bassin des Chotts. Cette population steppique est composée essentiellement de pasteurs éleveurs pratiquant le nomadisme et la transhumance. Ce sont des formes sociales d'adaptation à ces milieux arides qui permettent de maintenir l'équilibre et de survivre aux crises écologiques dues à des sécheresses cycliques.

La façon de conduire les troupeaux dans ces régions permette une gestion rationnelle dans l'espace et dans le temps à travers ces mouvements : L'achaba, qui consiste à remonter les troupeaux dans les zones telliennes, vers un pacage valorisant le sous produit de l'agriculture, sur les chaumes et les pailles des terres céréalières pendant les trois à quatre mois de l'été et l'azzaba, conduisant les pasteurs et leurs cheptels vers le piedmonts nord de l'Atlas Saharien pendant les trois mois de l'hiver. La photo 10, représente un parcours camelins (chott Baghdad).



Photo 10. Parcours camelin (Chott Baghdad)

✓ **Ecologie**

Malgré les conditions climatiques défavorables, une quantité des pluies réduites et une sécheresse qui s'étale presque pendant toute l'année, une végétation clairsemée existe. Au niveau des bassins versants des Chotts se développe une végétation steppique halophile qui correspond à des zones de salinités décroissantes de l'intérieur vers l'extérieur (**Ghezlaoui et al, 2011**).

Les écosystèmes aquatiques étudiés recèlent une biodiversité floristique et faunistiques insoupçonnée. Celle-ci est néanmoins fortement fragilisée par les conditions bioclimatiques et la montée en puissance de l'activité anthropique.

Sur le plan floristique, ces écosystèmes renferment des taxons avec un fort taux d'endémisme. La flore de Sahara et notamment des écosystèmes aquatiques reste toujours méconnue. La diversité floristique et la présence non permanente des eaux, sous forme des espaces libres et leurs phytocénoses, favorisent l'installation des peuplements faunistiques diversifiés; principalement les insectes et les oiseaux d'eau : flamant rose (*Phoenicopterus ruber*) et Tadorne casarca (*Tadorna ferruginea*) et canard souchet (*Anas clypeata*) dans les eaux de lac Ayata et lac Oued Khrouf (photo 11).

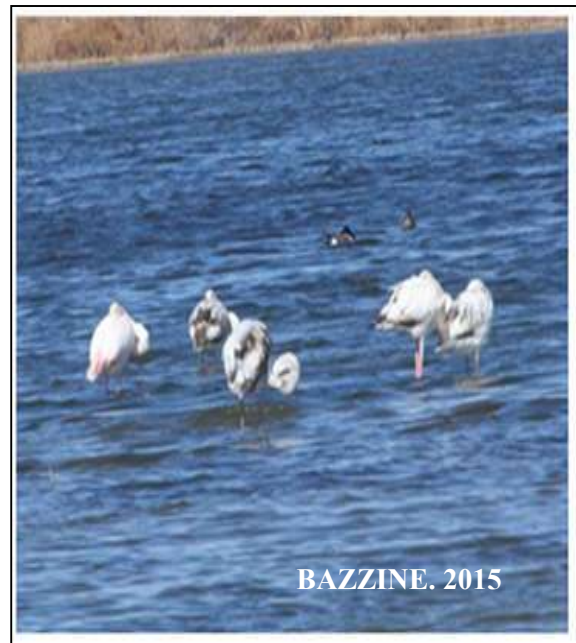


Photo 11. Les oiseaux d'eau flamant rose (*Phoenicopterus ruber*) et Tadorne casarca (*Tadorna ferruginea*) et canard souchet (*Anas clypeata*) dans les eaux de lac Ayata et lac Oued Khrouf

Les écosystèmes aquatiques sont de bons biotopes pour la reproduction, l'alimentation et la perchée des oiseaux migrateurs notamment. En effet, d'après les travaux de **Samraoui et al (2006)** et **Bouaguel et al (2014)** en plus du dénombrement des oiseaux d'eau qui intervient le mois de janvier de chaque année par les services des forêts, on note que ces dépressions constituent d'une part, un lieu d'habitat pour l'avifaune migratrice et d'autre part un lieu de nidification pour les oiseaux d'eau.

Tandis que la faune ichthyologique est relativement pauvre, néanmoins ce milieu aquatique constitue un biotope pour des organismes qui ne peuvent vivre que dans ces conditions, tel que les crustacés. Ces derniers ont fait l'objet de plusieurs publications par exemple **Kara et al (2004)** note une importante densité d'*Artemia salina* marqué à la fin de l'hiver et au printemps au niveau du chott Merouane.

Concernant les connaissances sur la biodiversité des milieux aquatiques sahariens, les données ne sont pas disponibles car les études dans ce sens sont rares. De même pour la faune sauvage mais il est signalé de manière générale la présence des espèces, qui sont déjà précité dans la première partie.

✓ Industrie

L'industrie au sens propre du terme est pratiquement inexistante dans la zone d'étude Chott, à l'exception des exploitations du sel (Chott Merouane). Cette dernière est basée sur l'énergie solaire. Le procédé consiste en l'évaporation progressive de l'eau du Chott, pour obtenir une saumure de bonne concentrations qu'on transfère après dans des tables salantes où, sous l'effet du vent et de l'évaporation, le sel se cristallise en formant une croûte superficielle uniforme qu'on récolte ensuite. L'exploitation du sel dans la région d'étude est considéré par la population riveraine, comme production agricole parce qu'elle est liée aux facteurs climatiques naturels (photo 12).



Photo 12. Extraction des sels par l'ENASEL (Chott Merouane)

✓ **Lieux de détente et tourisme**

Les écosystèmes aquatiques étudiés sont caractérisés par un micro-climat humide, ils constituent ainsi des lieux d'attraction pour la population surtout pendant l'été. En plus de leur cachet touristique. Le lac de Hassi Ben Abdellah a connu l'installation des jeux pour les enfants, en plus beaucoup de gens viennent dans ce site pour la natation, la pêche ou la détente.

III.6.2. Les signes de dégradation des écosystèmes aquatiques étudiés

Malheureusement, d'importantes menaces pèsent sur les écosystèmes aquatiques sahariens qui se trouvent soumis à des risques importants de dégradation. Les menaces et les pressions qui pèsent sur ces écosystèmes sont d'ordre climatiques (sécheresse) ou anthropique (pollutions).

➤ **Menaces et impacts majeurs sur les écosystèmes aquatiques du Bas Sahara**

D'une façon générale les perturbations qui affectent les écosystèmes aquatiques on peut les résumer comme suit :

- Différentes activités anthropiques : la destruction et/ou surexploitation des ressources biologiques, développement de l'armature urbaine, développement des travaux d'infrastructure, pollutions, tourisme.
- En termes de biodiversité, il y a lieu de relever l'existence de menaces pesant à moyen terme liées au développement des infrastructures (AEP, autoroute), urbanisation, agriculture intensive, pollutions.
- Les conditions climatiques difficiles et les déficiences pluviométriques pluriannuelles ;
- Salinisation des sols et mauvais drainage du sol ;
- Rejets des déchets liquides (eaux usées) et solides (déchets ménagères, débris de la construction). Cette situation est dominante dans toutes les régions sahariennes ; du fait de l'absence des réseaux hydrographiques pour l'évacuation des eaux usées. Le risque est aggravé avec l'absence des stations d'épuration des eaux usées. L'état des plans d'eaux

(couleur, odeur); Dans chott Ain Beida, lac Oued Khrouf, Lac Hassi Beh Abdellah, Ayata; inspirant que ces eaux à l'origine des égouts quant, au chott Ain Beidha est traversé par un réseau de drains pour canaliser et collecter les eaux des égouts et les eaux excédentaires de la nappe phréatique puis leurs évacuations vers chott Oum Erraneb situé à environ 8 kilomètres au Nord-est du chott Ain Beida.

Cette contrainte est liée premièrement à l'absence des pouvoirs publics dans le recouvrement des besoins des communes pour les décharges publique et deuxièmement à la méconnaissance des citoyens; aussi, la distance joue un rôle primordiale dans la fiabilité de cette problématique; proche (Chott Ain Beida, lac Ayata, Témacine, Chott Sidi Slimane, Hassi Ben Abdellah, Oued Khrouf) ou loin (Chott Merouane, chott Baghdad, lac Elbheir) aux agglomérations humaines.

L'envahissement des terrains secs et humides des écosystèmes aquatiques proches des habitations par les déchets domestiques, en constituent un fléau. Le problème venant du fait que l'ensemble des riverains de ces milieux jetaient leurs ordures ménagères dans les plans d'eau, qui sont devenues une décharge publique par la force du temps. (Voir Photo 13).

L'éloignement des (Chott Merouane, chott Baghdad, lac Elbheir) par rapport aux habitants crée un écosystème naturel, ou on constate l'absence totale de l'effet destructif direct de l'homme.

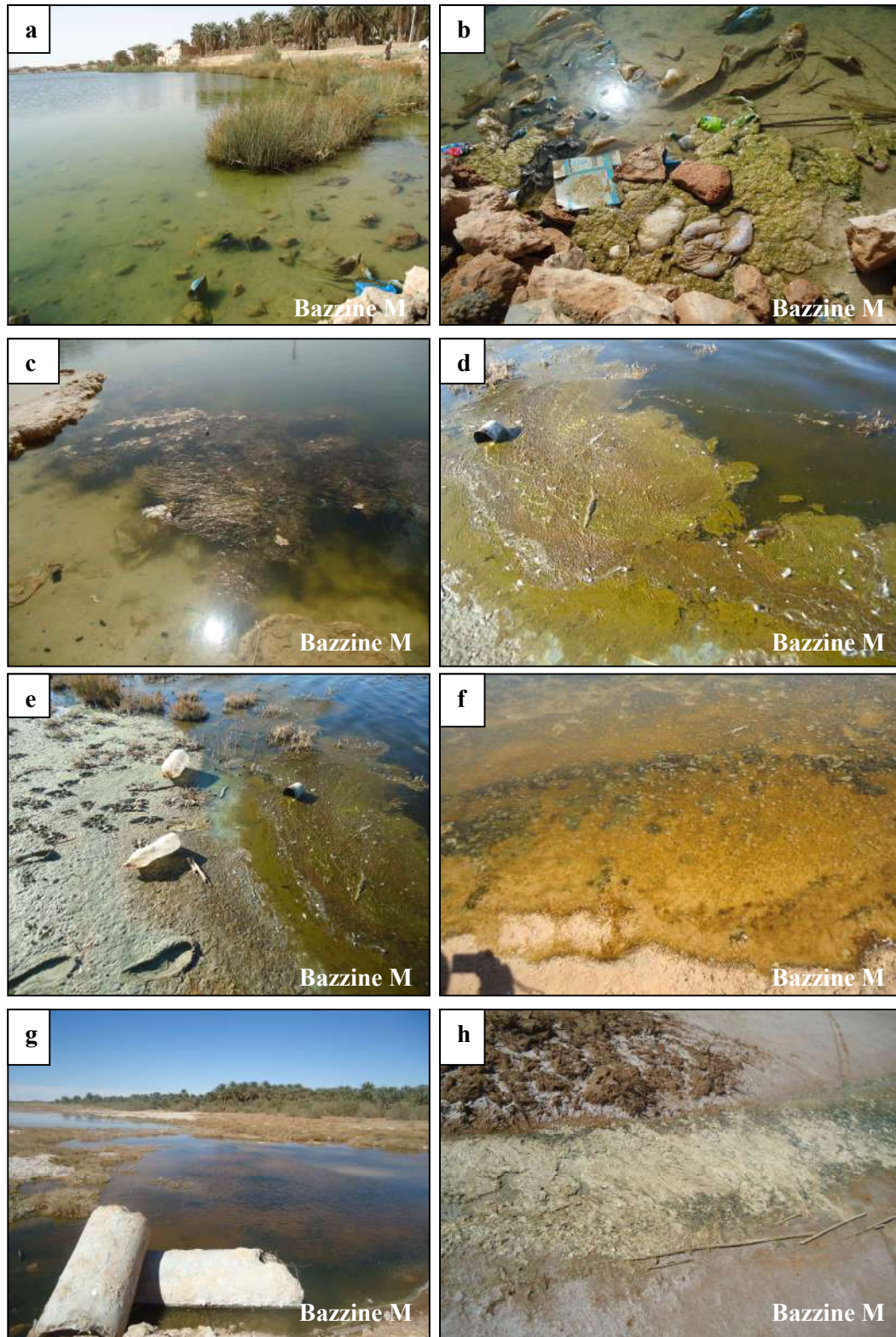


Photo 13. Pollution des eaux par les rejets des déchets liquides et solides dans les écosystèmes aquatiques étudiés

a et b. lac Témacine, c.Sidi Slimane, d.Hassi Ben Abdellah e.Ayata, f. Oum Erraneb, g. Ain Beidha, h.Oued Khrouf

III.7. La gestion des écosystèmes aquatiques du Bas Sahara

La politique algérienne préconise le développement de la valorisation des ressources rares consistant en l'exploitation durable de la ressource des systèmes aquifères sahariens (eau fossile) et une meilleure utilisation des espaces oasiens au travers d'actions de protection et de valorisation.

Notons aussi la valorisation de l'espace saharien et ses ressources pourtant sur le renforcement des connaissances des espèces sauvages et le tourisme saharien de haut de gamme, qui demeure un créneau à promouvoir dans ces régions, surtout avec la crise économique que l'Algérie vécue ces dernières années.

III.7.1. Cadre juridique et réglementaire

➤ La réglementation nationale

La réglementation nationale en matière de protection de la ressource en eau, de l'environnement des zones humides, de la nature est en vigueur depuis plus d'une décennie :

Loi n° 83-17 du 16. Juillet 83 portant code des eaux et décrets d'application

La présente loi a pour objet la mise en œuvre d'une politique nationale de l'eau, tendant entre autre à :

Article 1 : Assurer la protection des eaux contre la pollution, le gaspillage, et la surexploitation [extrait].

Article 2 : Le domaine public hydraulique se compose entre autre des lits des cours d'eau, des lacs, des étangs, des Sebkhass, et Chotts ainsi que les terrains et végétations compris dans leurs limites [extrait].

Article 99 : Il est interdit d'évacuer, de jeter ou d'injecter dans les fonds du domaine public hydraulique des matières de toute nature et notamment, des effluents urbains et industriels, contenant des substances solides, liquides ou gazeuses, des agents pathogènes, en qualité et en concentration de toxicité susceptible de porter atteinte à la santé publique, à la faune et la flore ou nuire au développement économique.

Loi n°87-03 du 27/01/87 relative à l'aménagement du territoire et décrets d'application

Les dispositions de la présente loi définissent le cadre de mise en œuvre de la politique nationale d'aménagement du territoire contenue dans la charte nationale.

Loi n°01-20 de Décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire La présente loi a pour objet de mettre en œuvre une stratégie nationale de l'environnement et un plan national d'actions pour l'environnement et le développement durable.

Loi n°3-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable**Loi n°5-12 du 4 août 2005 relative à l'eau**

Cette loi a pour objet de fixer les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale.

Article 4 : En vertu de la présente loi, font partie du domaine public hydraulique naturel : Les eaux superficielles constituées des oueds, lacs, étangs, Sebkhass et Chotts ainsi que les terrains et végétations compris dans leurs limites; les alluvions et atterrissements qui se forment naturellement dans les lits des oueds.

Loi n°10-02 du 29 juin 2010, a adoptée un Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT)

Ce dernier n'est pas seulement un document d'orientation fixant des grands principes, mais également de grands chantiers mis en œuvre depuis 2000 sur tout le territoire, à l'exemple de la création de grands barrages et les grands transferts hydrauliques interterritoriaux.

Loi n°11-02 du 17 Février 2011, relative aux aires protégées dans le cadre du développement durable

La présente loi a pour but de prendre en charge les préoccupations liées à la protection et la gestion des zones humides.

➤ La réglementation internationale

L'Algérie a signée, adhéree ou ratifiée plusieurs conventions et protocoles internationaux relatifs à la protection des espèces et des milieux (habitats). Les plus importants sont :

- **Ordonnance n° 73-38 du 25 juillet**, portant ratification de la convention concernant la protection du patrimoine mondial, culturel et naturel, fait à Paris le 23/11/1972.
- **Décret n°82-439 du 11/12/1982**, portant adhésion de l'Algérie à la convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats de la sauvagine, signée à Ramsar (Iran) le 02/02/1971.
- **Décret n°82-440 du 11/12/1982**, portant ratification de la convention de la nature et des essources naturelles, signée à Alger le 15/09/1968
- **Décret n°85-01 du 05/01/85**, portant ratification du protocole relatif aux aires spécialement protégées de la mer Méditerranée, fait à Genève le 03/04/1982.
- **Décret n°95-163 du 06/06/1995**, portant ratification de la convention sur la diversité biologique, signée à Rio de Janeiro le 05/05/1992.

III.7.1. La contrainte du non application de la réglementation relative à la protection des écosystèmes aquatiques

En effet, en dépit de l'existence d'un nombre important de textes réglementaires en vigueur (lois, codes, ordonnances, et décrets d'application) et d'organes de contrôle, cette réglementation n'est pas appliquée sur le terrain (**Raachi, 2007**). Assez souvent, les opérateurs ignorent son existence et génèrent de ce fait un problème de chevauchement des prérogatives entre les divers secteurs opérant dans le domaine de la gestion, de la protection ou de l'exploitation de la ressource en eau globalement, et des Chotts spécifiquement.

Dans le secteurs de la gestion et la protection de la ressource, nous attribuons la question de chevauchement de prérogative au fait que cette gestion est contingentée plus par la force du droit à certains secteurs tel que la direction générale des forêts (DGF) qui par la force du droit reste également le responsable exclusif de la conservation et la protection de la biodiversité et des habitats.

Par ailleurs, dans certains cas, même si cette réglementation est connue, elle n'est pas respectée lors de l'élaboration des programmes d'aménagement et de gestion des milieux naturels et d'exploitation des ressources.

En effet, l'absence des structure tel que la D.S.A. dans la zone d'étude qui agissent sur terrain, en réplique à des situations conjoncturelles de développement socio-économique mal planifié, définies et dictées au niveau central par des politiques qui tentent de répondre aux exigences des programmes d'ajustement structurel et aux institutions financières internationales sans toutefois tenir compte des exigences de l'équilibre écologique naturel des milieux **(Benyacoub et al., 1998)**.

En effet, la plupart des mesures spécifiques de politique développement-environnement ne sont pas élaborées et mises en œuvre dans des cadres parallèles aux développements local et régional. Ceci explique que leurs impacts sur l'environnement ne soient pas mitigés. Dans ce contexte, **Raachi (2007)** indique que pour créer un schéma d'aménagement et de gestion intégrée, cas du lac Tonga, il faut tenir compte du caractère protégé du territoire et au même temps des impératifs du développement socio-économiques de la population riveraine de la zone humide, dans une perspective de développement durable.

A travers cette analyse on a constaté que l'urgence des besoins économiques des populations a souvent conduit à la négligence de la réglementation en matière d'environnement par les structures même de l'État.

Si notre pays veut maîtriser ses ressources naturelles, il se doit mettre en place d'un dispositif permettant de renforcer les institutions et de valoriser les ressources humaines qui activent dans ce domaine

Il est donc impératif de prendre ces paramètres précités lorsqu'on envisage des mesures de conservation pour une gestion intégrée. Tenir compte du contexte écologique très particulier qui caractérise ces milieux.

Ces écosystèmes aquatiques du Bas Sahara représentent donc à la fois une part non négligeable du patrimoine naturel national, et une part importante du patrimoine naturel régional à prendre en compte lorsque sont envisagées des mesures de conservation.

III. 8. Classification des écosystèmes aquatiques étudiés

A la lumière des résultats obtenus, les écosystèmes aquatiques étudiés peuvent être subdivisés en deux groupes distincts.

III.8.1. Les écosystèmes aquatiques d'origine géologique

Se sont des écosystèmes dont la formation est d'origine géologique naturelle, c'est le cas des chotts Baghdad et Merouane. Ils sont caractérisés par :

- Leur grande superficie
- Les eaux sont très salées.
- L'alimentation se fait par les eaux des précipitations et de la nappe.
- La densité floristique est faible aux alentours des chotts Merouane et Baghdad à cause de la salinité très élevée, au fur et mesure qu'en s'éloigne des chotts la densité augmente, il s'agit d'une végétation halophyte, ensuite on trouve une végétation saharienne notamment les psammophytes (figure 61).
- L'accumulation des sels et des matières organiques qui ne peuvent pas être dégradées à cause de la salinité importante dans ces milieux extrêmement salins défavorables au développement des microorganismes telluriques.

III.8.2. Les écosystèmes aquatiques d'origine anthropique

Les régions d'Oued Righ et d'Ouargla sont parmi les régions les plus anciennement cultivées et les mieux connues du Sahara septentrional algérien. Elles sont constituées d'une centaine d'oasis de palmiers dattiers produisant des dattes d'excellente qualité. L'irrigation dans ces régions est pratiquée depuis des millénaires. A l'origine, les nappes superficielles représentaient les seules ressources en eau, puis l'exploitation des nappes souterraines par des puits jaillissants permit l'extension des cultures irriguées.

L'accroissement des débits fournis s'est traduit par un engorgement des terrains, une salure croissante des sols par remontée capillaire et la présence d'eaux stagnantes dans les bas fonds. La conséquence a été directe sur les palmeraies.

Le Bas Oued Righ dans la région de Mghaïer, initialement favorisé par l'artésianisme, a été le plus touché par ces faits d'hydromorphie. Mais le Haut Oued Righ l'est également à Touggourt, le vieux Ksar de Mestaoua, a vu ses fondements menacés par la nappe qui, sous la ville, était à moins de 2m de profondeur. Ces menaces sur la première région dattière du Sahara algérien ont amené les pouvoirs publics à prendre deux mesures à partir des années 70 ; une campagne de rebouchage des vieux puits et la réalisation d'un grand drain de 150 km, déversant les eaux usées dans le chott Marouane. Achevé en 1984 ; il évacue 17 m³/s. Ces deux mesures se sont révélées relativement efficaces mais la prolifération des forages captant le continental intermédiaire et l'apparition des problèmes liés à l'entretien des drains n'a fait qu'accentuer le phénomène de remontée et l'apparition de nouveaux lacs d'eau (**Bouchahm et al, 2013**).

Les écosystèmes aquatiques d'origine anthropiques étudiés présentent différents types d'existences. La plupart existent sur toute l'année et dépendent de l'alimentation par les eaux de pluie, de drainage et/ou celles d'assainissement, 90% de ces sites sont alimentés par les eaux de drainage et les eaux issues de la remontée de la nappe phréatique. On remarque aussi que trois sites, le lac Témacine, le lac Ayata, Oued Khrouf, Hassi Ben Abdellah, chott Oum Erraneb et Chott Ain Beidha sont alimentés par les eaux usées ce qui représente une menace écologique.

Qualité des eaux : Faciès chimique de nature chloruré sodique due à la forte évaporation et le lessivage des sols par les eaux de drainage. Les eaux de la majorité des sites recensés sont caractérisées par une minéralisation très élevée. La salinité des eaux varie d'une manière irrégulière d'un site à l'autre sous l'effet de plusieurs facteurs, à savoir ; l'évaporation, le lessivage des sols par les eaux de drainage, la nature des sites, l'origine des eaux et le mode d'alimentation de ces sites. Les fortes valeurs de la salinité et conductivité sont enregistrées dans la plupart des sites fermés notamment le lac de Sidi Slimane. Mais, la salinité des eaux reste inférieure à celle des écosystèmes aquatiques d'origine géologique.

La flore des sites de remontée : Une végétation hydrophytique, principalement des Hélophytes, est représentée par *Phragmites communis* et *Juncus maritimus*. Elle est

caractérisée par une densité élevée et une expansion de l'aire de répartition du Jonc .Une végétation halophytique représentée principalement par *Halocnemum strobilaceum* et *Tamarix gallica* où la Salicorne est l'espèce la plus représentée dans la quasi-totalité des écosystèmes étudiés. La densité de la végétation est plus élevée que les écosystèmes aquatiques d'origine géologiques qui ont une salinité très élevée qui entrave la croissance des plantes. La structure des écosystèmes d'origine anthropiques est ésentée dans la figure 62.

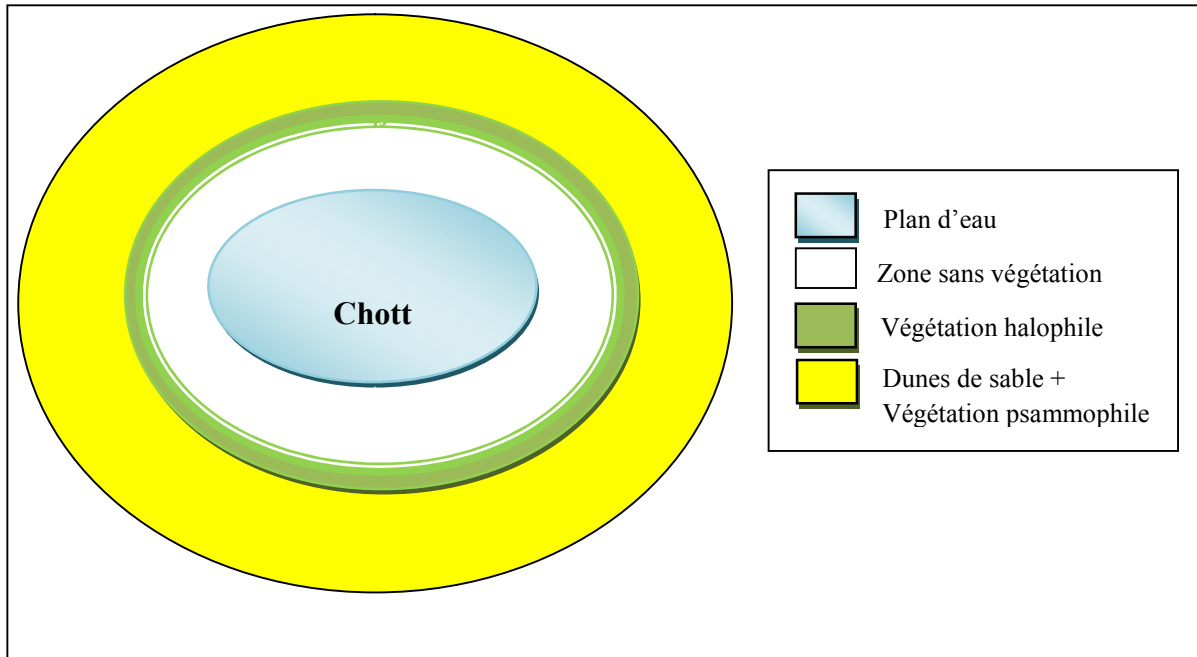


Figure 61. Structure des écosystèmes aquatiques d'origine géologique

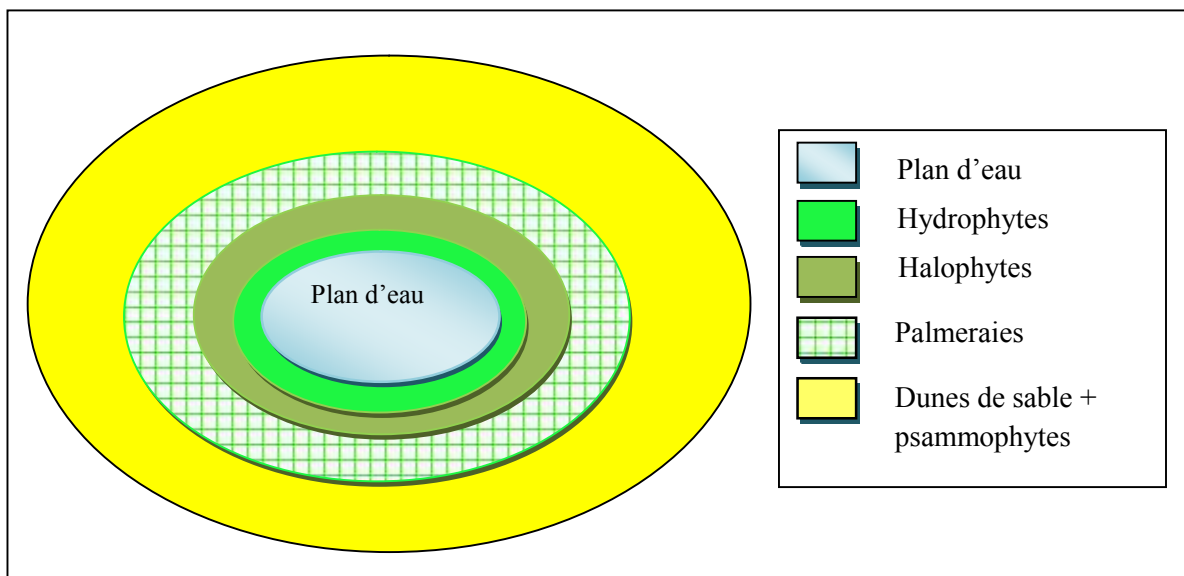


Figure 62. Structure des écosystèmes aquatiques d'origine anthropiq

Conclusion

Conclusion

Les écosystèmes aquatiques sont très répandus et bien répartis dans le Bas Sahara algérien. Nous avons choisi d'étudier les enjeux écologiques des dix lacs et chotts salés des régions d'étude (Oued Righ, Ouargla, El Hadjira).

A l'issue de cette étude, nous avons pu avoir une connaissance sur les variations de la composante floristique et des caractéristiques édaphiques et hydriques des écosystèmes aquatiques du Sahara Septentrional algérien.

A travers ce travail, il est bien illustré que ces milieux aquatiques présentent une richesse faunistique et floristique et même économique non négligeable. Bien que les différents aspects d'étude scientifiques des écosystèmes aquatiques en Algérie soient d'actualités, il reste un grand manque dans ce domaine.

Les milieux aquatiques étudiés abritent 11 espèces appartenant à 07 familles botaniques. La répartition des espèces varie suivant les stations d'étude. Le lac Témacine et le Chott Baghdad sont les plus riches et les plus diversifiés avec 06 espèces vivaces. La pauvreté de la diversité floristique est déjà connue pour les régions arides. Les Amaranthacées sont les plus dominants ce qui indique la capacité de ces espèces à résister à la salinité et à la sécheresse qui règne dans les milieux humides salés à climat hyperaride. Par ailleurs, ces espèces présentent des recouvrements importants dans ces milieux. En outre l'abondance des espèces Amaranthacées dans les alentours des lacs justifie également la dominance des Chaméphytes sur les autres types biologiques.

Concernant l'étude des caractéristiques édaphiques, les analyses granulométriques des sols étudiés montrent en général une prédominance de la texture sableuse, riche en fractions sableuses fines, ces écosystèmes sont caractérisés par des sols neutres à alcalins avec un pH variant de 7,2 à 8,8, par un taux d'humidité est élevé dans l'ensemble des stations d'étude il dépasse (13 %), qui est expliqué par la présence d'une nappe phréatique proche de surface. Les sols étudiés sont classés comme des sols salés à extrêmement salés (sols sodiques) affectés par la salure sous la dominance de l'ion sodium. Ces sols montrent une allure

descendante du niveau de l'hydro- halomorphie tout en s'éloignant des centres des chotts ou des lacs. Ces abaissements sont nettement dus aux variations du niveau des eaux phréatiques et aux conditions climatiques de la région. La teneur en gypse et en calcaire des sols étudiés est importante, et on a enregistré des teneurs relativement élevées en matière organique, alors que l'azote total est représenté par des faibles pourcentages résultat d'un couvert végétal dispersé et/ou absent.

La qualité des eaux varie d'une station à une autre en relation avec les ressources en eaux (nappe phréatique, eau de drainage agricole et urbain). Il apparaît que les eaux des chotts Merouane et Baghdad est la plus élevée, avec une CE de 204,5 et 163,37 dS/m respectivement. Les résultats des indicateurs de la pollution ont montré que les eaux des chotts Merouane, Ain El Beida et Oum El-Ranneb ainsi que le lac Ayata et Hassi Ben Abdellah sont très polluées avec un taux très important de MES et extrêmement riches en sels. Les eaux des écosystèmes aquatiques (chott Sidi Slimane et les lacs Témacine, Oued Khrouf) sont salées et moins riches en matière organique. Donc on peut dire que la salinité et la teneur en MES sont les principaux facteurs de différenciation entre les eaux étudiées.

Les écosystèmes aquatiques étudiés peuvent être subdivisés en deux groupes : les écosystèmes d'origine géologique et les écosystèmes d'origine anthropique qui résultent de phénomène de la remontée de la nappe. Le premier groupe caractérisé par l'ancienneté, la superficie est importante, la salinité élevée des eaux qui empêche le développement de la végétation autour des chotts, le deuxième groupe caractérisé par des sites récents, étroits, la densité floristique est élevée autour des plans d'eau au fur et à mesure qu'on s'éloigne des plans d'eau la densité diminue.

Les principaux facteurs de dégradation qui menacent les écosystèmes étudiés sont : la pollution qui résulte des rejets des déchets solides et liquides, la destruction des formations végétales suite aux travaux d'aménagement et d'infrastructure.

Si notre pays veut maîtriser ses ressources naturelles, il se doit mettre en place d'un dispositif permettant de renforcer les institutions et de valoriser les ressources humaines qui activent dans ce domaine. Il est donc impératif de prendre ces paramètres précités lorsqu'on envisage

des mesures de conservation pour une gestion intégrée. Tenir compte du contexte écologique très particulier qui caractérise ces milieux.

Des mesures urgentes s'imposent pour juguler le phénomène de la remontée des eaux. D'où la nécessité de la mise en place d'un plan d'aménagement hydro-agricole et une stratégie de gestion des eaux usées, répondant à cette préoccupation urgente.

- La réalisation des stations de traitement des eaux usées, le suivi de l'irrigation à partir des forages du CI & CT,
- La réalisation des réseaux d'assainissement et de station d'épuration des eaux usées,
- La surveillance et l'entretien des réseaux de drainage ainsi que les stations de refoulement.
- Amélioration de la qualité des milieux récepteurs pour préserver les ressources naturelles en eau. Et en sol.
-

Quelques sites peuvent être valorisés et mieux exploités dans le tourisme des zones du sud algérien ce qui assurera aux régions concernées un développement économique, social et culturel.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **A.F.N.O.R., 1992.** Sol : reconnaissances et essais. Norme française. 16p.
2. **A.F.N.O.R., 1996.** Sol : reconnaissance et essais. Norme française. 15p.
3. **A.F.N.O.R., 1999.** Qualité des sols. Ed. AFNOR, vol. 1 et 2, Paris, 973p.
4. **Agence de l'eau Adour-Garonne., 2007.** Le suivi des lacs du Bassin Adour-Garonne. 15P.
5. **Agropolis international., 2007.** Ecosystèmes aquatiques : ressources et valorisation. N° 6. Montpellier. 67p.
6. **Aidoud F., 1984.** Contribution à l'étude des groupes de Sparte (*Lygeum spartum* L.) des Hauts Plateaux de Sud Oranien. Etude phytoécologique et taxonomique. Thèse Doctorat 3^{ème} Cycle. Université des Sciences et Technologie, Houari Boumediene, Alger.
7. **A.N.R.H., 2000.** Notes relatives à la remontée des eaux dans la cuvette de Ouargla, 11 pages.
8. **A.N.R.H., 2005.** Zones humides au Sahara septentrional, Caractérisation et propositions d'aménagement. C.I.R.E.S.S. Ouargla. 4p.
9. **Andriamalala C.A.J., 2007.** Etude écologique pour la gestion des mangroves à Madagascar Comparaison d'une mangrove littorale et d'estuaire à l'aide de la télédétection. Thèse de Doctorat. 280p. Basel.
10. **Anada T., 2011.** La convention de Ramsar sur les zones humides : 40 ans d'actions. *La Tribune*. Atelier de la terre. 12p.
11. **Aubert G., 1978.** Méthodes d'analyses des sols. 189p. Marseille.
12. **Bagnouls F., Gaussen H., 1953.** Les climats biologiques et leurs classifications. *Annales de Géographie*, 355: 193-220.
13. **Baize D., 2000.** Guide des analyses en pédologie. INRA Editions, Paris. 257 p.
14. **BAIZE D., et JABIOL B., 1995.** Guide Pour la Description des Sols. INRA Editions, Paris. 375 p.
15. **Ballais J L., 2010.** Des oueds mythiques aux rivières artificielles : l'hydrographie du bas-Sahara Algérien. *Physio-Géographie Physique et Environnement*, 4: 107-127.

16. **Baral N., et Heinen J.T., 2007.** Resources use, conservation attitudes, management intervention and park- people relations in the Western Terai landscape of Nepal. *Environmental Conservation*, 34: 64-72.
17. **Barzandji A.F and Stoops G., 1974.** Fabric and mineralogy of gypsum accumulations insome soils of Iraq. International Soil Science Society, Moscow, USSR.10th International Congress of Soil Science, vol. 7. pp 221-277.
18. **Bensaci E., Saheb M., Nouidjem Y., Bouzegag A., Houhamdi M., 2013.** Biodiversité de l'avifaune aquatique des zones humides sahariennes : cas de la dépression d'Oued Righ (Algérie). *Physio-Géo, Volume 7 | 2013*, pp : 211-222.
19. **Benyacoub S., Ziane N., Chalabi B., Baba Ahmed R., Raouag R., Boulehbellé R., Louanchi M., 1998.** Plan de gestion du Parc National d'El Kala et du complexe des zones humides. Projet Global Environemnt Facility – Banque Mondiale.
20. **Berkal I., 2006.** Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie. Mémoire de Magister. I.N.A El Harrach, Alger. 112 p.
21. **Briefert C et Perraud R., 2004.** Chimie de l'Environnement : Air, eau, sols ; déchets 1^{ère} édition. De Boeck Université pp 234-251.
22. **Braun-Blanquet., 1951.** Pflanzensoziologie. G rundzüge der Vegetationskunde. Springer-Verlag, Wien and New York. 865P.
23. **Bryan R G., Drake N A., Millington A C and Sellwood B W., 2004.** The chemical evolution of the brines of Chott El Djerid, Southern Tunisia, after an exceptional rainfall event in January, 1990. In: Renaut R W., and Last W M., Editors, the sedimentlogy and geochemistry of modern and ancient saline lakes. Vol : 50., SEPM Publication, Tulsa.
24. **Bouaguel L., Bencasi E., Saheb M., Bouzlama Z., Houhamdi M., 2014.** Première nidification réussie di Flamant rose *Phoenicopterus roseus* dans la vallée de l'Oued Righ (Sahara algérien). *Rev. Sci. Technol., Synthèse 28: 75-83 (2014)*.UBMA.
25. **Bouchahm N., Chaib W., Drouiche A., Zahi F., Hamzaoui W., Salemkour N., Fekraoui F., Djabri L., 2013.** Caractérisation et cartographie des sites de remontée dans la région de l'Oued Righ (Bas Sahara algérien). *Journal Algérien des Régions Arides*. N° spécial. CRSTRA. pp: 76-88 ;
26. **Boumaaraf B., 2013.** Caractéristiques et fonctionnement des sols dans la vallée d'Oued Righ. Sahara nord oriental, Algérie. Thèse de Doctorat en Pédologie. Université de Reims Champagne-Ardenne. 97p.

27. **Boumaaraf B., Bensaid R., Marre A. 2014** . Paysages et sols dans la vallée d'Oued Righ Sahara Nord Oriental Algérie. *Courrier du Savoir*. N°18. pp.103-110.
28. **Bouziid A., Samraoui B., 2008**. Risque encourus par les zones humides sahariennes. Séminaires internationale sur la biodiversité et la conservation des zones humides nord africaines, 2-4 décembre, Université de Guelma, Algérie.
29. **Chenchouni H., 2012**. Diversité floristique d'un lac du bas Sahara algérien. *Acta Botanica Malacitana*, 37 : 33-44.
30. **Chehema A., 2006**. Catalogues des plantes spontanées du Sahara Septentrional algériens. Labo. Eco. Sys., Univ. Ouargla, 140p.
31. **CREPA., 2007**. Protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. 32p. CREPA, Ouagadougou.
32. **Daget P., 1982**. Sur le concept de mesure et son application en écologie générale. *Vie et Milieu*, 32: 281-282.
33. **Daget P et Poissonet J., 1991**. Prairies et pâturage, méthodes d'étude. Institut de Botanique Montpellier, France. 354p.
34. **Daoud Y et Halitim A., 1994**. Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Sècheresse*, 5 :151-160.
35. **Demnati F., Allache F., Ernoul L., Samraoui B., 2012**. Socio-Economic Stakes and Perceptions of Wetland Management in an Arid Region: A Case Study from Chott Merouane, Algeria. *AMBIO a Journal of Humain Environment.*, 41: 504-512. Springer.
36. **Demnati F., 2013**. Biodiversité et Enjeux Socio-économiques des lacs salés (Chotts et Sebkhass) d'Algérie. Cas du Chott Merouane et Melghir. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. Université de Mohammed Khider. Biskra. 109p.
37. **De Groot R., Stuij M., Finlayson M & Davidson N., (2007)**. Évaluation des zones humides : Orientations sur l'estimation des avantages issus des services écosystémiques des zones humides. Rapport technique Ramsar n° 3. Série des publications techniques de la CDB n°27. Secrétariat de la Convention de Ramsar. Gland, Suisse. 50P.
38. **D.G.F., 2004**. Atlas des zones humides algériennes d'importance internationales. Alger : D.G.F. éditions.
39. **D.G.F., 2005**. Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar. Chott Ain El Beida (Wilaya d'Ouargla). Conservation des Forêts Wilaya d'Ouargla.12 P.

41. **D.G.F., 2015.** Comptage hivernale des oiseaux migrateurs. DGF, Ouargla.
42. **Dubief J., 1953.** Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Ed. Service des études scientifiques, Alger. pp : 26-103.
43. **Dubost D., 2002.** Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Biskra: C.R.S.T.R.A. édition.
44. **Duchaufour P., 1977.** Pédogénèse et classification. Ed. MASSON & CIE, Paris, 477p.
45. **Durant J.H., 1954.** Les sols d'Algérie. SES. Alger, 244p.
46. **Durant J.H., 1959.** Les sols rouges et les croûtes en Algérie. SES. Alger. 187p.
47. **El Ghachtoul Y., Alaoui Mhamedi M., et Gabi H., 2005.** Eutrophisation des eaux de retenues des barrages Smir et Sehla (Marroc) : causes, conséquences et consignes de gestion. *Revue des sciences de l'eau, Rev. Sci. Eau.* 18/ spécial (2005) : 79-89.
48. **Emberger L., 1955.** Une classification biogéographique des climats. Recueil des Travaux du Laboratoire de Botanique, Géologie et Zoologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Montpellier, *série Botanique*, 7: 3-43.
49. **Farber S C., Constanza R., & Wilson M A., 2002.** Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics* 41: 375-92.
50. **Ghezlaoui B.E., Benabadji N., Benmansour D., Merzouk A., 2011.** Analyse des peuplements végétaux halophytes dans le chott El-Gharbi (Oranie- Algérie). *Acta Botanica Malacitana*, 36:113-124.
51. **Gillet F., 2000.** La phytosociologie synusiale intégrée. 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.
52. **Gounot M., 1969.** Méthodes d'études quantitatives de la végétation. Masson et Cie. Paris. 314 p.
53. **Grosclaude G., 1999.** Un point sur l'eau Tome I milieu naturel et maîtrise. INARA. Algérie. Pp : 89-136.
54. **Guendouz A. et Al., 2003.** Hydrogeochemical and isotopic évolution of water in The Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara. *Hydrogéologie journal* 11: 483-495.
55. **Guinochet M., 1973.** Phytosociologie. Ed. Masson, Paris. 227p.

56. **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.
57. **Halilat M.T., 1998.** Étude expérimentale de sable additionné d'argile, comportement physique et organisation en conditions salines et sodiques. Thèse. Doct. I.N.R.A. I.N.A. Paris. Grigon. 229p.
58. **Halitim A., 1985.** Sols des régions arides d'Algérie. Alger: O.P.U. édition.
59. **Hamdi Aissa B., 2004.** Soils and Brine Geochemistry and Mineralogy of Hyper arid Desert Playa, Ouargla Basin, Algerian Sahara. *Arid Land Research and Management*, 18:103-126.
60. **Hamdi-Aissa B., 2001.** Le fonctionnement actuel et passé de sol du Nord Sahara (cuvette de Ouargla). Thèse doc, Inst. Nati. Agro. Grignon, 194p.
61. **Houari I M., Nezli I E., et Bouregaa S., 2014.** Description géologique et géométrique des formations aquifères de la cuvette de Ouargla. *Algerian journal of arid environment*. vol. 4, n° 1, Juin 2014: 12-19.
62. **Houhamdi M., Bensaci T., Nouidjem N., Bouzegag A., Saheb M., Samraoui B., 2008.** Écoéthologie du Flamant rose (*Phoenicopterus roseus*) hivernant dans les oasis de la Vallée de l'Oued Righ (Sahara algérien). *Aves*, 45: 15-27.
63. **I.B.A., 2015.** Etat des sites IBA suisses : évaluation des experts locaux. *Zones prioritaires pour la conservation de la biodiversité*. ASPO/BirdLife Suisse, Zurich. 44p
64. **Jaccard P., 1908.** Nouvelles recherches sur la distribution florale: Bulletin de Société Vaudoise des Sciences Naturelles, 44 : 223-270.
65. **Kara M H., Bengraine K A., Derbal F., Chaoui L Amarouayache M., 2004.** Quality evaluation of a new strain of *Artemia* from Chott Merouane. *Aquaculture*, 235: 361-369.
66. **Khadraoui A., 2005.** Eaux et Sols en Algérie (Gestion et impact sur l'environnement). Ed. EMPAC, Constantine, Algérie, 392p.
67. **Khadraoui A., 2010.** Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériennes. Caractérisation– contraintes et propositions d'aménagement. Alger: O.P.U. édition.
68. **Kherraze M.E.H., Lakhdari K., Kherfi Y., Benzaoui T., Berroussi Sami., Bouhanna M., Sebaa A., 2010.** Atlas floristique de la vallée de l'Oued Righ par écosystème. Edition GUERFA Biskra-Algérie. 91 pages.

69. **Kingsford RT., 2000.** Ecological impacts of dams, water diversions and river management on floodplain wetlands in Australia. *Austral Ecology* (2000) **25**, 109–127.
70. **Koull N., 2015.** Etude phytoécologique spatiotemporelle des zones humides du Nord-est du Sahara septentrional algérien (Région de Ouargla et de l'Oued Righ). Thèse Doctorat en Sciences Agronomiques. Université d'Ouargla. 165P.
71. **Koull N., et Chehma A., 2013.** Diversité floristique des zones humides de la vallée de l'Oued Righ (Sahara septentrional algérien). *Revue des BioRessources*. Vol 3 N° 2. Laboratoire de Bioressources sahariennes. Univ de Ouargla., pp : 72-81.
72. **Koull N., et Chehma A., 2014.** Soil-Vegetation Relationships of Saline Wetlands in North East of Algerian Sahara. *Arid Land Research and Management*. 29:72–84. Edition Taylor & Francis. London.
73. **Lamini A., 2012.** Etude géochimique et minéralogique des chotts de la région d'el Hadjira. Thèse magister. Univ. Ouargla. 122p.
74. **Le Houérou H.N., 1975.** Problems and potentialities of the arid grounds of North Africa. *Options Slandered*. Paris, 26: 17-35.
75. **Lemee G., 1967.** Précis de la biogéographie. Masson et Cie, 285p.
76. **Lévêque C., 1994.** Etat de santé des écosystèmes aquatiques. Les variables biologiques comme indicateurs. Actes du Séminaire national *Hydrosystèmes*. Cemagraf Editions. Paris. 26p.
77. **Long G., 1974.** Diagnostic phytoécologique et aménagement de territoire. Masson et Cie, Paris. Pp : 22-252.
78. **Mathieu C., et Piéltain F., 1998.** Analyse physique des sols. Méthodes choisies. Technique & documentation, Paris, Londres, New York. 275 p.
79. **M.E.D.D.E (Ministère de l'Ecologie de Développement Durable, de l'Energie), 2012.** Vulnérabilité des milieux aquatiques et de leurs écosystèmes, Etude des zones humides. HYDRECO GUYANE, France. 144p.
80. **Monod T., 1992.** Du désert. *Sècheresse*, 3 (1): 7-4.
81. **Morand T., 2001.** Soil landscape of the Woodbun 1:100000 sheets. Department of land and water conservation, Sydney: 271-273.
82. **Niang Diop F., 2010.** Module de formation des formateurs Sur Le suivi de la flore et de la végétation aquatiques. *Intégration de la biodiversité d'eau douce dans le processus de développement en Afrique : mobilisation de l'information et sites de*

- démonstration. Projet de démonstration Bassin du fleuve Gambie. Wetlands International Afrique. DAKAR-FANN. 62 P.*
83. **O.N.M., 2015.** Données climatiques d'Ouargla, Touggourt et Hassi Messaoud.
84. **O.S S., (Observatoire du Sahara et Sahel), 2008.** Système aquifère du Sahara septentrional
85. (Algérie, Tunisie, Libye): gestion commune d'un bassin transfrontalier. Collection Synthèse 1: 48.
86. **Ozenda P., 1958.** Flore du Sahara Septentrional et Central. Paris : C.N.R.S. édition. 121.
87. **Ozenda P., 1982.** Les végétations dans la biosphère. Paris : Masson édition.
88. **PAS-BIO., 2003.** La Biodiversité des zones humides en Méditerranée. Projet pour la préparation d'un Plan d'Action Stratégique pour la Conservation de la Biodiversité dans la Région Méditerranéenne (PAS - BIO). CAR/ASP – Tunis. 47 P.
89. **Piper A. M., 1944.** A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. – American Geophysical Union, Transcript, 25: 914-923.
90. **Pouget M., 1980.** Les relations sol-Végétation dans les steppes sud-algérien (Algérie). Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille 3 (France).
91. **Quezel P., Santa S., 1963.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Paris : CNRS édition.
92. **Raachi M L., 2007.** Etude préalable pour une gestion intégrée des ressources du bassin versant du lac Tonga au nord-est algérien. Mémoire de maîtrise, université du Québec, Montréal, Canada.
93. **Ramade F., 2005.** Eléments d'écologie. Ecologie appliquée. Paris : Dunod édition.
94. **Rejsek F., 2008.** Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques 2^{ème} Ed. pp53-290.
95. **Richards L.A., 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook 60, USDA, Washington D.C. 160 p.
96. **Rodier J., 2009.** Analyse de l'eau. 9^{ème} Édition. Paris, 1526p.
97. **Rogel J.A., AlcarazAriza F and Ortiz Silla R., 2000.** Soil salinity and moisture gradients and plant zonation in Mediterranean salt marshes of Southeast Spain. Wetlands, 20:357-372.

98. **Roselt/OSS., 2008.** Guide méthodologique pour l'étude et le suivi de la flore et de la végétation. Guide méthodologique pour l'étude et le suivi de la végétation. Collection Roselt/OSS, CT n° 1, Tunis, 175 p.
99. **Rouxel C., 2010.** Conservation de la biodiversité et développement durable des territoires. *Economie Rurale*, 320: 39-52.
100. **Rouvoilois-brigole M., 1975.** Le pays de Ouargla (Sahara algérien) variation et organisation. Pub. Univ. Sorbonne. Paris. 361p.
101. **Saïfouni A., 2009.** États des lieux des zones humides et des oiseaux d'eaux en Algérie. Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques ; E.N.S.A ., El Harrach, Alger. 250 p.
102. **Samraoui B., chakri A., et Samraoui F., 2006.** Large branchiopods (Branchiopoda : Anostraca, Notostraca and Spinicaudata) from the salts lakes of Algeria). *Journal of limnology*. 65 : 83-88.
103. **SASS., 2003.** Système aquifère du Sahara Septentrional. *Une conscience de Bassin. Hydrogéologie. Volume II.* 2^e édition. OSS. Tunis. 317p.
104. **Shannon C.E and Weaver W., 1949.** The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.
105. **Sogreah S., 1971.** Participation à la mise en valeur de l'Oued Righ. Etude agropédologique, Doc. Poly .MTPC. Alger. pp 7-36.
106. **Touchart L., 2001.** Les lacs (origine et morphologie). L'Harmattan, Paris.
107. **Toutain G., 1979.** Eléments d'agronomie saharienne, de la recherche au développement. Ed .INRA, Paris, 276p.
108. **UNESCO, 1972** - Nappe de continental intercalaire. Modèle mathématique. Paris. 122p.
109. **UNESCO., 2003.** L'eau pour les hommes, l'eau pour la vie. Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau. Paris : UNESCO édition.
110. **Viellefon J., 1979.** Contribution à l'amélioration de l'étude analytique des sols gypseux. *Cah. ORSTOM. Série Pédologie*, 17 :195-201.
111. **Youcefi M., 2011.** Étude de l'impact de l'hydro-halomorphie des sols sur la biogéographie des hydro-halophytes dans la cuvette de Ouargla. Magister en Biologie. Univ d'Ouargla. 110p.
112. **Z.H info., <http://www.zones-humides.org/> date de consultation : 26/10/2017**
113. **<https://www.aquaportail.com/> date de consultation 10/10/2017**

114. (<http://atelierpeche.free.fr>, date de consultation 16 /09/2017.

115. <https://www.wikipedia.org>) date de consultation 26/10/2018

Annexes

Annexe 01. Les animaux sauvages (DGF, 2014)

familles	Nom commun	Nom scientifique	Abondance relative
canidés	Chacal commun	<i>Canis aureus</i>	Commun
	fennec	<i>Fennecus zerda</i>	Rare
Suidés	Sanglier commun	<i>Sus scrofa</i>	Commun
camélidés	Dromadaire	<i>Camelus dromedarius</i>	Commun
Equidés	Ane domestique	<i>Asinus asinus</i>	Commun
Léporidés	Lièvre de Cap	<i>Lepus capensis</i>	Commun
Gerbillidés	Rat des sables grande	<i>Psammomys obesus</i>	Rare
	Gerbille d’Egypte	<i>Gerbillus pyramidum</i>	Rare
	Petite gerbille des sables	<i>Gerbillusgerbillus</i>	Commune
	Gerbille naine	<i>Gerbillus nanus</i>	Commun
	Mérione de déserts	<i>Meriones crassus</i>	Très rare
Dipodidés	Petite gerboise	<i>Jaculus jaculus</i>	Rare
Erinacéidés	Hérisson du désert	<i>Paraechinusaethiopicus</i>	Rare
Rhinolophidés	Rhinolophe fer à cheval	<i>Rhinilophus clivosus</i>	Commun
Vespertilionidés	Pipistrelle du désert	<i>Pipistrellus deserti</i>	Rare
	Pipistrelle de hemprich	<i>Otonycterus hemprechi</i>	commun

Annexe 02. Echelle de pH de l'eau (SOLTNER, 1989)

pH	Eau
6,75 < pH < 7,25	Nature
7,25 < pH < 8,5	Alcalin
pH > 8,5	Très alcalin

Annexe 03. Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand J.H. (1983)

Classe	CE en $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 25 °C	Qualité des sols	Effet sur le rendement
Classe I	0 à 500	Non salé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures très sensibles au sel
Classe III	1000 à 2000	Salé	Diminution des rendements de la plus part des cultures
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent un rendement satisfaisant
Classe V	Plus de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent des rendements satisfaisants

Annexe 04. Classification de la fertilité des sols à partir du pH et de la teneur en azote total (Dabin B., 1970)

Echelle	1	2	3	4	5
<i>pH</i>	<i>Mauvais</i>	<i>Médiocre</i>	<i>Moyen</i>	<i>Bon</i>	<i>Très bon</i>
4,5	< 0,6	0,6 à 1,2	1,2 à 2,5	>2,5	
5	< 0,45	0,45 à 0,8	0,8 à 1,5	1,5 à 3	>3
6	< 0,3	0,3 à 0,45	0,45 à 0,8	0,8 à 1,5	>1,5
6,5	< 0,2	0,2 à 0,3	0,3 à 0,45	0,45 à 1	>1
7	< 0,1	0,1 à 0,2	0,2 à 0,3	0,3 à 0,45	>0,45

Annexe 05. Classement des eaux de surface stagnants et courants d'après leur qualité (BELIFERT, 2003).

Classe de qualité	Taux de saturation en O ₂ (en %)	oxygène dissous (en mg/l)	DBO ₅ (en mg/l)	DCO (en mg/l)	IBGN	Qualité de l'eau
1A	≥ 90	≥ 7	≥ 3	≥ 20	≥ 17	Excellente
1B	70...90	5...7	3...5	20...25	16...13	Bonne
2	50...70	3...5	5...10	25...40	12...9	Moyenne
3	< 50	< 3	10...25	40...80	8...5	Médiocre
4	-	-	>25	>80	≤ 4	Hors classe

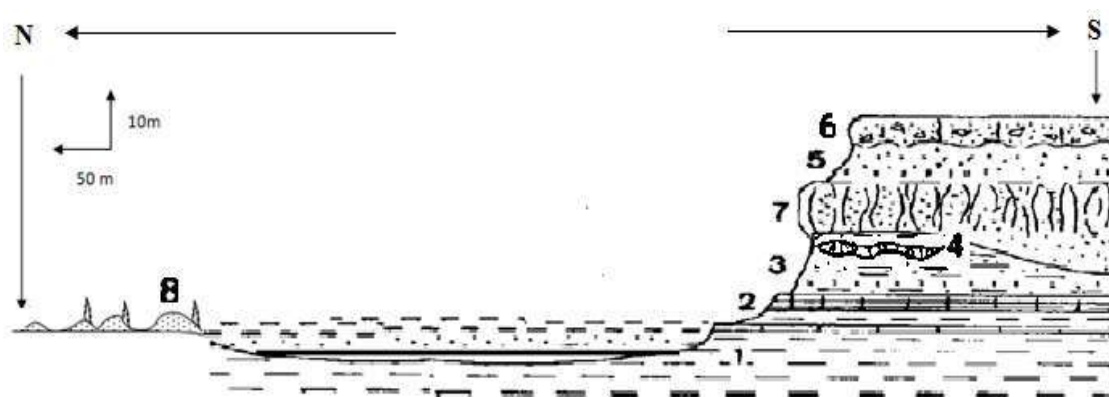
Annexe 06. Classe de l'oxygène dissous (BEAUPOILI et BORNENS, 1997)

O ₂ dissous >5mg/l	Excellence à acceptable
3mg/l <O ₂ <5mg/l	Qualité moyenne à médiocre pouvant ainsi générer un stress biologique
2mg/l <O ₂ <3mg/l	Considérée de mauvaise à très mauvaise qualité
0mg/l <O ₂ <2mg/l	Le domaine hypoxique du plan d'eau est atteinte
1mg/l <O ₂ <2mg/l	L'eau est hors classe, niveau 1
0mg/l <O ₂ <1mg/l	L'eau est hors classe, niveau 2, relevant du domaine anoxique

Annexe 07. Degré de minéralisations des eaux (RODIER, 1976)

Conductivité électrique	La minéralisation
conductivité<100μS/cm	Minéralisation très faible
100μS/cm<conductivité<200 μS/cm	Minéralisation faible
200 μS/cm< conductivité<333 μS/cm	Minéralisation moyenne accentuée
333 μS/cm< conductivité<666 μS/cm	Minéralisation moyenne
666 μS/cm< conductivité<1000 μS/cm	Minéralisation importante
conductivité>1000 μS/cm	Minéralisation excessive

Annexe 08. Coupe simplifié des formations qui affleurement proche de sebkha Beghdad (Lamini, 2012)

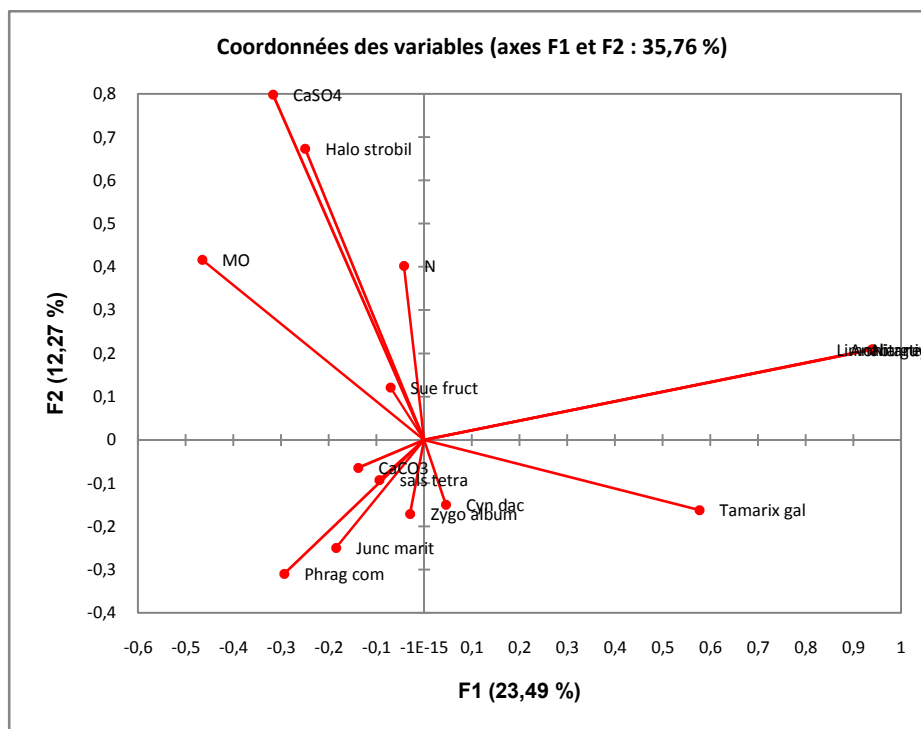


- 1 : argiles brun
- 2 : bancs de calcaire blanc
- 3 : argilites sableuses verts.
- 4 : lentilles de calcaire oolitique lacustre.
- 5 : sable.
- 6 : calcaire gréseux : sommet du plio-villafranchien avec croûte calcaro-gréseuse du villafranchien supérieur
- 7 : gré à orgues.
- 8 : dune de sable, hauteur de la coupe : 20 m.

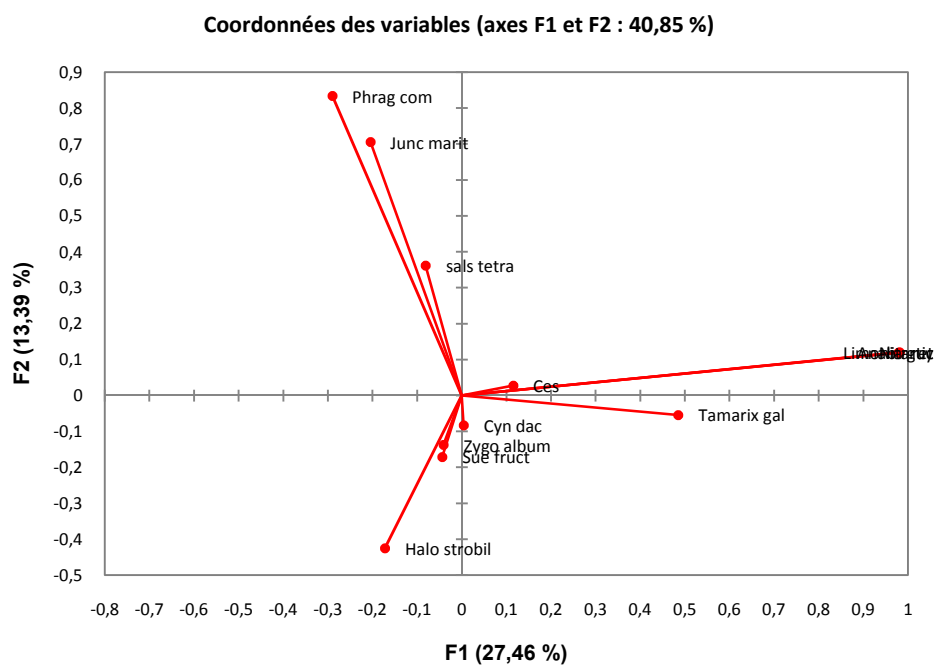
Annexe 09. Image satellitaire du canal de l'Oued Rig



Annexe 10. Analyse factorielle représentant la relation sol-végétation



Annexe 11. Analyse factorielle représentant la relation salinité-végétation



Annexe 12. Matrice de corrélation (Pearson) recouvrement et densité de végétation

Variables	Phrag com	Halo strobil	Junc marit	Tamarix gal	Zygo album	Cyn dac	Limonia guy	Anab artic	Nitr ret	Sue fruct	sals tetra	d	R
Phrag com	1	-0,030	0,332	-0,220	-0,137	-0,221	-0,178	-0,178	-0,178	-0,221		0,520	0,236
Halo strobil	-0,030	1	-0,032	0,087	-0,131	-0,493	0,132	0,132	0,132	-0,055		0,031	0,375
Junc marit	0,332	-0,032	1	-0,025	-0,233	0,037	-0,141	-0,141	-0,141	0,037		0,322	0,110
Tamarix gal	-0,220	0,087	-0,025	1	-0,208	0,299	0,241	0,241	0,241	0,109		0,238	0,610
Zygo album	-0,137	-0,131	-0,233	-0,208	1	-0,108	-0,087	-0,087	-0,087	-0,108		0,160	0,260
Cyn dac	-0,221	-0,493	0,037	0,299	-0,108	1	-0,065	-0,065	-0,065	0,279		0,047	0,138
Limonia guy	-0,178	0,132	-0,141	0,241	-0,087	-0,065	1	1,000	1,000	0,370		0,099	0,241
Anab artic	-0,178	0,132	-0,141	0,241	-0,087	-0,065	1,000	1	1,000	0,370		0,099	0,241
Nitr ret	-0,178	0,132	-0,141	0,241	-0,087	-0,065	1,000	1,000	1	0,370		0,099	0,241
Sue fruct	-0,221	-0,055	0,037	0,109	-0,108	0,279	0,370	0,370	0,370	1		0,037	0,061
sals tetra													
densité	0,520	-0,031	0,322	-0,238	-0,160	0,047	-0,099	-0,099	-0,099	0,037		1	0,136
recouvremt	0,236	0,375	0,110	0,610	-0,260	-0,138	0,241	0,241	0,241	0,061		0,136	1

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

Annexe 13. Matrice de corrélation (Pearson (n) Relation Humidité-végétation

Variables	Phrag com	Halo strobil	Junc marit	Tamarix gal	Zygo album	Cyn dac	Limonia guy	Anab artic	Nitr ret	Sue fruct	sals tetra	H
Phrag com	1	-0,030	0,332	-0,220	-0,137	-0,221	-0,178	-0,178	-0,178	-0,221	0,207	0,419
Halo strobil	-0,030	1	-0,032	0,087	-0,131	-0,493	0,132	0,132	0,132	-0,055	0,092	0,015
Junc marit	0,332	-0,032	1	-0,025	-0,233	0,037	-0,141	-0,141	-0,141	0,037	0,260	0,082
Tamarix gal	-0,220	0,087	-0,025	1	-0,208	0,299	0,241	0,241	0,241	0,109	0,168	-0,056
Zygo album	-0,137	-0,131	-0,233	-0,208	1	-0,108	-0,087	-0,087	-0,087	-0,108	-0,061	-0,076
Cyn dac	-0,221	-0,493	0,037	0,299	-0,108	1	-0,065	-0,065	-0,065	0,279	-0,046	-0,152
Limonia guy	-0,178	0,132	-0,141	0,241	-0,087	-0,065	1	1,000	1,000	0,370	-0,037	-0,043
Anab artic	-0,178	0,132	-0,141	0,241	-0,087	-0,065	1,000	1	1,000	0,370	-0,037	-0,043
Nitr ret	-0,178	0,132	-0,141	0,241	-0,087	-0,065	1,000	1,000	1	0,370	-0,037	-0,043
Sue fruct	-0,221	-0,055	0,037	0,109	-0,108	0,279	0,370	0,370	0,370	1	-0,046	-0,056
sals tetra	0,207	0,092	0,260	0,168	-0,061	-0,046	-0,037	-0,037	-0,037	-0,046	1	0,027
H	0,419	0,015	0,082	-0,056	-0,076	-0,152	-0,043	-0,043	-0,043	-0,056	0,027	1