



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère De l'Enseignement Supérieur et De la Recherche Scientifique

Université Abbés Laghrour Khenchela

Faculté des Sciences de la Nature Et de la Vie

Département de biologie

Mémoire de Fin d'Études

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Master en Ecologie

Domaine : science de Nature Et De La Vie

Filière : Ecologie Et Environnement

Spécialité : Ecologie fondamentale et appliqué

THEME

**Etude de la qualité des eaux et
inventaire des oiseaux d'eau au
niveau de Sabkhet El Mahmel
(Wilaya de khenchla)**

Présenté Par :

ALIOUI Khadidja

BOUKHALLAT Karima

(Soutenu le : 06/07/2019)

Jury de soutenance :

Président:	DIB Dounia	MCB	Université Abbes Laghrour – Khenchela-
Examineur :	ADDAD Dalila	MCB	Université Abbes Laghrour – Khenchela-
Encadreur :	BOUAKKAZ Amel	MCB	Université Abbes Laghrour – Khenchela-

Année Universitaire 2018- 2019

REMERCIEMENT

*Au nom **D'Allah** le plus grand merci lui revient de nous avoir guidés vers le droit chemin, de nous avoir aidés tout ou long du notre parcours scientifique et nous donné l'opportunité de mener à bien ce travail... merci beaucoup Allah.*

Nous n'arrivons pas à trouver des mots suffisamment forts pour exprimer la reconnaissance que nous avons à l'égard de notre encadreur ,Mm Bouakkaz Amel ayant accepté de diriger notre travail, pour disponibilité, ses remarques et ses conseils fructueux, qu'il trouve ici toutes nos gratitude.

Nous exprimons vivement nos sincères remerciements aux membres du jury Mm Dib Dounia ayant accepté la présidence de jury et Mm Addad Dalila , en tant qu'examineur de ce travail.

Nous sommes très heureux de vous compter aujourd'hui parmi les membres de ce jury. Votre disponibilité constante, vos conseils et suggestions nous ont permis d'améliorer profondément la qualité de ce travail. Permettez-nous cher Maître de vous adresser nos sincères remerciements. J'adresse aussi mes remerciements aux personnels laboratoire Algérienne des eaux A.D.E (laboratoire d'analyse de la qualité de l'eau potable), dans la wilaya de Khenchela.

J'exprime ma reconnaissance à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

Un grand merci pour toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce travail, par le soutien moral, administratif ou technique.

A tout le staff administratif et pédagogique de la faculté SNV.

Je n'oublierai pas mes amis et mes proches Boualem, Samir, zohra, salha, amel, hadjer pour leurs encouragements au cours de toutes ces années. Merci pour avoir su me divertir et me soutenir jusqu'au bout. et pour sa gentillesse de sa disponibilité et de ses bons conseils qui m'ont accompagné tout au long de ce travail. Et pour leur fidèle amitié.

A tous..Nous disons MERCI.

KHADIDJA *KARIMA

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail ; fruit de plusieurs années de travail et de patience.

*A ma mère Djazia qui ma beaucoup aide durant toute ma vie a réaliser mon
rêve par leur tendresse, confiance, ainssi que leur*

Amour.

*a mon père lakhdar pour ces sacrifices, son affection et ses conseils que dieu
face qu'il vivent assez longtemps.*

-a mes chères frères :

Balkacem, Samir.

-a mes adorables sœurs :

Saida, Faiza, Ilhem, Fatima, Safa.

-a mon binôme : Khadidja.

-a tout ceux qui ma partage les meilleures moments.

-a toutes la promotion d'écologie et environnement.

B.KARIMA

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail ; fruit de plusieurs années de travail et de patience.

A ma mère Fatiha qui ma beaucoup aide durant toute ma vie à réaliser mon rêve par leur tendresse, confiance, ainssi que leur

Amour.

a mon père Azze eddin pour ces sacrificies, son affection et ses conseils que dieu face qu'il vivent assez longtemps.

-a mes chères frères : Ahmed, Abd Elkader, Mohamed

-a mes adorables sœurs :Fatima zohra

-a mon binôme : Karima

-a tout ceux qui ma partage les meilleures moments.

-a toutes la promotion d'écologie et environnement.

A.Khadidja

Résumé

L'objectif principal de notre travail est d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de Sebkhet El-Mahmel et la caractérisation du patrimoine aviaire qu'elle renferme, durant le mois d'avril 2019.

Après une stratégie d'échantillonnage, Nous avons étudié l'effet de quelques paramètres physico-chimiques en référence avec des normes internationales de qualité des eaux, qui sont principalement : (la température, pH, turbidité, calcium, magnésium, ammonium, sodium, potassium, nitrite, nitrate, chlorure, bicarbonate, sulfate) ont été effectuées au niveau du laboratoire Algérienne des eaux A.D.E (laboratoire d'analyse de la qualité de l'eau potable), dans la wilaya de Khenchela.

Nos résultats montrent que les eaux évoluent chimiquement d'un faciès chlorurée magnésienne à chlorurée sodique, qui dépendent de la nature géologique (dissolution des formations évaporitiques) et l'utilisation intensive des engrais chimiques. Les résultats obtenus montrent aussi que le degré de pollution des eaux de notre zone d'étude est diminué cette année par rapport à l'année précédente.

De plus, le suivi de l'avifaune aquatique de la Sebkha d'Ouled Amara (El-Mahmel, wilaya de Khenchela), nous a révélé seulement trois espèces appartenant à 2 familles ; la famille d'Anatidés avec deux espèces (Tadorne de Belon et le Canard Colvert) et une espèce de la famille des Phœnicopteridae (Flamant rose).

La sécheresse et le niveau d'eau de Sebkhet d'Ouled Amara (El-Mahmel, Wilaya de Khenchela) ont eu un effet important sur la phénologie et la structure des Phœnicoptéridés et des Anatidés et sur leur distribution spatio-temporelle au niveau de ce plan d'eau.

Mots clés : Sebkhet El-Mahmel, paramètres physico-chimiques, l'avifaune aquatique, Tadorne de Belon, la pollution.

Abstract:

The main objective of our work is to assess the physicochemical quality of Sebkheth El Mahmel, and the description of the bird heritage it containing during April 2019.

After the sampling strategy, we studied the effect of some physicochemical parameters in reference to international standards of water quality, which are mainly : (temperature, pH, turbidity, calcium, magnesium, ammonium, sodium, potassium, nitrite, nitrate, chloride, bicarbonate, sulfates) of the water were carried out in the Algerian water laboratory(laboratory for analysis of drinking water quality) in khanchela.

Our results show that water is developed chemically from magnesium chloride to sodium chloride, which depends on the geological nature (disintegration of the evaporation formations) and the intensive use of chemical fertilizers. The results also showed that the level of water pollution in our study area is decreasing this year compared to the previous year.

In addition, the life of waterbirds in Sebkhath oulad omara (El-Mahmel, khanchela) revealed only on these kinds belonging to two families, the anatidae family with two species (Common Shelduck and Mallard) and one type of Phoenicopteridae (Greater Flamingo) family.

The drought and the level of water sebkhath oulad omara(El-Mahmel, khanchela) has a great impact on phenology, structure of the helicopters and anatidae and their spatial and temporal distribution at this level of water chart.

Keywords: Sebkheth d'El Mahmel, physical-chemical parameters, water birds, Common Shelduck, pollution.

ملخص

الهدف الرئيسي من عملنا هو تقييم الجودة الفيزيوكيميائية لمياه سبخة المحمل ومعرفة خصائص الطيور التي تحويها ، خلال شهر أبريل 2019.

بعد إستراتيجية أخذ العينات، درسنا تأثير بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية مع الإشارة إلى المعايير الدولية لجودة المياه ، والتي هي أساسا: (درجة الحرارة ، درجة الحموضة ، التعكر ، الكالسيوم ، المغنيزيوم ، الأمونيوم، الصوديوم، البوتاسيوم ، النتريت ، النترات، الكلوريد ، البيكربونات ، الكبريتات) تم إجراء تحاليل في مختبر الجزائرية للمياه ADE (مختبر تحليل نوعية مياه الشرب) في ولاية خنشلة.

تظهر نتائجنا أن المياه تتطور كيميائياً من سواغات كلوريد المغنسيوم إلى كلوريد الصوديوم ، والتي تعتمد على الطبيعة الجيولوجية (تفكك التكوينات التبخرية) والاستخدام المكثف للأسمدة الكيماوية. أظهرت النتائج أيضاً أن مستوى تلوث المياه في منطقة دراستنا يتناقص هذا العام مقارنة بالعام السابق .

بالإضافة إلى ذلك ، كشفت لنا مراقبة حياة الطيور المائية في سبخة أولاد عمارة (المحمل ولاية خنشلة) عن وجود ثلاثة أنواع فقط تنتمي إلى عائلتين ؛ عائلة اناتيدي anatiidés مع نوعين بط شهرمان البط الخضاري ونوع واحد من عائلة النحام الوردي.

كان للجفاف ومستوى الماء في سبخة أولاد عمارة (المحمل ، ولاية خنشلة) تأثير كبير على الفينولوجيا وبنية. Phœnicoptéridés فونيكوبتيريدي و اناتيدي anatiidés وعلى توزيعها المكاني والزمني على مستوى الماء .

الكلمات المفتاحية : سبخة المحمل ، المعايير الفيزيائية و الكيميائية ، حياة الطيور المائية، بط شهرمان، التلوث.

Liste des abréviations

DGF	direction générale des forets
LPO	ligue pour la protection des oiseaux
pH	Potentiel d'hydrogène
CaCO	carbonate de calcium
FTU	Formazin turbidité Unité
NTU	Néphélométrie turbidité unité
TH	Titre Hydrotimétrique
µm	Micromètre
mg/l	Milligramme par litre
°C	Degré Celsius
°f ou °fH	degrés français
γ	La conductivité électrique d'une eau
cm²	Centimètre carré
cm	Centimètre
ρ	la résistivité électrique
P	Résistivité
R	Résistance
L	distance entre les deux électrodes
S	surface de chaque électrode
m²	Mètre carré
µS/cm	Microsimens par centimètre
CE	Conductivité électrique
MES	matières en suspension .
MEST	La quantité de matières en suspension totale
OMS	Organisation mondial de la santé

Ca⁺⁺	Calcium
NH₄⁺	Ammonium
Mg⁺⁺	Magnésium
Na⁺⁺	Sodium
K⁺	Potassium
SO₄⁻²	Sulfate
Cl⁻	Chlorures
HCO₃⁻	<i>Bicarbonate</i>
NO₂⁻	Nitrites
NO₃⁻	Nitrates
MgCO₃	minérale magnésite
MgCO₃.Ca CO₃	minérale dolomite
CaSO₄	le gypse
FeS	la pyrite
NaCl	le sel de cuisine
mg.l⁻¹	Milligramme par litre
m	Mètre
Km	Kilomètre
%	Pourcentage
Km²	Kilomètre carré
Hab	Habitat
JORA	Journal officiel de la republique algerienne démocratique populaire
SW-NE 5°	Sud West-nord est
C.E.S	conservation des eaux et des sols
N-S	Nord-sud
A.D.E	Algérienne des eaux

Liste des abréviations

NaOH	hydroxyde de Sodium
H2SO4	acide sulfurique
Fig	Figure
Tab	Tableau
T° Max	Température maximal
T° Min	Température minimal

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
Figure 01	Situation géographique du complexe des zones humides des wilayas d'Oum El-Bouaghi, Khenchela et Batna. (Saheb, 2003)	10
Figure 02	Sebkha fluvio lacustre Région de Ghinayyin (Sultanat d'Oman)	13
Figure 03	Affleurement d'une sebkha inter-dunaire Région de Liwa (UAE)	14
Figure 04	Sebkha inter-dunaire.	14
Figure 05	Profil transversal dans le littoral	14
Figure 06	la situation géographique et administrative de la commune d'El Mahmel	32
Figure 07	les limites de la commune d'El Mahmel	33
Figure 08	Position géographique de Sebkhet El Mahmel Par rapport au complexe continental humide du Sud constantinois.	34
Figure 09	Délimitation de la zone humide de Sebkhet El Mahmel	36
Figure 10	Principaux unités morphologiques de la région d'El Mahmel à partir de l'image satellitaire	38
Figure 11	Profil topographique (N-S) à travers la commune d'El Mahmel	38
Figure 12	carte des pentes de la commune d'El Mahmel	39
Figure 13	Les sols salés de la région de Sebkhet El Mahmel	40
Figure 14	avant le dessèchement de Sebkhet El Mahmel(2019)	43
Figure 15	dessèchement de Sebkhet El Mahmel(2019)	43
Figure 16	pollution de Sebkhet EL Mahmel par les rejets solides (2019)	44
Figure 17	pollution de Sebkhet EL Mahmel par les rejets liquides (2019)	44
Figure 18	Histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles de Khenchela (2006-2018)	47

Figure 19	Courbes de variation des températures moyennes (max, min, et moy) de la Station de météorologique d'El Hamma pendant la période (2006- 2018)	48
Figure 20	Diagramme Ombrothermique de Gausсен (2006_2018)	49
Figure 21	Situation de la région de Khanchela dans le Cimagramme d'Emberger (2006-2018)	50
Figure 22	Histogramme de variation de l'humidité moyenne mensuelle (2006-2018)	51
Figure23	Histogramme de variation de la vitesse Moyenne Mensuelle des Vents (2006-2018) (Station de météorologique d'El Hamma, 2019).	52
Figure24	Carte Répartition des points de prélèvement d'échantillons(Google earth)	58
Figure 25	Echantillonnage d'eau sur terrain	59
Figure 26	Spectrophotomètre UV (photo originale, 2019)	61
Figure 27	Le dispositif de dosage titrimétrique (photo originale, 2019)	61
Figure 28	Multi paramètre c535T (photo originale, 2019)	61
Figure29	Ph-mètre (photo originale, 2019)	62
Figure30	Turbidimètre (photo originale, 2019)	63
Figure 31	Dosage de nitrite (photo originale, 2019)	64
Figure32	Dosage de calcium (photo originale, 2019)	65
Figure 33	Dosage de nitrate(photo originale, 2019)	66
Figure 34	Dosage de chlorure(photo originale, 2019)	67
Figure 35	Dosage de sulfate (photo personnelle 2019)	69
Figure 36	Dosage de l'Ammonium (photo personnelle 2019)	71
Figure 37	les variations de Température (°C) des eaux de Sebkha El- Mahmel (Avril 2019).	74
Figure 38	les variations de pH des eaux de Sebkha El- Mahmel (Avril 2019).	75
Figure 39	les variations de la turbidité (NTU) des eaux de Sebkha El- Mahmel (Avril 2019).	76
Figure 40	Histogramme de variation de la teneur en calcium dans les eaux de Sebkha El- Mahmel	77
Figure 41	Histogramme de variation de la teneur en magnésium dans les eaux de Sebkha El- Mahmel (Avril 2019).	78

Figure 42	Histogramme de variation de la teneur en sodium et en potassium dans les eaux de Sebkhha El- Mahmel (Avril 2019).	79
Figure 43	Histogramme de variation de la teneur en chlorure dans les eaux de Sebkhha El- Mahmel (Avril 2019).	80
Figure 44	Histogramme de variation de la teneur en sulfates dans les eaux de Sebkhha El- Mahmel (Avril 2019).	81
Figure 45	Histogramme de variation de la teneur en bicarbonate dans les eaux de Sebkhha El- Mahmel (Avril 2019).	81
Figure 46	Histogramme de variation de la teneur en Ammonium dans les eaux de Sebkhha (Avril 2019).	82
Figure 47	Histogramme de variation de la teneur en nitrate NO_3^- dans les eaux de Sebkhha El- Mahmel (Avril 2019).	84
Figure 48	Histogramme de variation de la teneur en nitrate NO_3^- dans les eaux de Sebkhha El- Mahmel (Avril 2019).	85
Figure.49	Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de surface de Sebkhha El- Mahmel (Avril 2019).	86
Figure.50	Phénologie et structure des oiseaux d'eau de la Sebkhhet de Ouled Amara durant le mois d'Avril 2019	88

Liste des tableaux

Numéro	Titre	Page
Tableau 01	les critères représentée l'importance des zones humides	05
Tableau 2	Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée	21
Tableau 03	Caractéristiques des ilots de la Sebkhha de Ouled M'Barek	36
Tableau 04	Les familles représentées dans sebkhet El-Mahmel	53
Tableau 05	Liste la richesse spécifique du peuplement d'oiseaux d'eaux recensés dans la zone humide de Sebkhet El Mahmel	54

Table des matières

Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste d'abréviation	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Table des matières	
Introduction générale	01
PREMIERE PARTIE : Synthèse bibliographique	
Chapitre I : Généralité sur les zones humides	
I.	Généralités sur les zones humides 03
I.1.	Définition des zones humides 03
I.2.	Définition des zones humides selon le code de l'environnement 03
I.3.	Définition des zones humides selon la Convention de Ramsar 03
I.3.1	La Convention de Ramsar sur les zones humides 03
I.4.	Les principaux types des zones humides 04
I.5.	Critères d'identification des zones humides d'importances internationale 04
I.6.	Les fonctions et les valeurs des zones humides 06
I.7.	L'importance des zones humides 07
I.8.	Les différents types des zones humides en Algérie 07
I.9.	Les zones humides des hautes plaines de l'Est-algérien 09
I.10.	Généralités sur les sebkhas 11
I.10.1.	Définition de la sebkha 11
I.10.2.	Classification des Sebkhas 12
I.10.2.1.	Classification selon le bilan hydrologique 12

I.10.2.2.	Classification selon le milieu de formation	12
I.10.3.	Les différents types de sebkha	13
I.10.3.1.	La sebkha fluvio- lacustre	13
I.10.3.2.	La sebkha inter-dunaire	13
I.10.3.3.	La Sebkha marine ou côtière	14
Chapitre II : Qualité des eaux		
II.1.	Généralités sur l'eau	15
II.2.	Le cycle hydrologique	15
II.2.1.	Les étapes du cycle de l'eau	16
II.3.	Les différentes ressources d'eau naturelle	17
II.3.1.	Les eaux de surface ou eaux superficielles	17
II.3.2.	Les eaux souterraines	17
II.4.	Qualité des eaux	18
II.4.1.	La qualité physico-chimique de l'eau	18
II.4.1.1.	Les qualités physiques de l'eau	18
II.4.1.2.	Les qualités chimiques de l'eau (Ions majeurs)	22
II.4.1.2.1.	Les Cations	22
II.4.1.2.2.	Les anions	24
II.4.2.	Les indicateurs de la pollution organique	25
II.5.	Pollution de l'eau	26
II.5.1.	Les principales sources de pollution	27
II.5.1.1.	Les sources précises	27
II.5.1.2.	Les sources non-précises	27
II.5.2.	L'origine de la pollution	27
II.5.3.	Type de polluants	28
II.6.	Les méthodes de prélèvement d'eau	28
II.6.1.	L'échantillonnage	29
II.6.2.	Echantillonnage et Techniques de Prélèvements des Eaux	29
II.6.3.	Matériel et équipement de prélèvement	30
II.6.4.	Acidification des échantillons	30
Chapitre III: Présentation de la zone d'étude		
III.1.	Localisation de Sebkhet El- Mahmel	31
III.1.1.	Cadre général de la région d'El- Mahmel	31

Table des matières

III.1.1.1.	Situation géographique	31
III.1.1.2.	Situation administrative	32
III.2.	Situation générale de la zone humide Sebkhet El- Mahmel	33
III.2.1.	Coordonnées géographiques	35
III.2.2.	Géographie et hydrologie	35
III.2.3.	Analyse de milieu	37
III.2.3.1.	Relief	37
III.2.3.2.	Les plaines	37
III.2.3.3.	Les montagnes	38
III.2.3.4.	Les pentes	39
III.3.	Pédologie	39
III.4.	Cadre géologique de sebkhat El-Mahmal	40
III.5.	Menaces écologiques et environnementales (Sebkhat EL Mahmel)	42
III.5.1.	Les facteurs et les menaces d'origines naturelles	42
III.5.1.1.	Le dessèchement du plan d'eau	42
III.5.1.2.	L'érosion	43
III.5.2.	Les facteurs de pression et de menaces d'origine anthropique	43
III.5.2.1.	Pollution par les rejets solides et liquides	44
III.5.2.2.	Exploitation croissante des ressources hydriques	44
III.5.2.3.	Activités agricoles	45
III.5.2.4.	La chasse et le braconnage	45
III.6.	Climatologie	45
III.6.1.	Les facteurs climatiques	46
III.6.1.1.	Les précipitations	46
III.6.1.2.	La température	47
III.6.1.3.	La relation températures et précipitations	48
III.6.1.3.1.	Diagramme ombrothermique de Gaussen	48

III.6.1.3.2.	Indice de Martonne	49
III.6.1.3.3.	Climagramme d'Emberger	50
III.6.1.4.	L'humidité relative de l'air	51
III.6.1.5.	Les vents	51
III.7.	Caractéristiques écologiques	53
III.7.1.	Cadre biotique	53
III.7.1.1.	La flore	53
III.7.1.2.	L'avifaune	54
III.7.1.3.	Autres animaux	56
Chapitre IV : Matériel et méthodes		
IV.1.	Les Mesures physico-chimiques	57
IV.1.1.	Prélèvement et conservation des échantillons	57
IV.1.2.	Le mode de prélèvement	58
IV.1.3.	Le transport et la conservation de l'échantillon	59
IV.1.4.	Analyses Physico-chimiques au laboratoire (Dosage des ions majeurs)	60
IV.1.5.	Matériels de laboratoire	60
IV.1.6	Méthodes d'analyses physico-chimiques	61
IV.1.6.1.	Mesure in situ la température (T°)	61
IV.1.6.2.	Mesure de Potentiel d'hydrogène (pH) au laboratoire	62
IV.1.6.3.	Mesure la Turbidité	62
IV.1.6.4.	Dosage des nitrites	63
IV.1.6.5.	Dosage des ions calcium et magnésium	64
IV.1.6.6.	Dosage des nitrates	65
IV.1.6.7.	Dosage d'ion chlorure	67
IV.1.6.8.	Dosage des sulfates	68
IV.1.6.9.	Dosage de l'Ammonium (NH ₄ ⁺)	69
IV.2.	Techniques de dénombrement des oiseaux d'eau	71
IV.2.1.	Fréquences des dénombrements	72

IV.2.2.	Méthodes d'échantillonnage	72
IV.2.3	Matériel utilisé	72
IV.2.4.	Choix des points d'observation	72
IV.3.	Modalité d'occupation spatiale de la Sebkhet d'Ouled Amara par l'avifaune aquatique	73
Chapitre V : Résultats et discussions		
V.1.	Les paramètres physique-chimiques des eaux de surface	74
V.1.1.	Les paramètres physiques	74
V.1.1.1.	La Température (C°)	74
V.1.1.2.	Le potentiel d'Hydrogène (pH)	75
V.1.1.3.	La turbidité	75
V.1.2.	Les paramètres chimiques	76
V.1.2.1.	Le Calcium (Ca ⁺⁺)	76
V.1.2.2.	Le Magnésium (Mg ⁺⁺)	77
VI.1.2.3.	Le sodium et le potassium (Na ⁺ +K ⁺)	78
V.1.2.4.	Les Chlorures (Cl ⁻)	80
V.1.2.5.	Les sulfates (SO ₄ ⁻)	80
V.1.2.6.	Les Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	81
VI.1.7.	L'Ammonium (NH ₄ ⁺)	82
V.1.2.8.	Les Nitrates (NO ₃ ⁻)	83
V.1.2.9.	Les Nitrites (NO ₂ ⁻)	84
V.2.	Détermination du faciès chimique	85
V.2.1.	Diagramme de Schoeller Berkaloff	85
V.3.	Phénologie et structure des oiseaux d'eau de Sebkhet El- Mahmel	86
V.3.1.	Le Tadorne de Belon Tadorna tadorna	86
V.3.2.	Le Canard Colvert Anas platyrhynchos	87

Table des matières

V.3.3.	Le Flamant rose <i>Phœnicopterus roseus</i>	87
Conclusion générale		89
Réfernce bibliographique		91
Les Annexes		

Introduction

L'eau est essentielle pour la santé humaine et des autres êtres vivants. Elle joue un rôle déterminant et structurant dans la vie des habitants, dans le développement économique et dans la survie des écosystèmes naturels (**Djamila, 2013**).

L'eau est toujours exposée à la pollution qui guette à chaque instant et de plus en plus toutes nos belles réserves (**Margat, 1992**). La pollution de l'eau se manifeste par la présence dans l'eau (océans, mers, lacs, fleuves, nappes phréatiques, zones humides) d'éléments toxiques qui provoquent la destruction de la faune et la flore. Cette pollution peut rendre l'eau non consommable. Elle peut provenir d'usines, d'eaux-usées, de produits agricoles ou d'hydrocarbures (**Site web 11**).

Les zones humides, bien que reconnues comme des écosystèmes majeurs en terme de diversité et de rôle fonctionnel (**Acreman, 2000 ; Bonnet et al., 2005**), font souvent l'objet de transformations et d'aménagements liés au développement des activités humaines (ménagère, agricole et industrielle). (**Bonnet et al., 2005 ; Ferchichi et al., 2010**). Ces modifications ne sont pas sans conséquences puisqu'elles sont la cause principale de la régression de ces écosystèmes.

L'Algérie, de par sa configuration physique et la diversité de son climat est riche en zones humides (**D.G.F, 2004**). Toutefois, elles sont menacées et font l'objet de perturbations parfois irréversibles (surpâturage, pollution, pêche..). A ce titre, les zones humides inscrites sur la liste Ramsar n'échappent pas à ce traitement et restent surexploitées et ne font l'objet d'aucune mesure de protection (**Bouldjedri et al., 2011**).

La zone humide de Sebket El-Mahmel, comme toutes les zones humides des hautes plaines du constantinois, constitue un écosystème essentiel pour la biodiversité. En effet, c'est un lieu d'hivernage de l'avifaune et une aire de stationnement pour de nombreux oiseaux migrateurs. Malgré ses qualités, cette zone demeure fragile car elle est menacée par de nombreux facteurs délétères qui pourraient mener à sa destruction. Parmi ces menaces on peut citer :

- Les changements dans le cycle hydrologique
- Les sols du secteur à cause de l'accumulation des quantités élevées des sels exportées par le processus d'érosion éolienne à partir des sebkhas devenues de plus en plus halomorphes. (**Khabtane, et al., 2010**).

La grande majorité des espèces des oiseaux aquatique fournit une belle illustration du phénomène de migration : chaque année, ces oiseaux procèdent à des déplacements

périodiques plus ou moins longs (jusqu'à plusieurs milliers de kilomètres) entre leurs quartiers de nidification et ceux d'hivernage, à la recherche de conditions climatiques et trophiques meilleures (**El Agbani, 1997**).

Par conséquent, l'objectif principal de cette étude est d'évaluer et contrôler la qualité physico-chimique des eaux et l'inventaire des oiseaux d'eau au niveau de la zone humide de Sebkhet El Mahmel (Wilaya de Khenchela).

Ce manuscrit est structuré en cinq chapitres :

- Un premier chapitre sur les définitions et les concepts généraux des zones humides et les types de sebkha.
- Un deuxième chapitre qui est une synthèse bibliographique sur la qualité d'eau (les caractéristiques physico-chimiques des eaux).
- Un troisième chapitre consacré à la présentation générale de la zone d'étude et de ses principales caractéristiques.
- Un quatrième chapitre qui illustre le matériel et les méthodes utilisées pour la réalisation de cette étude.
- Un cinquième chapitre consacré aux discussions des résultats obtenus lors de l'analyse physico-chimiques des eaux et le résultat de l'inventaire des oiseaux d'eau au niveau de Sebkhet El-Mahmel et illustre les différentes modalités de distribution et d'occupation spatiale de ce plan d'eau par ces types d'oiseaux migrateurs.
- Enfin, une conclusion sur l'essentiel des résultats obtenus dans le cadre de cette étude.

I. Généralités sur les zones humides

I. 1. Définition des zones humides

Les zones humides sont des régions où l'eau est le principal facteur déterminant l'environnement et la vie végétale et animale associée. On les trouve là où la nappe phréatique affleure ou proche de la surface du sol, ou encore là où la terre est recouverte par des eaux peu profondes (**Ramsar, 2006**).

I.2. Selon le code de l'environnement

Les zones humides sont des terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année (**Art. L.211-1**).

I.3. Définition des zones humides selon la Convention de RAMSAR

Selon le texte de la Convention de Ramsar 2 février 1971 (Article 1.1) : les zones humides sont des étendues de marais, de fagne , de tourbière ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres.

En outre, dans le but de s'assurer de la cohérence des sites, l'Article 2.1 détermine que les zones humides que l'on inscrit sur la liste de Ramsar des zones humides d'importance internationale peuvent inclure des zones de rives ou de côtes adjacentes à la zone humide et des îles ou des étendues d'eau marine d'une profondeur supérieure à six mètres à marée basse, entourées par la zone humide (**Ramsar, 2006**).

1.3.1. La Convention de Ramsar sur les zones humides

La convention de Ramsar est un cadre stratégique qui repose sur la vision d'élaborer et de maintenir un réseau international de zones humides pour les fonctions écologiques et hydrologiques qu'elles remplissent dans la conservation de la diversité biologique mondiale et la pérennité de la vie humaine (**Ramsar, 2013**).

Le 11 décembre 1982 est la date de l'adhésion de l'Algérie à la convention de Ramsar, Elle fut effective le 04 novembre 1983 plus précisément (**JORA, 2003**).

La mission de la Convention de Ramsar, définie par les Parties en 1999 et affinée en 2002, est la suivante:

- La conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides par des actions locales, régionales et nationales et par la coopération internationale, en tant que contribution à la réalisation du développement durable dans le monde entier (**Ramsar, 1971**).

Chaque année depuis 1997, la journée mondiale des zones humides est organisée le 2 février, en commémoration de la signature de la convention.

I. 4. Les principaux types des zones humides

- Marines (zones humides côtières comprenant des lagunes côtières, des berges rocheuses et des récifs coralliens).
- Estuariennes (y compris des deltas, des marais cotidaux et des marécages à mangroves).
- Lacustres (zones humides associées à des lacs).
- Riveraines (zones humides bordant des rivières et des cours d'eau).
- Palustres (ce qui signifie « marécageuses » – marais, marécages et tourbières).

I.5. Critères d'identification des zones humides d'importances internationale

Les critères de classification des zones humides sur l'échelle internationale sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Critères d'identification des zones humides d'importances internationale (Ramsar, 2006).

<p>Groupe A des Critères. Sites contenant des types de zones humides représentatifs, rares ou uniques</p>		<p>Critère 1 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle contient un exemple représentatif, rare ou unique de type de zone humide naturelle ou quasi naturelle de la région biogéographique concernée.</p>
<p>Groupe B des Critères. Sites d'importance internationale pour la conservation de la diversité biologique</p>	<p>Critères tenant compte des espèces ou des communautés écologiques</p>	<p>Critère 2 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite des espèces vulnérables, menacées d'extinction ou gravement menacées d'extinction ou des communautés écologiques menacées.</p>
		<p>Critère 3 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite des populations d'espèces animales et/ou végétales importantes pour le maintien de la diversité biologique d'une région biogéographique particulière.</p>
		<p>Critère 4 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite des espèces végétales et/ou animales à un stade critique de leur cycle de vie ou si elle sert de refuge dans des conditions difficiles.</p>
	<p>Critères spécifiques tenant compte des oiseaux d'eau</p>	<p>Critère 5 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite, habituellement, 20'000 oiseaux d'eau ou plus.</p>
		<p>Critère 6 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite, habituellement, 1% des individus d'une population d'une espèce ou sous-espèce d'oiseau d'eau.</p>
	<p>Critères spécifiques tenant compte des poissons</p>	<p>Critère 7 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite une proportion importante de sous-espèces, espèces ou familles de poissons indigènes, d'individus à différents stades du cycle de vie, d'interactions interspécifiques et/ou de populations représentatives des avantages et/ou des valeurs des zones humides et contribue ainsi à la diversité biologique mondiale.</p>
		<p>Critère 8: Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle sert de source d'alimentation importante pour les poissons, de frayère, de zone d'alevinage et/ou de voie de migration dont dépendent des stocks de poissons se trouvant dans la zone humide ou ailleurs.</p>
	<p>Critère spécifique tenant compte d'autres espèces</p>	<p>Critère 9 : Une zone humide devrait être considérée comme étant d'importance internationale si elle abrite régulièrement 1 % des individus d'une population d'une espèce ou sous-espèce animale dépendant des zones humides mais n'appartenant pas à l'avifaune.</p>

I.6. Les fonctions et les valeurs des zones humides

a) Fonctions

Les interactions entre les éléments physiques, biologiques et chimiques tels que les sols, l'eau, les plantes et les animaux, permettent à une zone humide de remplir de nombreuses fonctions vitales, notamment :

- Le stockage de l'eau.
- La protection contre les tempêtes et la maîtrise des crues.
- la stabilisation du littoral et la maîtrise de l'érosion.
- le renouvellement de la nappe phréatique (le mouvement de l'eau de la zone humide vers la nappe phréatique).
- La restitution des eaux souterraines (le mouvement de l'eau restitué par la nappe phréatique sous forme d'eau de surface dans une zone humide).
- L'épuration de l'eau.
- La rétention des éléments nutritifs.
- La rétention des sédiments.
- La rétention des polluants.
- La stabilisation des conditions climatiques locales, en particulier du régime des précipitations et de la température (**Ramsar, 2006**).

b) Valeurs

Les zones humides fournissent fréquemment des avantages économiques considérables (**Ramsar, 2006**), par exemple :

- L'alimentation en eau (quantité et qualité).
- Les pêcheries (plus des deux tiers des poissons pêchés dans le monde dépendent de zones humides en bon état).
- L'agriculture, grâce au renouvellement des nappes phréatiques et à la rétention des matières nutritives dans les plaines d'inondation.
- Les ressources énergétiques.
- La faune et la flore sauvages.

I.7. L'importance des zones humides

Les zones humides sont parmi les milieux les plus productifs du monde. Elles sont le berceau de la diversité biologique. Elles entretiennent de fortes concentrations d'oiseaux, de mammifères, de reptiles, d'amphibiens, de poissons et d'invertébrés et sont aussi des greniers importants de matériel génétique végétal (**Ramsar, 2006**).

La conservation des zones humides est essentielle non seulement pour l'approvisionnement en eau mais aussi pour la préservation de la biodiversité et pour assurer des services indispensables pour la santé et le bien-être des populations du monde entier (**Barnaud, 1998**).

Les zones humides ont besoin d'être conservées et gérées avec sagesse, car elles assurent les approvisionnements en eau et en ressources alimentaires, notamment la pêche, la chasse, l'irrigation, la production d'énergie, les loisirs et bien d'autres utilisations (**Ramsar, 2006**).

I.8. Les différents types des zones humides en Algérie

L'Algérie est riche en zones humides qui jouent un rôle important dans les processus vitaux, entretenant des cycles hydrologiques et accueillant poissons et oiseaux migrateurs (**Site web 13**).

L'adhésion de l'Algérie à la convention de Ramsar a été effective en 1984, par le classement de deux sites sur la liste des zones humides d'importance Internationale (**Houhamdi et al., 2008**).

On compte aujourd'hui en Algérie environ 1700 zones humides. Cinquante (50) sites sont classés Ramsar, d'importance internationale, dix (10) sites prioritaires sont retenus par le Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de la Ville, pour être dotés d'un plan de gestion assurant leur gestion rationnelle et durable (**Ramsar, 2013**).

L'Algérie regorge une grande diversité d'habitats et d'écosystèmes de zones humides représentés par des lacs, des marais, des chotts, des sebkhas, des dayas, des oasis et autres qui jouent un rôle important comme sites de halte, d'hivernage et de nidification.

Le dernier recensement effectué en 2006 a dénombré 1451 zones humides en Algérie, dont 762 naturelles et 689 artificielles. 42 sites d'importance internationale, classés sur la liste de

la Convention de Ramsar des zones humides et 13 autres sites Ramsar dont l'étude est en cours pour leur classement.

Ces zones humides couvrent un peu plus de 3 millions d'hectares, soit 50% de la superficie totale estimée des zones humides en Algérie et renferment un fort potentiel biogénétique avec plus de 800 espèces végétales limniques, 34 espèces de poissons et 50 espèces d'oiseaux (*Houhamdi et al., 2008*).

L'Algérie de part sa configuration physique et la diversité de son climat et l'immensité de son territoire recèle d'importantes zones humides. selon la direction générale des forêts, (**DGF, 2001**) les zones humides se répartissent d'une manière générale comme suit :

La frange Nord-Ouest et les hautes plaines steppiques se caractérisent par des plans d'eau:

- *salé* : Chotts, sebkha.
- *non salée* (la nappe phréatique n'est pas très profonde) : Dayas.

Le Sahara renferme les oasis, dans le réseau hydrographique des massifs, montagneux du Tassili et du Hoggar on assiste à des sites exceptionnels alimentés par des sources d'eau permanentes appelées Gueltas (**Bakhti, 2005**) (**site web 1**).

- **Chott**: Lac sale, plus ou moins desséché. L'odeur du bord du chott était nausé abonde; c'était une marne horrible, mêlée de sel et brûlante (**Les Nourritures terrestres, 1897**).
- **Sebkha**: Fond plat et sale d'une depression fermée, sans vegetation, caractérisé par des efflorescences salines en periodes sèches, inondable par des eaux de crue ou des remontées d'eaux profondes en periods de pluies (**Géomorphol, 1979**).
- **Guelta** : Elles sont spécifiques aux régions montagneuses du Sahara, cours d'eau qui s'enfonce dans la roche (résurgence d'eau) créant un vaste canyon de plusieurs kilomètres de longueur, mais de quelques mètres de largeur, permanente , elle est alimentée par des sources qui fusent de la roche et en temps de pluie par les crues (**DGF, 2002**).
- **Garâa** : Selon la définition de dictionnaire français (**Reverso, 2008**), c'est une dépression fermée entièrement plate des régions désertiques dans l'hydrologie dépend des crues des oueds périphériques, on dit également **Kewir** en Iran, **Playa** dans l'ouest des Etats-Unis et **Salina** dans les déserts Sud-Américains.

- **Lac:** C'est une grande étendue d'eau douce terrestre, constitué par des rivières . Même si par certaines dimensions, certains lacs d'eau salée sont considérés comme des mers intérieures, les lacs sont intérieurs et ne sont pas une partie de l'océan; ils sont donc distincts des lagunes, et sont plus grands et plus profonds que les étangs, tout en restant un plan d'eau par définition (**Site web 2**).
- **Daya:** Cuvette peu profonde où s'accumulent temporairement les eaux de pluie venues des hauteurs voisines (**Vidal de La Bl, 1921; Princ, 1921**).
- **Mare :** Une mare désigne une étendue d'eau stagnante, assez peu profonde. Cette petite hauteur d'eau permet aux rayons du soleil d'en éclairer le fond, ce qui favorise l'enracinement de plantes. Contrairement à un étang, le niveau d'eau n'est pas constant, aussi une mare peut-elle être asséchée une bonne partie de l'année (**Site web 3**).

I.9. Les zones humides des hautes plaines de l'Est-algérien

Le Nord- Est algérien rassemble un vaste ensemble de zones humides côtières. Plus au sud, cette région recèle également de vaste complexes de lacs salés et autres zones humides d'une importance écologique. L'un des ces habitat est le complexe des zones humides des Hauts plateaux du Constantinois qui renferme une vingtaine de site (**Saheb, 2003 ; Houhamdi et al, 2008**).

L'éco-complexe de zones humides des hautes plaines de l'Est algérien, par sa diversité de plans d'eau, couvre une superficie très importante, qui dépasse 160 000 ha en crue. Il s'étale de Sétif (1 200 m) à Ain El-Beida (plus de 1000 m) sur à peu près 300 km et il est composé d'une vingtaine de milieux humides plus ou moins grands et plus ou moins salés. La mise en eau dans ces zones humides est en fonction d'un équilibre entre l'entrée (précipitation, la nappe d'eau souterraines) et la sortie (évaporation). La plupart de ces milieux s'assèchent en été et d'autres ne se remplissent d'eau que durant les années de grandes pluviosités (**Fig.01**).

Les milieux humides les plus spacieux de ces hautes plaines se trouvent encerclés dans la région des Sebkhass enclavée entre les wilayas d'Oum El-Bouaghi, Khenchela et Batna. Ces hydro systèmes sont dans leur majorité salés, difficilement accessibles et très peu de littérature scientifique les décrit (**Benazouz, 1986 ; Saheb, 2003 ; Boumezbeur, 2004**).

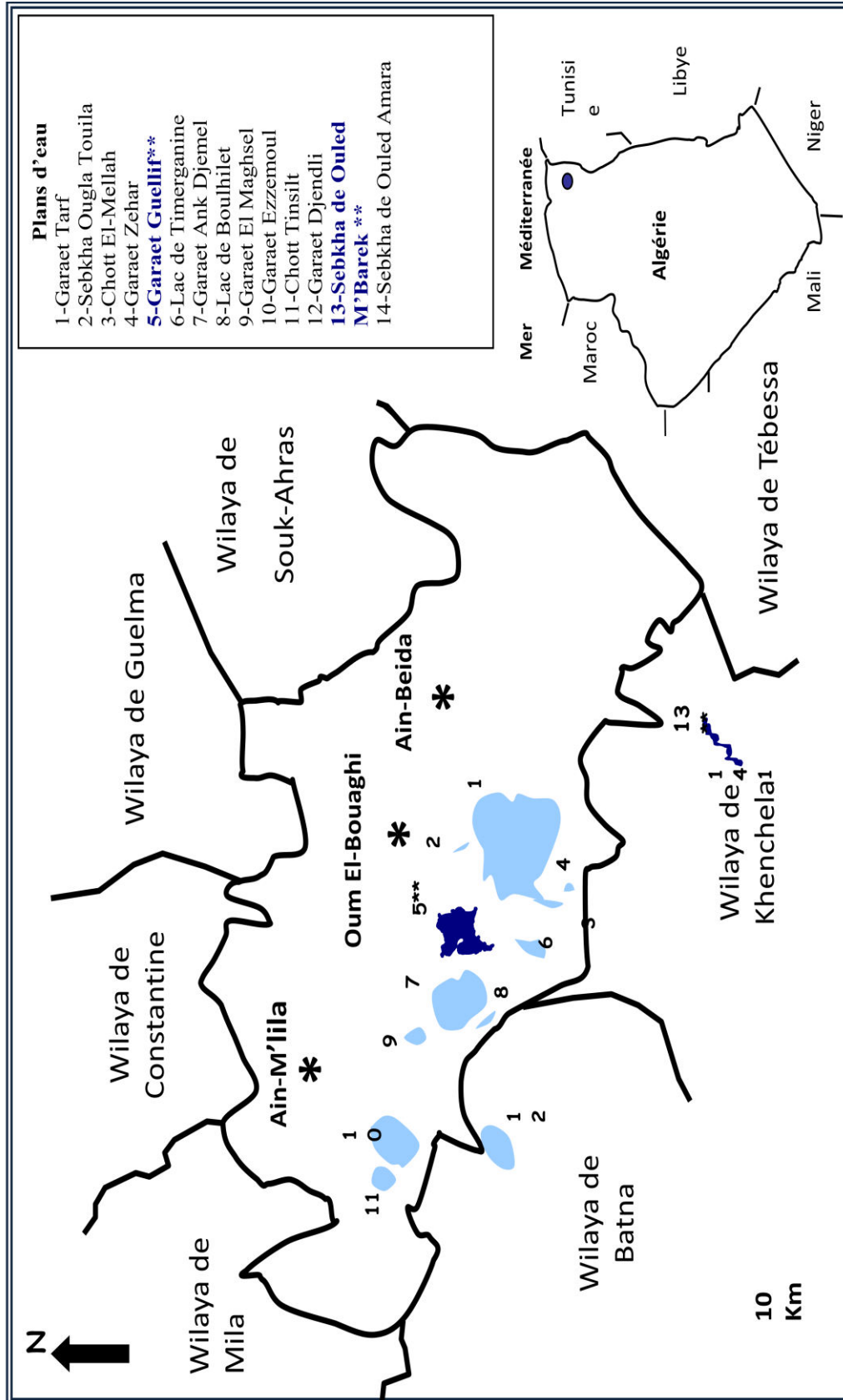


Fig.01. Situation géographique du complexe des zones humides des wilayas d'Oum El-Bouaghi, Khenchela et Batna. (Saheb, 2003)

Les zones humides constituent également un lieu idéal d'une diversité biologique. Elles jouent un rôle essentiel dans l'alimentation et la reproduction de plusieurs espèces animales (oiseaux, micro invertébrées, macro invertébrés ...etc.).

L'oiseau d'eau représente, en effet, un élément indispensable à l'équilibre écologique des milieux aquatiques, comme indicateur de leur qualité et un maillon essentiel de la chaîne alimentaire. Ce sont donc les ornithologues qui, dans les années soixante, envisagent des solutions pour lutter contre la destruction des zones humides et ses conséquences sur les oiseaux et, plus globalement, sur la biodiversité et sur l'homme. Il était donc logique que la ligue pour la protection des oiseaux (LPO) s'engage au quotidien dans la gestion de ces écosystèmes.

I .10. Généralités sur les sebkhas

I .10.1 Définition de la sebkha

Les Sebkhas forment des écosystèmes naturels, qui présentent des intérêts très diversifiés, et sont utilisées comme indicateurs de l'évolution géochimique naturelle, le suivi de cette évolution est non disponibles dans les autres systèmes (lac éternels, chambre magmatique) sur le plan écologique. Les sebkhas sont des biotopes très important, que ont contribues à la protection de la biodiversité. Mais ces systèmes sont très fragiles, et sont menacés par l'effet anthropique (eaux usées, les engrais et les pesticides) (**Gouga H, 2014**).

Les Sebkhas constituent des dépressions peu profondes, renferment de l'eau salée pendant de longues périodes, ne s'assèchent généralement qu'aux plus fortes canicules de l'été. Certaines d'entres elles peuvent même rester humides durant toute l'année (**Khabtane A, 2015**).

Ces dépressions fermées, excepté les cuvettes karstiques du type doline, telles les dayas des Hamadas nord-africaines, constituent un des traits majeurs et des plus austères des paysages arides. Leur origine est essentiellement tectonique, mais leur évolution ultérieure est d'ordre climatique. Leur trait caractéristique est, sans conteste, l'extraordinaire abondance de sels solubles : chlorures et sulfates concentrés à la surface. Ils y interdisent toute végétation. Les touffes d'herbes halophiles et psammophiles n'apparaissent que dans certaines zones, à la faveur de sols moins salés qui bénéficient d'apports éoliens importants (**Khabtane A, 2015**).

I.10.2 .Classification des Sebkhas

I .10 .2.1. Classification selon le bilan hydrologique

L'étude qui faite par **Yan, JP (2001)** appliquée sur les grands lacs du monde, ceux de Qinghai et Turquie, a classé les lacs salés en trois (3) types, selon leurs bilans hydrologique à savoir :

- **Les lacs éphémères de type (A)** « Ephemeral lake, short term ». Ce sont des lacs saisonniers, pouvant devenir secs dans un intervalle de temps très court, cela est dû au taux d'évaporation très élevé. Il s'agit de 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 le flux des bicarbonates. La basse alcalinité des eaux rend le milieu acide.
- **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 de 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 du lac est souvent maintenu pendant longtemps à un niveau élevé.
- **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 minérale dissoute.

I .10 .2.2. Classification selon le milieu de formation

Les différents types de sebkha dépendent de leur milieu de formation. Mais toutes les sebkhas ont un point commun : il s'agit de zone proche de la nappe phréatique. La déflation joue jusqu'à ce que soit atteint le niveau hydrostatique. Par capillarité, l'eau de la nappe subit une aspiration due à sa propre évaporation en surface. Se faisant, elle dépose successivement des sels dissous de carbonate de calcium (CaCO_3). De gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) d'anhydrite (CaSO_4) et de chlorure de sodium (NaCl) qui précipitent pour donner une croûte imperméable et parfois très épaisse d'évaporites (**Boutelli M, 2012**).

I.10.3. Les différents types de sebkha

On distingue trois grands types de sebkha, associés à des conditions de formation spécifiques.

I.10.3.1. La sebkha fluvio- lacustre

Les eaux souterraines d'infiltration dans des bassins hydrographiques peu profonds et l'évaporation par capillarité qui en découle, expliquent la formation de telles structures (**Fig.02**) (**Khabtane A, 2015**).

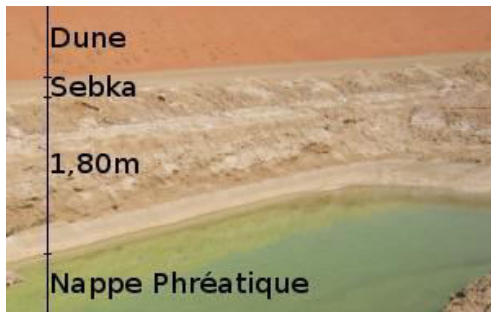


(Source : Khabtane A, 2015)

Fig.02 : Sebkha fluvio lacustre Région de Ghinayyin (Sultanat d'Oman)

I.10.3.2. La sebkha inter-dunaire

Comme leur nom l'indique elles correspondent aux lacunes laissées dans les champs de dunes par déflation. Dans les plaines salines où elles se forment, la nappe phréatique est superficielle et permet la formation de séries évaporitiques et notamment du gypse (**Khabtane A, 2015**).



(Source : Khabtane A, 2015)

Fig.03 : Affleurement d'une sebkha inter-dunaire

Région de Liwa (UAE)

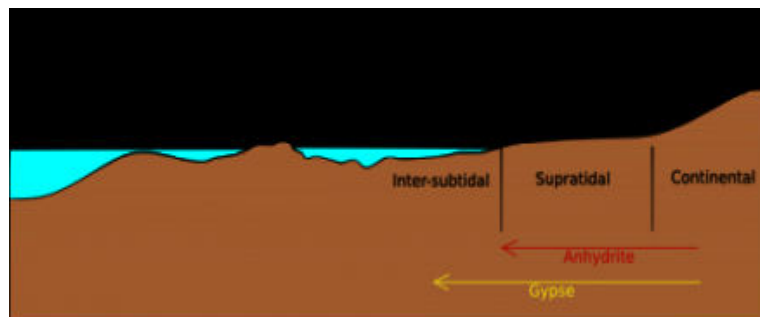


(Source :Khabtane A, 2015)

Fig.04: Sebkhia inter-dunaire.

I.10.3.3. La Sebkhia marine ou côtière

Située dans la zone supratidale, c'est à dire au delà de la limite de haute mer. Elle est caractérisée par des inondations liées aux tempêtes ou aux grandes marées d'équinoxe. Cette influence marine est également identifiable par la présence de tapis d'algues, les stromatolithes (Khabtane A, 2015).



(Source :Khabtane A, 2015)

Fig.04 : Profil transversal dans le littoral

II.1. Généralités

De nos jours, l'eau représente 71% de l'espace sur la planète, mais 3% de l'or bleu est douce, seulement 0.7 % est accessible à la consommation humaine. Cette quantité d'eau est estimée suffisante (**site web 4**).

L'eau est la source principale et originelle de toute vie. Elle se présente, dans la nature, sous trois états:

- Solide: neige et glace.
- Liquide : eau chimiquement pure ou chargée en solutés.
- Gazeux: à différents degrés de pression et de saturation (**site web 4**).

Les eaux sont en constante circulation sur la terre et subissent des changements d'état dépend essentiellement de la température et de la pression mais aussi du degré de pollution de l'atmosphère, L'importance de ces modifications fait de l'eau le principal agent de transport d'éléments physiques, chimiques et biologiques. L'ensemble des processus de transformation et de transfert de l'eau forme le cycle hydrologique (**Site web 5**).

II. 2. Le cycle hydrologique

C'est un concept qui englobe les phénomènes du mouvement et du renouvellement des eaux sur la terre. Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau évaporée à partir du sol, des océans et des autres surfaces d'eau, entre dans l'atmosphère. L'élévation d'une masse d'air humide permet le refroidissement général nécessaire pour l'amener à saturation et provoquer la condensation de la vapeur d'eau sous forme de gouttelettes constituant les nuages, en présence de noyaux de condensation. Puis la vapeur d'eau, transportée et temporairement emmagasinée dans les nuages, est restituée par le biais des précipitations aux océans et aux continents (**Site web 5**).

Une partie de la pluie qui tombe peut être interceptée par les végétaux puis être partiellement restituée sous forme de vapeur à l'atmosphère. La pluie non interceptée atteint le sol. Suivant les conditions données, elle peut alors s'évaporer directement du sol, s'écouler en surface jusqu'aux cours d'eau (ruissellement de surface) ou encore s'infiltrer dans le sol. Il peut aussi y avoir emmagasinement temporaire de l'eau infiltrée sous forme d'humidité dans le sol, que peuvent utiliser les plantes (**Site web 5**).

Il peut y avoir percolation vers les zones plus profondes pour contribuer au renouvellement des réserves de la nappe souterraine. Un écoulement à partir de cette dernière

peut rejoindre la surface au niveau des sources ou des cours d'eau. L'évaporation à partir du sol, des cours d'eau, et la transpiration des plantes complètent ainsi le cycle (**Site web 5**).

II. 2 .1. Les étapes du cycle de l'eau

a. Évaporation et transpiration des végétaux

Sous l'effet de l'énergie solaire, l'eau des mers et des océans s'évapore dans l'atmosphère sans le sel et les autres impuretés. L'évaporation est plus importante au niveau des océans qu'à l'intérieur des terres: lacs, rivières et fleuves. Donc, les rayons du soleil réchauffent l'eau des rivières, des fleuves, des lacs, des mers et des océans et la fait passer de l'état liquide à l'état de vapeur d'eau (gazeux) : c'est l'évaporation (**site web 6**).

Les plantes et les autres espèces végétales puisent l'eau dans le sol et la rejettent sous la forme de vapeur d'eau. Environ 10% des précipitations tombant sur la Terre proviennent de la transpiration des végétaux, le reste est en conséquence dû à l'évaporation (**site web 6**).

La transpiration des plantes et l'évaporation du sol humide libèrent de l'humidité qui s'élève dans l'atmosphère sous la forme de nuages (**site web 6**).

b. L'action du vent

Le vent déplace les nuages au-dessus des terres (**site web 6**).

c. La condensation et les précipitations

Au contact de l'atmosphère, la vapeur d'eau se refroidit et se transforme en petites gouttelettes qui vont être à l'origine de la formation des nuages qui sous l'action des vents vont se diriger vers l'intérieur des terres (**site web 6**).

Cette étape se nomme: la condensation. Transportés par la circulation atmosphérique, les nuages se déplacent et l'effet de la gravité aidant, l'eau retombe sur le sol sous forme d'eau, de neige ou de grêle (état liquide ou solide). Nous sommes en présence de précipitations (**site web 6**).

d. Le ruissellement et l'infiltration

L'eau qui n'est pas absorbée par le sol, ruisselle le long des pentes jusqu'à se déverser dans les rivières, les fleuves et les lacs. Elle sera ensuite transportée jusqu'aux mers et océans. L'eau de pluie s'écoule lorsqu'elle rencontre un sol imperméable et dévale de l'amont vers l'aval.

L'eau de pluie pénètre dans les sols perméables. En s'infiltrant dans un sol perméable, l'eau peut parfois remplir une poche souterraine (grotte) et former un véritable réservoir d'eau (**site web 6**).

e. La percolation

Représente plutôt l'infiltration profonde dans le sol, en direction de la nappe phréatique (**site web 7**).

II. 3. Les différentes ressources d'eau naturelle

L'eau est source de vie... ça tombe bien, on en trouve en abondance presque partout, sous toutes les formes, à la surface de la Terre, les eaux de surfaces ou superficielle, ou même en dessous, les eaux souterraines (**site web 7**).

II. 3. 1. Les eaux de surface ou eaux superficielles

C'est l'eau des rivières, des lacs, des étangs, et des zones humides, qui sont des terrains couverts d'eau pendant au moins une partie de l'année. Le ruissellement des précipitations alimente les réserves en eaux superficielles et il est considéré comme une ressource renouvelable, bien que limitée (*Guide P.H.Raven et al., 2006*).

Ce sont des eaux qui se caractérisent par une forte charge en impuretés et par une pollution biologique et surtout chimique. La pollution est due surtout aux rejets dans le milieu naturel de grandes quantités d'eaux usées brutes et souvent chargées en polluants toxiques (**Guide Mustapha B, 2000**).

II. 3. 2. Les eaux souterraines

La terre contient des formations souterraines, les aquifères qui accumulent l'eau et le stockent. L'eau provient des précipitations qui s'infiltrent dans le sol et se frayent un chemin à travers les fissures et les pores du sable des roches, jusqu'à ce qu'elles soient arrêtées par une couche imperméable. L'eau de la nappe s'écoule lentement à travers les sédiments ou les roches perméables. Les nappes sont des réserves d'eaux souterraines qui peuvent être libres ou captives (*Guide P.H.Raven et al., 2006*).

Les eaux souterraines sont des nappes phréatiques contenues dans les espaces interstitiels des particules de roches sédimentaires et dans les fissures des roches compactes. L'eau des nappes souterraines se maintient généralement à une température à peu près constante, très proche de la température moyenne annuelle de la région (**Guide Mustapha B, 2000**).

II. 4. Qualité des eaux

L'appréciation de la qualité des eaux se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau (**Site web 8**).

II.4.1. La qualité physico-chimique de l'eau

II.4.1.1. Les qualités physiques de l'eau

Les qualités physiques de l'eau se basent sur des paramètres qualitatifs relativement facile à déterminer. Ce sont des critères de plus utilisés pour l'amélioration du confort du consommateur (**Guide Mustapha B, 2000**).

a. Couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes, c'est-à-dire passant à travers un filtre de porosité égale à 0,45 μm . Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelle et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (**Rodier et al., 2009**).

La coloration de l'eau est due à la présence de matières organiques colloïdales en solution ou en suspension. Une eau colorée n'est pas agréable pour les usages domestiques et en particulier pour la boisson, car elle provoque toujours un doute sur sa potabilité. Les eaux profondes sont rarement colorées, mais les eaux de surface ont souvent une turbidité élevée (**Guide Mustapha B, 2000**).

Les eaux chargées prennent souvent une coloration jaune verdâtre, avec présence d'acide humique qui s'élimine difficilement à la filtration (**Guide Mustapha B, 2000**).

b. L'odeur

En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. L'odeur de l'eau peuvent être modifié soit par la présence de matière organiques en décomposition, soit, par la présence de matières sécrétées par les organismes vivants dans l'eau, en particulier, les algues et les champignons (*Rodier et al., 2009*).

Certains produits chimiques même à des doses infinitésimales développent de mauvaises odeurs. C'est le cas des phénols qui forment avec le chlore utilisé pour la désinfection de l'eau, des malodorants (**Guide Mustapha B, 2000**).

c. Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace (*Rodier et al., 2009*).

Elle ne mesure pas cette quantité, mais elle exprime la capacité des particules à retenir et diffracter la lumière. La turbidité s'exprime en Unité Formazin (FTU) ou en unité Néphélométrie (NTU) (**Khemic, 2014**).

En France on mesure la turbidité par la méthode normalisée NTU (Néphélométrie Turbidity Unit) par spectrométrie, c'est à dire mesure de l'absorption de la lumière par l'eau.

- NTU < 5 => eau claire
- NTU < 30 => eau légèrement trouble
- NTU > 50 => Eau trouble

Une importante turbidité de l'eau entraîne une réduction de sa transparence qui réduit la pénétration du rayonnement solaire utile à la vie aquatique (photosynthèse) (**Site web 9**).

d. Dureté

La dureté de l'eau ou l'hydrotimétrie est une mesure globale de la concentration en sels dissous de l'eau en calcium et en magnésium (**Guide Mustapha B, 2000**). Une eau est dite douce ou dure selon sa charge en calcium et en magnésium.

La somme des deux éléments constitue le Titre Hydrotimétrique (TH) qui s'exprime en France en degrés français (symbole °f ou °fH) sur une échelle de 0 à 40. (1°f = 4mg/l de calcium ou 2,4mg/l de magnésium).

- Une eau sera dite dure si son TH est > à 15 °f. Une eau trop dure a pour inconvénients d'entartre les canalisations et un usage plus important de détergents pour le lavage.
- Une eau sera dite douce si son TH est < à 15 °f. Une eau trop douce sera dite « agressive » parce que corrosive pour les conduites (**Guide technique, 2016**).

e. Température de l'eau

La température est un paramètre intéressant dans l'étude des eaux, elle joue un rôle très important dans la solubilité des minéraux. La mesure de la température est effectuée sur terrain, on utilise souvent dans ce but un thermomètre ou un multi paramètre. La lecture est effectuée après une immersion de 10 minutes (**Nehm, 2014**).

Les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs, saisonniers et autres (**Guide Mustapha B, 2000**).

f. Le pH (le potentiel d'Hydrogène) de l'eau

Ce paramètre, qui se mesure sur le terrain avec des bandelettes test ou un appareil (pH-mètre) (**Guide technique 2016**), le pH exprime si l'eau est à réaction acide ou alcaline.

Les pH inférieurs à 7 indiquent une tendance vers l'acidité. Les pH supérieurs à 7 indiquent une tendance vers l'alcalinité. Selon le (**Guide Mustapha B, 2000**), l'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C (**Site web8**).

Le pH des eaux naturelles est généralement compris entre 6,6 à 7,8 et selon (**Rodier, 1984**). Habituellement, les valeurs du pH se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles (**Chapman D et Kimstach V, 1996**). Au-dessous de ce seuil, l'eau est dite « agressive » selon le (**Guide Mustapha B, 2000**).

g. La conductivité électrique d'une eau (γ)

La conductivité électrique d'une eau (γ) est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm . Elle est l'inverse de la résistivité électrique (ρ).

$$\gamma = 1/\rho = (1/R) \cdot (L/S) \quad \gamma : \text{conductivité (en } \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \text{ ou S} \cdot \text{m}^{-1}\text{)}.$$

ρ : résistivité (en $\Omega \cdot \text{m}$). R : résistance (en Ω).

L : distance entre les deux électrodes (en m).

S : surface de chaque électrode (en m^2) (*Rodier et al., 2009*).

La conductivité électrique dépend de la nature des ions dissous et de leurs concentrations. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (*Rejsek, 2002*), qui peut entraîner selon le cas un goût salé variable selon la nature des sels présents (*Potelon, 1998*).

Tableau 2 : Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée (*Rejsek, 2002*).

Conductivité en $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation de l'eau
< 100	Très faible
Entre 100 et 200	Faible
Entre 200 et 333	Moyenne
Entre 333 et 666	Moyenne accentuée
Entre 666 et 1000	Importante
>1000	Elevée

h. La salinité de l'eau

La salinité désigne la masse totale de substances solides dissoutes dans un kilogramme d'eau, ainsi selon *Sorensen (1902)*, la salinité est définie comme la masse exprimée en grammes des composés solides contenus dans un kilogramme d'eau (*Sedrati, 2013*).

i. Les matières en suspension (MES) de l'eau

On appelle matières en suspension les très fines particules en suspension (sable, argile, produits organiques, particules de produits polluants, micro-organismes,...) qui donnent un aspect trouble à l'eau, (turbidité) et s'opposent à la pénétration de la lumière nécessaire à la vie aquatique. En trop grande quantité elles constituent donc une pollution solide des eaux (**Guide technique, 2016**).

La quantité de MES varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles, hydrocarbures aromatiques polycycliques...) (**Merabet, 2010**).

La quantité de matières en suspension totale (**MEST**) se mesure par filtration d'un litre d'eau et pesage des résidus séchés. Le résultat s'exprime en mg/l.

II.4.1.2. Les qualités chimiques de l'eau (Ions majeurs)

La nature et la composition chimique de l'eau, sont en relation avec la structure naturelle qu'elle a pu acquérir dans son parcours géologique et de son degré de pollution (**Guide Mustapha B, 2000**).

Au contact prolongé du sol, les eaux se chargent de plusieurs substances que l'on retrouve communément dans l'eau. Il s'agit essentiellement des sels minéraux comme le calcium, le magnésium, le potassium... (**Guide Mustapha B, 2000**).

a. Ions majeurs

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 8 ions, appelés couramment les majeurs. On distingue les cations : Ammonium, Calcium, Magnésium, Sodium, et Potassium, et anions : Chlorure, Sulfate, Nitrite, Nitrate, et bicarbonate. Les indications présentées dans ce paragraphe sont utiles pour interpréter les résultats d'analyses courantes.

1. Les Cations

- **Calcium (Ca⁺⁺)**

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Le calcium est un Composant

majeur de la dureté de l'eau. Cet élément est généralement dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrains traversés (**Rodier, 1976**).

Il existe surtout à l'état l'hydrogénocarbonate et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures, etc (**Rodier, 1976**).

Pour les eaux de surface : la norme de (Ca^{++}) est (70mg/l) Selon (**l'OMS, 2003**) et 100 mg/l selon (**JORA, 2012**).

- **Ammonium (NH_4^+)**

C'est un cation qui provient de la dissolution de l'ammoniac dans l'eau (**WHO, 1998**). l'ammonium n'a pas d'effet appréciable sur la santé du consommateur mais sa présence dans les eaux est un indicateur de pollution (**Jean, 2002**).

Dans les eaux profondes, sa présence peut également être due aux conditions réductrices régnant dans une nappe. Il doit être éliminé dans les eaux de consommation car c'est un élément qui peut permettre à certaines bactéries de proliférer dans les réseaux de distribution (**Jean, 2002**).

La forme ammonium n'est pas toxique. Mais dans les eaux à pH supérieur à 7,5 une fraction peut être transformée en ammoniaque (gaz ammoniac en suspension dans l'eau et toxique pour les poissons (**Guide technique 2016**).

Pour les eaux de surface : la norme de (NH_4^+) est inférieure ou égale à 0,1 mg/l Selon (**l'OMS, 2003**).

- **Magnésium (Mg^{++})**

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre (**Rodier, 1976**).

On trouve l'état naturel de grandes quantités de carbonate de magnésium qui constitue la minérale magnésite (MgCO_3), ainsi que la minérale dolomite ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) (**Glinka, 1977**).

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau ; sa teneur dépasse rarement 15mg/l. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogénocarbonates (**Rodier, 1976**).

Pour les eaux de surface : La norme de magnésium est (50mg/l) selon (**l'OMS, 2003**).

- **Sodium (Na^{++})**

Le cation sodium (Na^+) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sable, argile, évaporite).

La roche Halite (évaporite NaCl) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées.

Notons que les argiles peuvent être saturées en ions Na^{2+} , par le processus d'échange de bases (**Rodier, 1976**).

Pour les eaux de surface : La norme de sodium est (150 à 200 mg/l) selon (**l'OMS, 2003**).

- **Potassium (K^+)**

Le potassium est généralement l'élément majeur le moins abondant dans les eaux après le sodium, le calcium et le magnésium (**Pesson, 1979**).

Bien que dans les roches ignées la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium, sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l (**Rodier, 1976**).

Pour les eaux de surface : La norme de potassium est (12mg/l) selon (**l'OMS, 2003**).

b. Les anions

- **Sulfate (SO_4^{-2})**

Mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse (CaSO_4), mais également de la pyrite (FeS) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite). Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures, et l'utilisation d'engrais chimique et lessive.

D'une façon générale, la présence de sulfate dans les eaux naturelles non polluées invoque la présence de gypse ou de pyrite. Le soufre est un élément non métallique qui existe à l'état naturel dans les sols et les roches sous forme organique (soufre protéique) et à l'état minéral (sulfure, sulfates et soufre élémentaire). Le soufre se combine à l'oxygène pour donner l'ion sulfate, présent dans certains minéraux : gypse, baryte (**Peck, 1970**).

La transformation réversible des sulfates en sulfures se fait grâce au cycle du soufre (Peck, 1970). Pour les eaux de surface : La norme de sulfate est (250 à 500 mg/l) selon (l'OMS, 2003).

- **Chlorures (Cl⁻)**

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines et sont liés principalement à la dissolution des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très facile d'où à leurs présences en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo-sableuses ou argileuses (Belaa et Abboud, 2015).

L'apport par les précipitations est d'autant plus important que la distance à la mer est faible. La teneur en ion chlore des eaux naturelles est essentiellement associée à celle du sodium (Humbert et Pommier, 1988 in Tarik, 2005).

Ainsi, ils peuvent provenir également de l'action humaine à partir du soulage des routes, ou par contamination par les eaux usées. Les chlorures donnent un goût désagréable et posent le problème de la corrosion dans les canalisations et les réservoirs à partir de 50 mg/l (norme de l'O.M.S) (Belaa et Abboud, 2015).

Pour les eaux de surface : La norme de Chlorure est (200 à 250 mg/l) selon (l'OMS, 2003).

- **Bicarbonate (HCO₃⁻)**

Leur origine principale est la dissolution des roches carbonatées (Bouballi, 2009), tel que les calcaires et les dolomies. (Belaa et Abboud, 2015), ainsi leur concentration dans l'eau est fonction de la nature des terrains traversés, la température de l'eau, et la pression du CO₂ dissout (Bouballi, 2009).

II.4.2. les indicateurs de la pollution organique

- **Les Nitrites (NO₂⁻)**

La présence de nitrite d'origine naturelle est très rare. Ils sont répandus dans le sol, les eaux et les plantes mais en quantité relativement faible. Dans les eaux de surface, leur teneur est général inférieure à 1 mg.l⁻¹ (Franck R, 2002).

Pour les eaux de surface : La norme de nitrite est (0,2 à 0,3mg/l) selon (l'OMS, 2003).

- **Les Nitrates (NO₃⁻)**

Ils proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites et constituent ainsi l'ultime produit de la nitrification. En milieu naturel, sa concentration dépasse rarement 0,45 mg/l. Des valeurs supérieures indiquent des rejets d'eaux usées dans les milieux aquatiques superficielles et souterraines, et surtout une utilisation excessive de fertilisants utilisés en agriculture (*Chapman et al., 1996*).

Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux proviennent en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg.l⁻¹ dans les eaux superficielles et quelques mg.l⁻¹ dans les eaux souterraines (*Franck R, 2002*).

II.5. Pollution de l'eau

L'eau est une substance unique parce qu'elle se renouvelle et se nettoie naturellement en permettant au polluants de s'infiltrer (par le processus de sédimentation) ou de se détruire, en diluant les polluants au point qu'ils aient des concentrations qui ne sont pas nuisibles.

Cependant, ce processus naturel prend du temps et devient très difficile lorsqu'il y a une quantité importante de polluants qui sont ajoutés à l'eau (**Site web 10**).

La pollution peut-être définie de plusieurs façons. La pollution de l'eau survient lorsque des matières sont déversées dans l'eau qui en dégrade la qualité (**Site web 10**).

La pollution dans l'eau inclut toutes les matières superflues qui ne peuvent être détruites par l'eau naturellement (**Site web 10**).

La pollution de l'eau se manifeste par la présence dans l'eau (océans, mers, lacs, fleuves, nappes phréatiques) d'éléments toxiques qui provoquent la destruction de la faune et la flore. Cette pollution peut rendre l'eau non consommable. Elle peut provenir d'usines, d'eaux-usées, de produits agricoles ou d'hydrocarbures (**Site web 11**).

La pollution de l'eau est néfaste pour l'environnement car elle détruit les ressources d'eau douce, alors qu'il n'y a pas assez d'eau potable pour soutenir les écosystèmes (**Site web 11**).

La pollution peut, dans certaines circonstances, être causée par la nature elle-même, comme lorsque l'eau coule par des sols qui a un taux élevé d'acidité. Par contre, la plupart du temps ce sont les actions humaines qui polluent l'eau (**Site web 10**).

II.5.1. Les principales sources de pollution

Il y a 2 sources principales de pollution: Les sources précises et les sources non-précises.

II.5.1.1. Les sources précises

Incluent les usines, installations de traitements d'eau usées, systèmes de fosses septiques et d'autres sources qui déversent très clairement des polluants dans les sources d'eaux (**Site web 10**).

II.5.1.2. Les sources non-précises

Sont plus difficiles à trouver car on ne peut pas les retracer jusqu'à un emplacement particulier. Elles incluent les écoulements de sédiments, engrais, produits chimiques, déchets d'animaux de ferme, champs, chantiers et mines. L'enfouissement des déchets peut aussi être une source non-précise si les substances du site filtrent les déchets dans des provisions d'eaux (**Site web 10**).

II.5.2. L'origine de la pollution

a. Pollution urbaine

Due principalement aux rejets domestiques (eaux domestiques, eaux collectives de lavage, huiles de vidange, médicaments périmés, matières fécales, etc) elle est liée aux grandes concentrations urbaines (**Site web 10**).

b. Pollution industrielle

Les rejets liquides industriels véhiculent une importante pollution organique et toxique. Il s'agit de différents déchets provenant des industries diverses qui sont principalement installées au niveau du rivage à la fois pour se débarrasser des déchets et pour faire refroidir leurs machines (Industrie alimentaire, Industrie agricole, Tannerie et textile, Papeterie, Industrie physique, Industrie chimique, Industrie pétrochimie) (**Site web 10**).

c. Pollution agricole

L'agriculture, l'élevage et l'aviculture sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans les eaux de surface et souterraines (**Site web 10**).

II.5.3. Type de polluants

À cause du cycle de l'eau, les écosystèmes aquatiques sont susceptibles d'être contaminés par des pollutions accidentelles ou chroniques. En rejetant des effluents contaminés dans le milieu aquatique, les activités humaines industrielles, agricoles ou urbaines polluent les eaux.

On peut distinguer trois grandes familles de pollution:

II.5.3.1. La pollution physique

On parle de ce type de pollution quand le milieu est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe la pollution mécanique (effluents solides), la pollution thermique (réchauffement de l'eau par des usines) et la pollution atomique (retombées de radioéléments issus des explosions d'armes nucléaires, résidus des usines atomiques et accidents nucléaires) (**Sedrati, 2013**).

II.5.3.2. la pollution chimique

La pollution chimique de l'eau est due essentiellement aux déversements des polluants organiques et des sels de métaux lourds par les unités industrielles. Le nombre de polluants chimiques ne cesse de se multiplier, notamment les détergents et les pesticides (**Mustapha B, 2000**).

II.5.3.3. la pollution biologique

Un grand nombre de micro-organismes peuvent proliférer dans l'eau, dans les aliments et dans le milieu naturel grâce aux conditions favorables que leur créé l'homme. Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites, les champignons et les algues (**Mustapha B, 2000**).

II.6. Les méthodes de prélèvement d'eau

Les études de qualité des eaux naturelles comportent trois étapes :

- l'échantillonnage,
- l'analyse,
- l'interprétation (**Site web 12**).

II.6.1. L'échantillonnage

L'échantillonnage est primordial car il conditionne la pertinence de l'analyse. Il doit être de qualité mais également représentatif de ce que l'on veut analyser. Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des récipients propres. Rincés plusieurs fois avec l'eau à analyser. Puits fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon.

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée (**Site web 12**).

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.). Étant donné que dans la plupart des cas le responsable du prélèvement n'est pas l'analyste, il convient que le préleveur ait une connaissance précise des conditions du prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytiques (**Rodier, 2009**).

III.6.2. Echantillonnage et Techniques de Prélèvements des Eaux

On détermine ces caractéristiques à l'aide de mesures et d'analyses sur des échantillons qui doivent refléter le mieux possible la composition de l'eau dans l'aquifère (gisement d'eau).

L'échantillonnage d'une eau, pour la mesure d'un ou de plusieurs paramètres physico-chimiques (Turbidité, T°C, pH, CE, O₂, Ca, Na.....), comprend:

- La préparation (campagne d'échantillonnage) du prélèvement.
- Le prélèvement proprement dit.
- Le conditionnement et conservation de l'échantillon.
- Le stockage de l'échantillon jusqu'au moment où l'eau est analysée.

Chacune de ces étapes est importante pour assurer la fiabilité des résultats d'analyse. Préparation de l'opération d'échantillonnage comprend les matériels suivant

- Carte Topographique et GPS (Global Positioning System)
- Carte géologique
- Flacons (plastic et en Verre) * gouttes d'acide nitrique
- Mutiparametres de terrain

- Glacière (isotherme)
- Sonde (pour mesurer les niveaux statique d'eau)
- Carnet de terrain
- Etiquettes

Il existe deux méthodes de prélèvement d'eau :

- Une méthode manuelle avec un récipient adapté.
- Une méthode automatique avec un appareil programmé.

III.6.3. Matériel et équipement de prélèvement

Il est recommandé que les échantillons soient prélevés dans des flacons neufs. S'il s'agit d'anciens flacons (flacons déjà utilisés), il faudra les rincer au préalable à l'acide nitrique 30 %, puis à l'eau distillée et enfin plusieurs fois avec de l'eau à analyser avant la campagne d'échantillonnage.

La pratique courante consiste à employer des flacons en plastic (polyéthylène) et/ou en verre (borosilicaté). Pour l'analyse des examens microbiologiques, il est recommandé d'utiliser des flacons en verre.

Pour l'analyse physico-chimique le volume recommandé est de 200 ml, pour chaque paramètre en plus, 50 ml supplémentaires. En général 100 ml suffisent pour une dizaine de paramètres.

III.6.4. Acidification des échantillons

L'acidification est souvent utilisée pour la conservation de l'échantillon (évite la précipitation minérale, empêcher la croissance de bactéries, empêcher l'adsorption sur les parois, etc.), mais aussi pour la stabilisation de certaines espèces chimiques. Pour acidifier l'échantillon:

- Prélever dans un récipient une quantité d'eau égale à celle du flacon,
- Déterminer la quantité d'acide nécessaire à atteindre le pH voulu (habituellement $\text{pH} = 2$ en ajoutant l'acide à l'aide d'une pipette graduée et en contrôlant l'évolution du pH à l'aide d'un pH-mètre) (**cours Houha B, 2018**).

III.1. Localisation de Sebkhet El- Mahmel

III.1.1. Cadre général de la région d'El- Mahmel

III.1.1.1. Situation géographique

La commune d'El-Mahmal a été rattachée en 1985 à la Wilaya de Khenchela, située à l'ouest de la Wilaya, La commune d'El- Mehmel est l'une de 21 communes que compte la wilaya de Khenchela elle s'étend sur une superficie de 371Km²

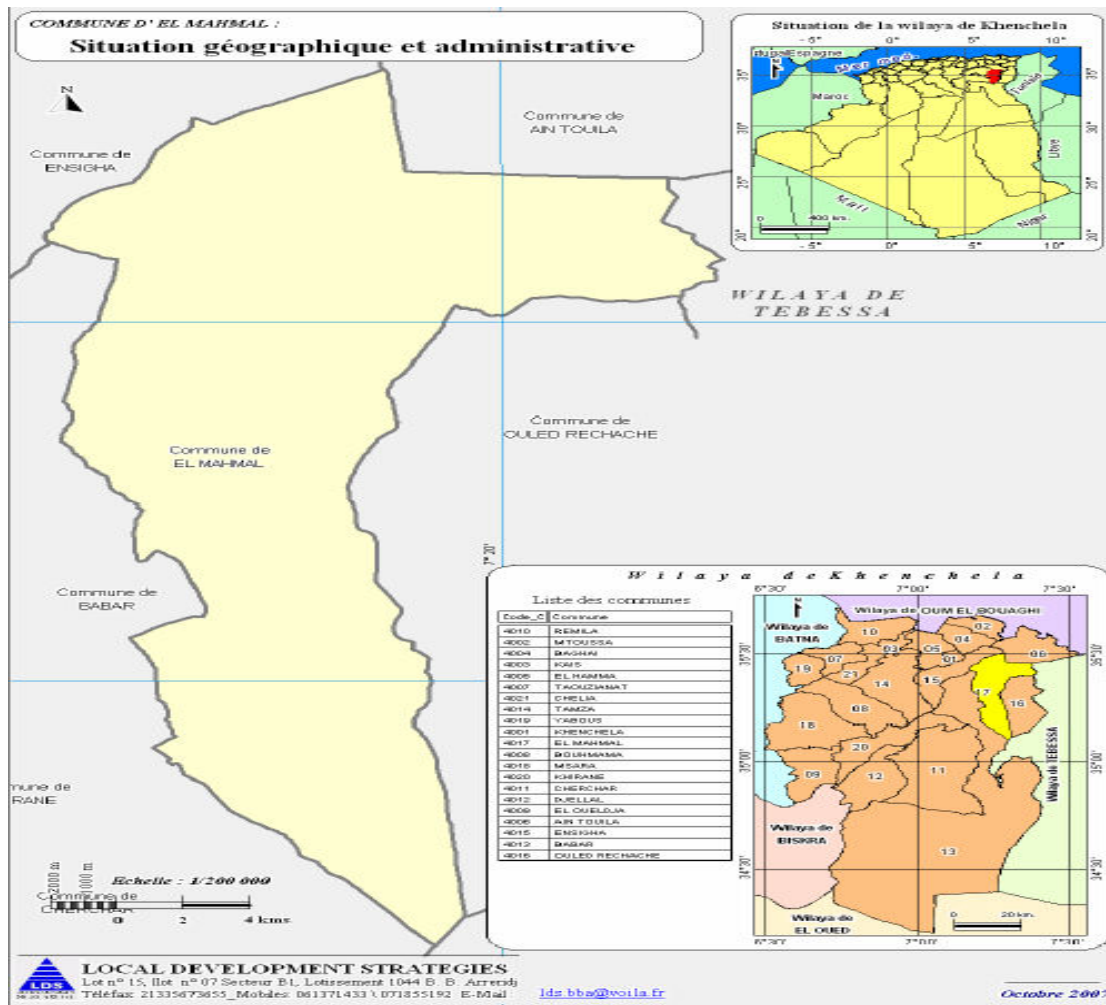
- Population : 38706 hab.

- Densité : 102 hab / Km²

- Le Chef lieu Tazougert (**Khabtane, 2014**).

La commune d'El-Mahmal compte deux agglomérations secondaires (Ouled Azzedine et Icherthithéne).

La commune d'El Mahmel fait partie de la Daïra d'Ouled Rachache (Zoui), située à 9km du chef lieu de la Wilaya. Sur l'axe de la RN 32 qui traverse l'agglomération d'Est en Ouest la reliant au chef lieu de Daira de Ouled Rachache (Zoui). Elle occupe un site relativement plat en légère déclivité d'Ouest en Est (**Fig. 06**).



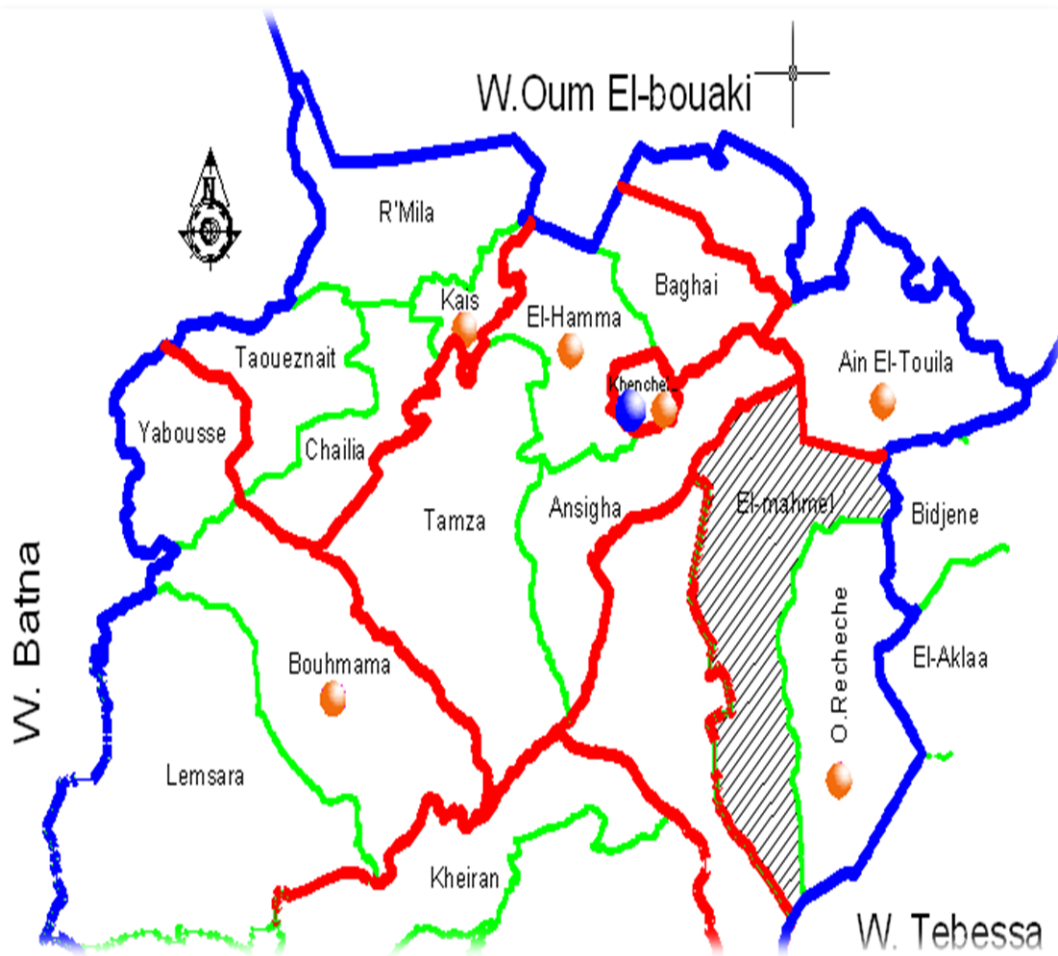
(Source : Direction de l'hydraulique de Khenchela, 2019)

Fig.06 : la situation géographique et administrative de la commune d'El Mahmel

III.1.1.2. Situation administrative

Sur le plan administratif la commune était d'origine rurale, ensuite elle est passé au rang de semi-urbain du fait de la concentration de sa population au chef-lieu, elle est limitée par :

- Au Nord la commune d'Ain Touila.
- Au Nord-Ouest la commune de N'Sigha.
- À l'Ouest et Sud-ouest la commune de Babar.
- À l'Est la commune de Bidjen et Ouled Rechache.
- Au Sud la wilaya de Tebessa (**Fig. 07**).



(Source : Direction de l'hydraulique de Khenchela, 2019)

Fig. 07 : les limites de la commune d'El Mahmel

Historiquement, la sebkha était essentiellement la propriété de colon français où il pratiquait deux activités essentielles :

- L'agriculture et l'élevage
- L'exploitation du sel durant les années de la révolution celui-ci était acheminé vers Tizi-Ouzou, Jijel et Bejaia pour la préparation et le tannage des cuirs (**Bouakkaz , 2017**).

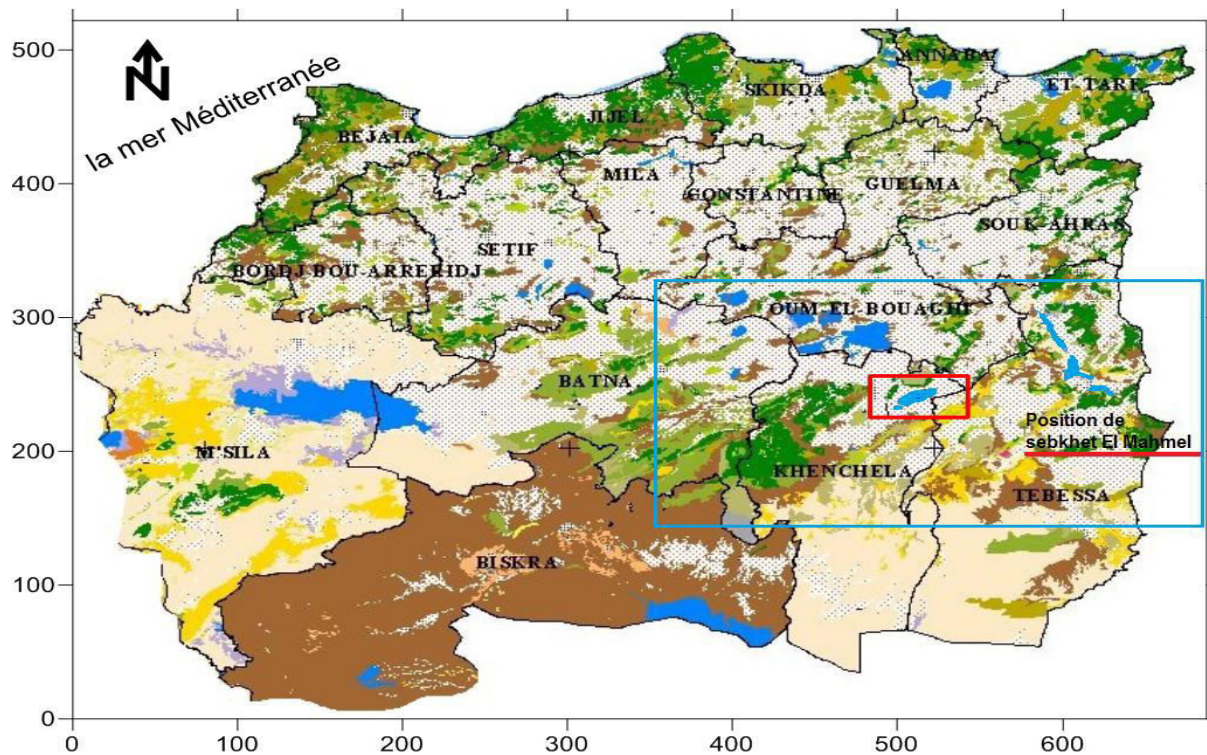
III.2. Situation générale de la zone humide Sebket El- Mahmel

La zone humide de Sebket El Mahmel constitue par sa typologie l'unique plan d'eau naturel dans tout le territoire de la wilaya de Khenchela, située dans la partie steppique sud de la wilaya.

Le secteur de Sebkhha appartient au complexe des zones humides continentales du hauts palataux du Sud constantinois qui couvre les wilaya de Batna, Oum El Bouaghi , Khenchela et Tébessa , qui se situent entre 750 et 1200 m d'altitude, ils constituent un long boulevard bordé au Nord par l'atlas tellien et par l'Atlas saharien au sud (*Khabtane, et al., 2010*).

Leur relief est très compartimenté, et ils sont, par ailleurs, traversés en écharpes par de petits chaînons calcaires, de style atlastiques, allongés SW-NE, et qui correspondent généralement à des anticlinaux failles ou asymétriques. Cette topographie se conjugue avec l'aridité pour entraver le drainage.

Au Nord existe un drainage exoréique constitué de petits cours d'eau qui serpentent les hautes Plaines avant de se lancer dans la traversée du Tell. Le centre et le Sud sont le domaine du drainage endoréique vers les sebkhas (**Fig. 08**).



(Source Direction de l'hydraulique de Khenchela, 2019)

Fig. 08: Position géographique de Sebkheth El Mahmel Par rapport au complexe continental humide du Sud constantinois

Le site « Esbikha » est considéré comme l'une des plus importantes zones humides de la wilaya de Khenchela. Son importance est due à sa grande superficie et le rôle qu'elle joue au niveau social, économique et industriel.

Sur plan régional, le secteur de Sebkhet El- Mahmel se situe entre: la commune d'El-Mahmel avec plus de 80% et le reste dans la commune de Ain Touila, qui se localise dans le prolongement Est et Nord-est des monts des Aurès-Nemamcha, à la limite Est de la wilaya de Khenchela.

III.2.1. Coordonnées géographiques

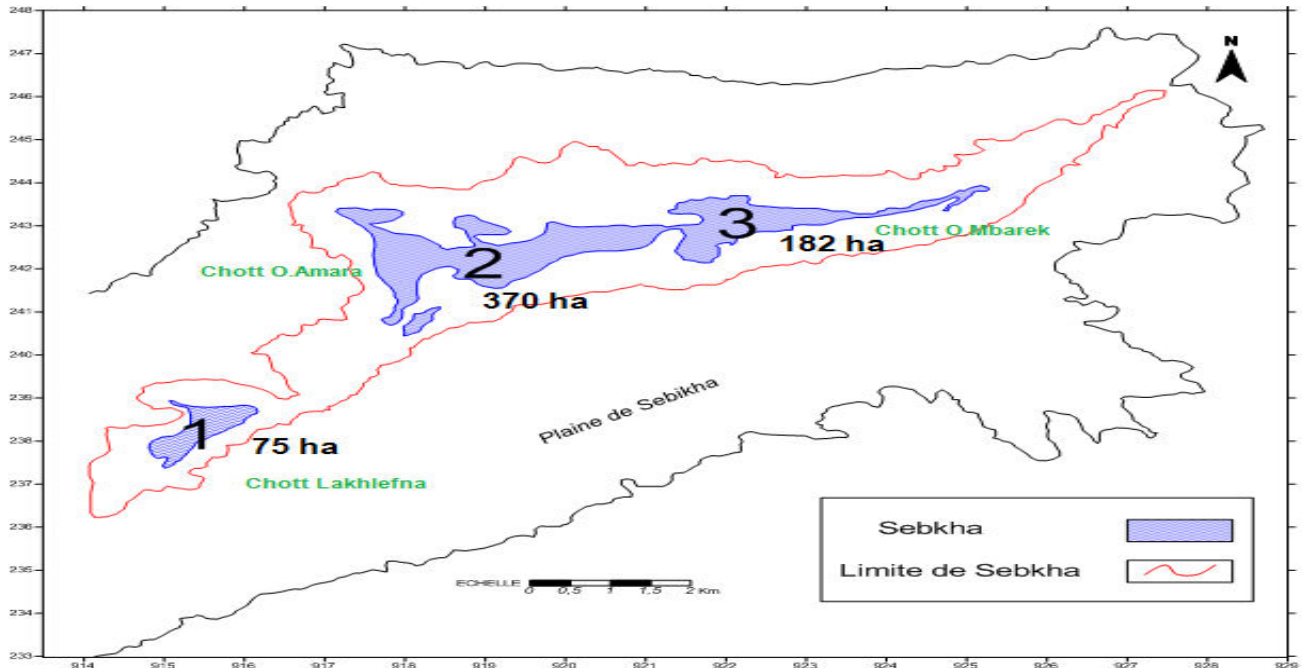
- Longitude: 914 km , 924 km.
- Latitude: 236 km, 244 km.
- Altitude: 1070 m

III.2.2. Géographie et hydrologie

Sebkhet El-Mahmel, est un lac salé allongé, divisé en plusieurs séries d'unités. La superficie du plan est d'environ 627 ha en haute eau divisé en trois compartiments:

- Chott ouled Bouali-Lakhlefna 75 ha.
- Chott Ouled Amara 370 ha.
- Chott Ouled Mbarek 182 ha.

Tandis que la superficie totale de la zone humide de la Sebka est d'environ 2800 ha (**Fig. 09**).



(Source Direction de l'hydraulique de Khenchela, 2019)

Fig. 09 : Délimitation de la zone humide de Sebket El Mahmel

Sebket El-Mahmel, dont deux Sebkhets sont les principales connues sous le nom de Sebket Ouled Amara et Sebket Ouled M'Barek. Ces deux Sebkhets d'une profondeur variant entre 0.6 et 1.2 m abritent une avifaune aquatique très diversifiée. La Sebkheta de Ouled M'Barek renferme une série de petits îlots souvent utilisés par l'avifaune aquatique pour se reposer, se réfugier et se reproduire et dont les caractéristiques sont mentionnées sur le **tableau 03 (Saheb, 2003)**.

Tableau 03 : Caractéristiques des îlots de la Sebkheta de Ouled M'Barek.

Paramètres / Ilots	Surface (ha)	Distance berge la plus proche/Ilot en (m)	Niveau d'eau (cm)	Pourcentage de recouvrement végétal	Hauteur de l'îlot (m)
Ilot 1	0.63	203	60	70	2.8
Ilot 2	0.38	155	58	75	1.9
Ilot 3	0.09	1	15	60	0.013
Ilot 4	0.03	178	30	80	0.9
Ilot 5	0.04	178	30	80	0.9
Ilot 6	0.03	18	20	65	0.3
Ilot 7	0.29	328	30	35	0.3

III.2.3. Analyse de milieu

La caractérisation physique de la région d'El Mahmel ne peut se faire qu'à travers l'analyse détaillée des reliefs, la géomorphologie, l'organisation des structures et la connaissance des éléments bio-climatologiques. Ce diagnostic doit aboutir, aussi, à la compréhension des processus et des mécanismes d'évolution de la zone, à partir des liens et des interactions entre le milieu physique et l'homme.

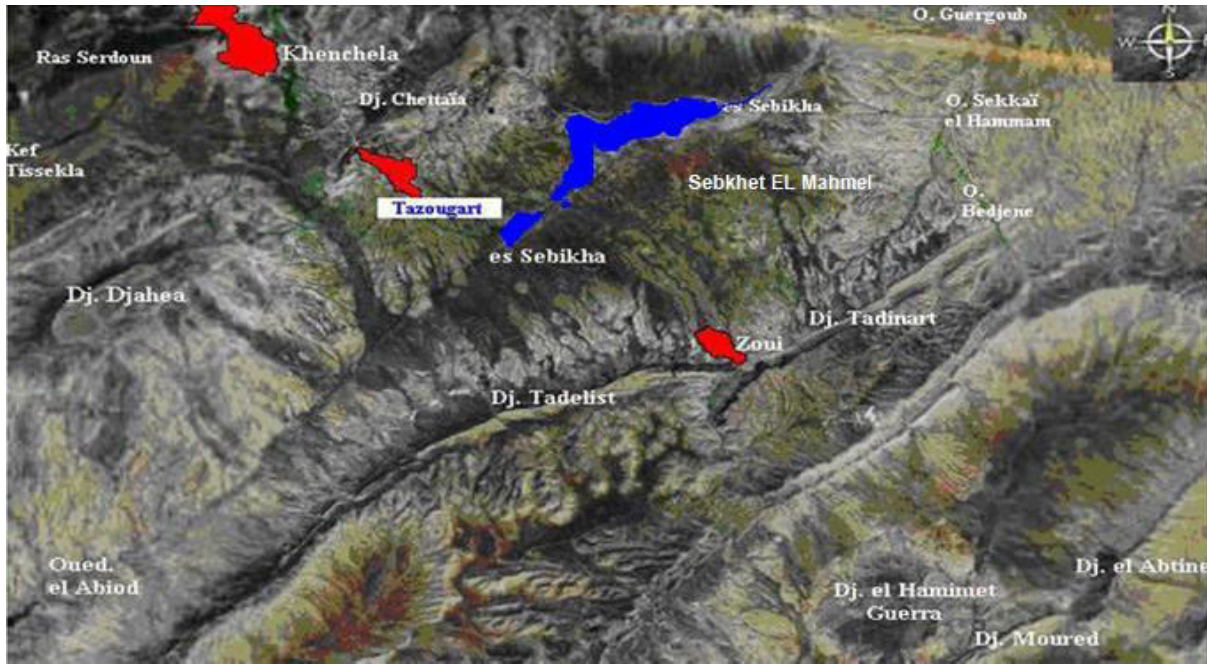
III.2.3.1. Relief

De par sa position, la commune d'El Mahmel forme une cuvette où l'altitude passe de 1050 m à 1200 m pour les zones plates, et de 1524 m à 1580 m pour les zones hautes (**Belaa et Abboud, 2015**).

III.2.3.2. Les plaines

Le territoire de la commune est dominé, dans sa majeure partie, par la plaine atlasique intramontagnarde. Cette dernière est représentée par le bassin de Bahiret Sebkhha (1060 m) qui correspond à un vaste couloir intra-montagneux orienté de l'ensemble des reliefs de cette région, qui sont séparés par une succession des dépressions à savoir la direction NE-SW, Ce périmètre représente une vaste plaine dans laquelle se développent certains sols salés autour de la Sebkhha (**Ouannes, 2008**).

C'est une plaine intramontagnarde assez vaste, avec une largeur variable allant de 5 Km à 8 Km, elle est empruntée par plusieurs Oueds à direction divergente à partir du méridien de l'agglomération de Tazougouert, avec des Oueds orientés vers le NE, ex. de l'Oued Sebkhha et des Oueds dirigés vers le SW, ex. de l'Oued El Hatiba, principal affluent de l'oued El Abiod (**Ouannes, 2008**).



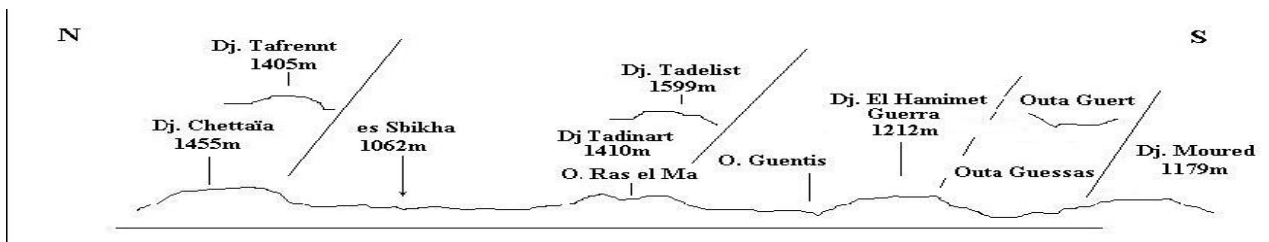
(Google earth, 2019)

Fig. 10 : Principaux unités morphologiques de la région d'El Mahmel à partir de l'image satellitaire

III.2.3.3. Les montagnes

La région montagneuse située au Nord, et au Sud de la zone est constituée par quelques Djebels qui atteignent parfois 1650 m, elles sont constituées par :

- Djebel Chattaia au Nord de 1505 m d'altitude.
- Djebel Tafrennt au Nord-est de 1406 m.
- Djebel Tokhma et Djebel fedjidjet de 1291 m sont situés à l'est de la zone.
- Djebel Tadinart de 1408 m et Djebel Tadelist de 1410 m qui sont situés au Sud de la zone.

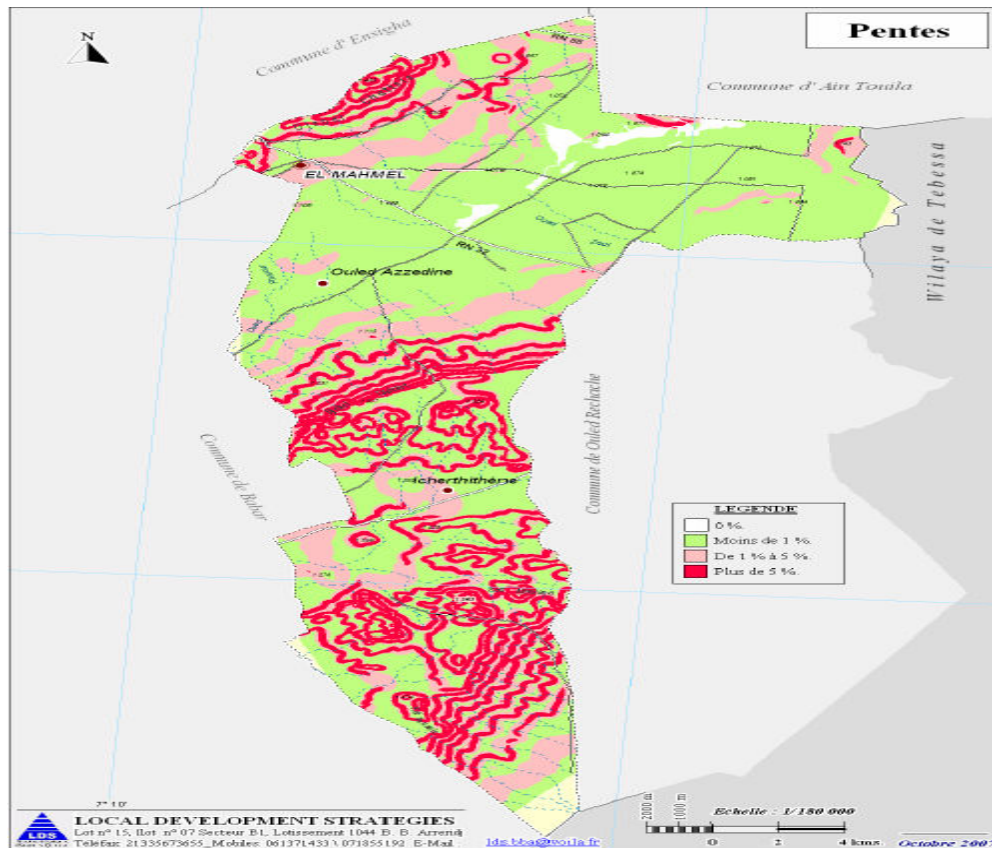


(Source Direction de l'hydraulique de Khenchela, 2019)

Fig.11: Profil topographique (N-S) à travers la commune d'El Mahmel

III.2.3.4. Les pentes

Les pentes dans cette zone sont généralement faibles au niveau des bassins (<2%), moyennes au niveau des piémonts, entre 2 et 10 %, et fortes sur les versants à caractère montagneux avec des pentes supérieures à 10 % et pouvant atteindre des valeurs de plus de 30 % sur les versants escarpés des massifs de Dj. Chattaia, Dj. Tafrennt, Dj. Tadelist, Dj. Aouinet.



(Source Direction de l'hydraulique de Khenchela, 2019)

Fig. 12 : carte des pentes de la commune d'El Mahmel

III.3. Pédologie

Les sols salins se rencontrent principalement dans la région d'Sebkha, Il se développe au-dessus de roches riches en sodium. Il peut s'agir de roches naturellement riches en sodium ou de roches secondairement enrichies en sodium en provenance d'une nappe salée d'origine continentale. L'enrichissement secondaire résulté de mauvaises pratiques culturales, au cours desquelles des remontées d'eau chargées en sel finissent par stériliser les sols. Les causes de ces

remontées de sel sont multiples. L'irrigation, associée à une forte évapotranspiration, est une des causes la plus souvent avancée (**Benazouz, 1986**).

Les sols salins se caractérisent par un profil simple avec un seul horizon, assez épais, constitué de matières organiques et minérales encroûtées de dépôts de sel précipité (**Fig.13**).



(Source : Khabtane , 2015)

Fig.13: Les sols salés de la région de Sebket El Mahmel

III.4. Cadre géologique de sebkhat El-Mahmal

La géologie est une moyenne d'investigation, parcequ'elle permet la prévision des formations susceptibles d'être aquifères et de suivre leurs évolutions dans l'espace du terrain d'étude.

a. La Stratigraphie

La zone d'étude, fait apparaître des terrains du Quaternaire et du Crétacé (**Encage, 1988**).

- **Quaternaire** : il est constitué par des dépôts sableux, limoneux et des graviers avec de gros galets.
- **Maestrichtien** : il correspond à des calcaires à des nodules de silex (95 mètres) et une alternance de marnes et de calcaires (40 mètres).
- **Campanien** : il débute par 60 mètres de calcaires crayeux, surmonté par une série de 150 mètres de marnes.
- **Santonien** : constitué par une série marneuse de 100 mètres d'épaisseur et 130 mètres d'une formation à caractère récifal et béchique.
- **Coniacien** : constitué par une alternance de marnes et de calcaires d'une épaisseur de 150 mètres.

- **Turonien** : le turonien supérieur est constitué par 150 mètres d'une alternance de marnes et de calcaires noduleux .le turonien basal correspondent à une série de 200 mètres de marnes à intercalations de marna-calcaires.
- **Cénomaniens** : il correspond à une puissante série marneuse dépassant 700 mètres surmontés par une barre calcaire de l'ordre de 30 mètres formant une corniche. On ne dispose comme document géologique de base, que de la carte générale de l'Algérie au 1/50 000.

b. Quaternaire

Les dépôts quaternaires sont d'origine continentale et occupent d'importantes surfaces. Ils se sont développés essentiellement dans les parties bordant les massifs montagneux. On y rencontre des éboulis à blocs, éboulements et glaciaires polygéniques. Dans les zones basses telles les vallées et les sebkhas, terrasses et sols salés hydro morphes. On y trouve une croûte calcaire villafranchienne, perché, entaillé et probablement karstifié ainsi que des tufs carbonatés, liés à quelques sources hydrothermales.

Donc le quaternaire recouvre la majeure partie de la plaine d'El- Mahmel. Le bassin étant fermé, il a recueilli tous les produits de l'érosion des reliefs environnants. Sédimentation est en majeure partie sableuse, limoneuse; avec une proportion importante de gypse. On y trouve également des intercalations de: graviers, avec de gros galets.

c. crétacé

Il correspond aux formations carbonatées situées surtout au nord de la plaine (Djebel Tafrent) en trouve:

- **Maestrichtien**: il correspond à des calcaires à des nodules de silex et une alternance de marnes et de calcaires.
- **Campanien**: correspond essentiellement à des marnes et des calcaires crayeux.
- **Santonien**: constitué par une série marneuse, d'une formation à caractère récifal et béchique.
- **Coniacien**: correspond essentiellement à des marnes grises et marneuses calcaires.
- **Turonien**: en a le turonien supérieur constitué de marnes et de calcaires noduleux. Le turonien basal correspond à de marnes à intercalations de marne calcaire

d. Trias diapirique

Le Trias correspond aux terrains les plus anciens des zones externes de la chaîne Alpine. Il est essentiellement évaporitique et se présente sous forme de structure diapiritique et en lames injectées le long des accidents tectoniques. Les affleurements d'extension et de constitution variable, perçant leur couverture mésozoïque et cénozoïque de façon anormale, s'observent en plusieurs dizaines de points dans les Aurès, ou sur ses bordures. Le trias dans la zone d'étude se trouve à l'est de djebel chetaia ou on observe un pointement triasique en forme décroissante allant d'ain karima au djebel tarf sur une longueur de 12 km et une largeur de 02 km. Il est en contact anormal avec le Turonien et le Sénonien supérieur.

Le diapir de Tazouguert est formé par des argiles vari colores et gypses chaotiques à glaçon avec passage des marnes calcaires et cargneules (Villa 1973).

III.5. Menaces écologiques et environnementales (Sebkhat EL Mahmel)

Les facteurs et les menaces qui peuvent affecté les ressources naturelles de la zone humide de Sebkhet El- Mahmel se classent en deux types; les premiers facteurs sont d'origines naturelles et l'autre anthropique.

III.5.1. Les facteurs et les menaces d'origines naturelles

III.5.1.1. Le dessèchement du plan d'eau

Les périodes de sécheresse prolongés sur plusieurs moi et même des années qui succèdent sur la zone ont des conséquences très néfastes sur les caractéristiques physique du milieu (sol, précipitations, températures), sachant que nous sommes dans une zone ou le déficit hydrique est toujours négatif, ce qui accélère le dessèchement du plans d'eau de la zone humide plus rapidement, ce qui aura comme conséquences, une pression régressive sur la biodiversité surtout aviaire migratrice, ou nous avons enregistré l'absence quasi total des oiseaux migrateurs pendant les années de sécheresse , dont la présence de base sur l'existence d'un plan d'eau (Khabthane, 2015) .

Aussi les conditions de dessèchement ramènent à la dégradation du couvert végétal ce qui en résulte la rareté des invertébrés qui constituent l'aliment de base pour plusieurs espèces d'oiseaux (**Rahima, 2016**).



Fig.14: Avant le dessèchement de Sebket
El-Mahmel (**Photo personnelle 2019**)



Fig.15: Dessèchement de Sebket
El-Mahmel (**Photo personnelle 2019**)

III.5.1.2. L'érosion

Le phénomène de l'érosion soit hydrique ou éolienne constitue un facteur de pression de valeur sur la zone humide en effet, nous avons remarqué l'absence de toute action de conservation des eaux et des sols (C.E.S) le long du bassin versant ou des périphériques de la zone humide, sachant que les labours sont juste à quelques mètres tout autour de la rive du plan d'eau et des parfois ils s'enfoncent à l'intérieure, ce qui favorise les deux types de l'érosion qui conduit à l'envasement de la cuvette du plan d'eau, qui réduit le temps de son séjour et son dessèchement rapide (**Harrat et Kherbache, 2018**).

III.5.2. Les facteurs de pression et de menaces d'origine anthropique

La zone humide de Sebket EL Mahmel connaît de fortes pressions issues de l'extension démographique surtout de la ville de Tazougert (le chef-lieu de la commune d'EL Mahmel) auquel s'ajoute d'autre activités dont nous décrirons ci-après les plus contraignantes qui touchent la zone.

III.5.2.1. Pollution par les rejets solides et liquides

Les rejets sans traitement, des ordures ménagères et des eaux usées domestiques, directement dans le périmètre des sebkhas présentent des effets dont personne n'ignore la nuisance à l'encontre de l'écosystème (**Bouakkaz, 2017**).

Ainsi comme il n'y a pas une station d'épuration, ces eaux usées viennent se concentrer dans le plan d'eau de la sebkha et contribuent à la surcharge de polluants chimiques et microbiologiques du plan d'eau de la sebkha. La microflore de la sebkha se trouve ainsi changée, ce qui influencera directement ou indirectement sur les communautés animales et végétales vivantes dans cette zone humide (**Boutouil, 2018**).

Cette situation désastreuse a conduit les autorités locales de programmer la réalisation d'une station d'épuration (dont les travaux sont en cours) et que peut jouer un rôle important dans la protection de cet écosystème écologique, la préservation et la protection de ces lieux de regroupement, d'hivernage et de nidification de cette diversité avifaunistique utilisant cette zone humide (**Bouakkaz, 2017**).



Fig. 16: pollution de Sebkhet EL Mahmel les rejets solides (photo personnelle 2019)



Fig. 17: pollution de Sebkhet EL Mahmel les rejets liquides (photo personnelle 2019)

III.5.2.2. Exploitation croissante des ressources hydriques

L'exploitation croissante des ressources hydriques (superficielles et souterraines) pour les besoins de l'agriculture risque d'entraîner, avec l'utilisation des cultures irriguées, une baisse du

niveau des nappes sous-jacentes et une augmentation de la salinité de Sebkhet El Mahmel (Boutouil, 2018).

III.5.2.3. Activités agricoles

Les activités agricoles ainsi que l'élevage pratiqué dans le secteur engendrent les effets néfastes suivants:

- Une extension des cultures aux dépens des habitats naturels, réduisent ainsi les superficies des zones humides.
- Une pollution par les fertilisants et pesticides qui portent préjudice, en particulier, aux herbiers aquatiques dont dépendent les oiseaux.
- Le surpâturage qui contribue à la dégradation du couvert végétal naturel entourent Sebkhet El-Mahmel (Rahima, 2016).

III.5.2.4. La chasse et le braconnage

La chasse et le braconnage pratiqués par la population locale ne nuit pas ou peu sur les oiseaux d'eau, par contre, l'intrusion des chasseurs non résidents dans la commune présente de nombreux inconvénients tels la chasse non réglementaire, le prélèvement supérieur à leurs besoins.

Un braconnage pratiqué dans les endroits fréquentés par des espèces menacées d'extinction a été constaté. De plus, la chasse du Flamant rose *Phoenicopterus roseus* est une espèce appréciée pour les chasseurs de la région. Cette espèce est chassée durant toute l'année dans ce site et dans d'autres zones humides des Hautes plaines de l'Est algérien (Bouakkaz, 2017).

De plus, les enfants des riverains qui trouvent dans la sebkha un lieu de jeu, ont pris l'habitude de prendre les oeufs des nids, non pas pour les consommer mais tout simplement pour jouer avec, menaçant ainsi la nidification des espèces d'oiseaux d'eau (l'Avocette élégante *Recurvirostra avosetta*, l'Echasse blanche *Himantopus himantopus*, la Canard colvert *Anas platyrhynchos* ...). Le même sort touche les oeufs qui arrivent à éclore car les poussins finiront d'une manière ou d'une autre dans les mains de ces enfants (Boutouil, 2018).

III.6. Climatologie

Le climat est l'un des principales données de la morphologie des systèmes architecturaux et urbains. Il est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs, incluant la température, la

vapeur d'eau, le vent, les radiations solaire et les précipitations dans un endroit particulier et à travers une période de temps. Il est défini aussi comme une généralisation des conditions «temps» de jour en jour et à travers toute l'année (**Bellara, 2005**).

Le climat est le facteur du milieu le plus important qui influe d'une manière directe sur les populations animales (**Thomas, 1976**). Il est l'ensemble des caractéristiques météorologiques d'une région donnée intégrée dans le long terme ; la nature des climats joue un rôle essentiel pour ajuster les caractéristiques écologiques des écosystèmes continentaux.

L'hydroclimatologie est une étape très importante pour une étude hydrogéologique. Elle permet de quantifier la part d'eau ruisselé et la part d'eau infiltrée utile à l'alimentation de l'aquifère. Toute étude hydroclimatologique dépend de deux paramètres essentiels :

- Les précipitations qui nous renseignent sur les quantités d'eau utile au renouvellement de réserves et sur le régime pluviométrique.
- Les températures sont nécessaires pour estimer l'évaporation et l'évapotranspiration qui influent sur la part d'eau contenue dans le sol et par conséquent utilisable.

Ce dernier point est important pour les réserves souterraines en eau que pour la végétation et les cultures agricoles.

III.6.1. Les facteurs climatiques

III.6.1.1. Les précipitations

Les précipitations représentent la source principale d'eau. Elles sont caractérisées par trois principaux paramètres: leur volume, leur intensité et leur fréquence qui varient selon les lieux, les jours, les mois et aussi les années. Elles constituent un facteur écologique qui joue un rôle de régulateur des activités biologique (**Ramade, 1984**).

Les précipitations connaissent de grandes fluctuations d'un mois à un autre et d'une année à une autre. Les caractéristiques pluviométriques de la zone d'étude sont tirées d'une chronique de 12 ans (2006 – 2018) d'observation à la station d'El –Hamma, Khanchela.

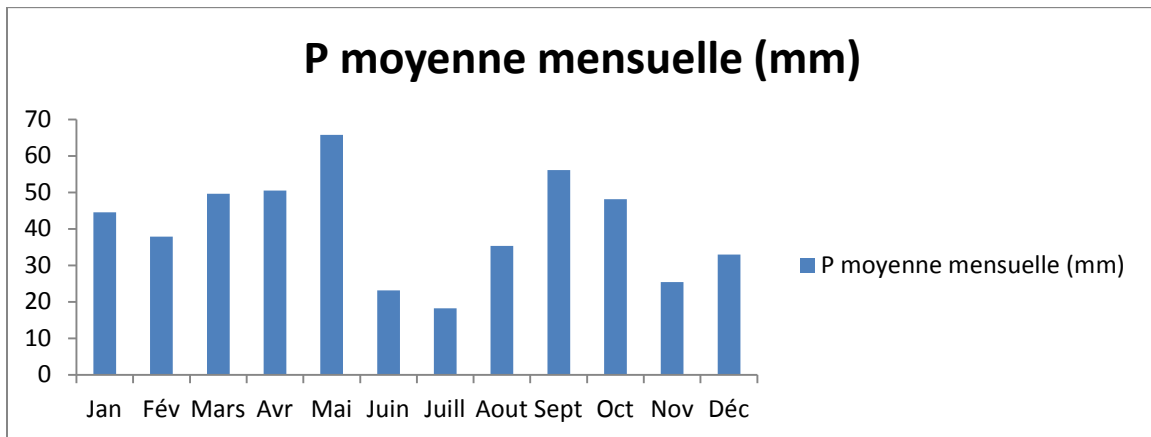


Fig. 18: Histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles de Khenchela (2006-2018)

Selon **la Fig. (18)** : on remarque que la pluviométrie annuelle est de 487.5 mm, le mois de mai, est le mois le plus pluvieux avec une moyenne de 65.78mm. Alors que le mois juillet est le mois le plus sec avec 18.18mm.

III.6.1.2. La température

La température est l'un des éléments important pour la caractérisation du climat (**Dajoz, 1985**).

La température représente un facteur limitant de toute première importance, car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de totalité des espèces et de communautés d'être vivant dans la biosphère (**Ramade, 2002**).

Pour la caractérisation de ce paramètre il faut connaître plusieurs variables: la moyenne des maxima (M), la moyenne des minima (m) la moyenne mensuelle. Les températures moyennes mensuelles durant 12 années (2006 – 2018) sont représentées dans des courbes de variation de la moyenne mensuelle (max, min, et moy).

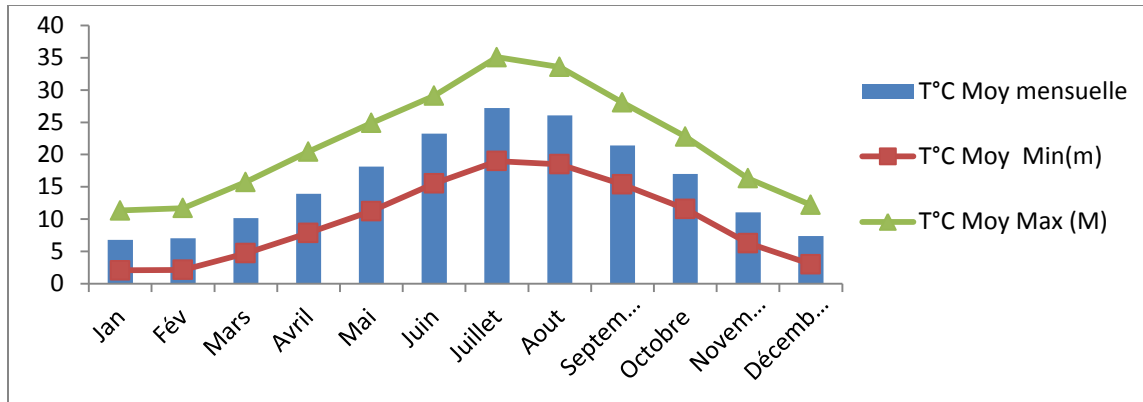


Fig.19 : variation des températures moyennes (max, min, et moy) de la Station de météorologique d'El Hamma pendant la période (2006- 2018)

Les températures de la zone d'étude connaissent d'énormes fluctuations au cours des mois de l'année, ils sont très bas en saisons froides (hiver), le mois le plus froid s'avère être janvier avec une moyenne de 6.78°C, Ces valeurs indiquent l'existence des gelées dans la zone d'étude. Et très élevées en saisons chaudes (l'été), Juillet est le mois le plus chaud de température moyenne 27,23°C.

III.6.1.3. La relation températures et précipitations

III.6.1.3.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen

Il constitue un type de représentation très utilisé pour comparer les climats. Pour Gaussen un mois est "sec" si le quotient des précipitations mensuelles (P) exprimé en mm est inférieur à 2 ($P \leq 2 T$).

Les échelles prises en ordonnée sont telles que 1°C correspond à 2 mm de précipitation, Les périodes d'aridité sont celles durant lesquelles la courbe pluviométrique est au-dessous de la courbe thermique (Mebareki, 2005).

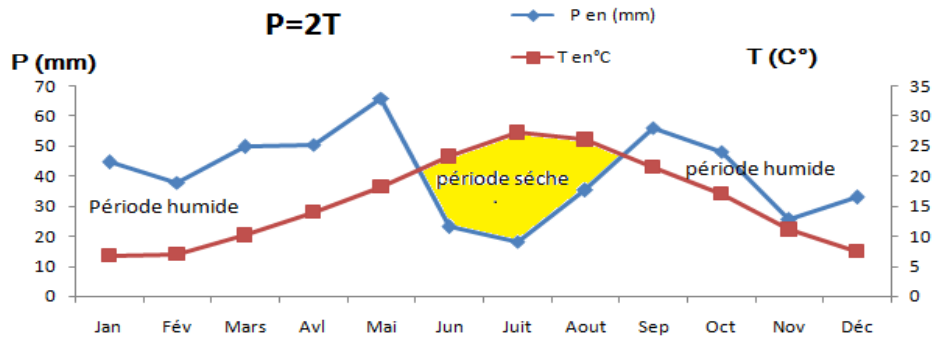


Fig. 20: Diagramme Ombrothermique de Gaussen (2006-2018)

Selon le diagramme ombrothermique de notre zone d'étude détermine deux saisons (fig. 20) la période sèche s'étale sur 03 mois, allant du mois de Juin au mois d'Aout, elle coïncide avec la période la plus chaude (l'été), et 09 mois humides dès le mois de septembre jusqu'au mois de mai, elle est caractérisée par un hiver froid.

III.6.1.3.2. indice de Martonne

Martonne a proposé la classification des climats en fonction des valeurs de l'indice d'aridité. Cet indice permet de préciser le degré de sécheresse de la région, il est calculé en fonction de la température et la précipitation.

L'indice d'aridité (I) est donné comme suit : $I = P / (T + 10)$

Où :

P : précipitation moyenne annuelle exprimée en mm.

T : température moyenne annuelle exprimée en °C.

Pour notre cas : P = 487.50mm, T = 15.79°C

$$I = \frac{487.50}{(15.79+10)} = 18.90$$

Les valeurs de l'indice permettent déterminé le climat selon le classement suivant

Quand :

- $I < 5$ \longrightarrow le climat est hyperaride
- $5 < I < 7.5$ \longrightarrow le climat est désertique
- $7.5 < I < 10$ \longrightarrow le climat est steppique
- $10 < 20$ \longrightarrow le climat est semi-aride

$20 < 30$ —————> le climat est tempéré

$I > 30$ —————> le climat est humide.

Pour la station de notre zone d'étude (Khenchela), $I = 18.90$ et compris entre 10 et 20, ce qui permet de dire que le climat est de type semi-aride à tendance tempérée.

III.6.1.3.3. Climagramme d'Emberger

Le quotient d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude.

À pour expression : $Q2 = 2000 p / M^2 - m^2$ (Ramade, 2003).

Où :

p = précipitations annuelles en mm.

M = moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en (K°).

m = moyenne des températures minimales du mois le plus froid en (K°) (Bouakkaz A, 2017).

D'après les données de notre zone d'étude on a :

$P = 487.5$ mm ; $M = 35.08$ $^\circ C = 308.23$ $^\circ K$ pendant le mois de juillet ; $m = 2.05$ $^\circ C = 275.2$ $^\circ K$ pendant le mois de janvier. Donc : $Q2 = 50.59$ $mm / ^\circ K$.

A la lumière de ces données, la région de Khenchela prend une place dans le Climagramme d'Emberger dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (**Fig.21**).

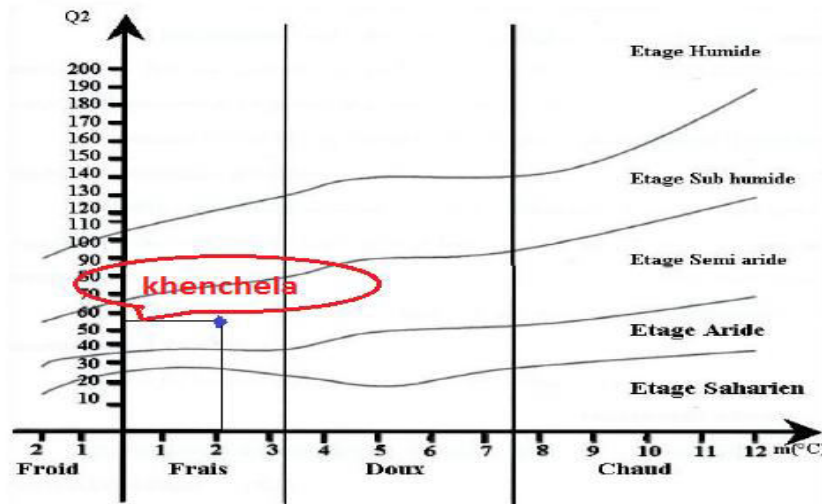


Fig.21 : Situation de la région de Khanchela dans le Cimagramme d'Emberger (2006-2018).

III.6.1.4. L'humidité relative de l'air

Les échanges de vapeur d'eau des couverts végétaux dépendent en premier lieu de l'humidité de l'air atmosphérique. Il est donc utile de rappeler un certain nombre de définitions qui lui sont relatives (Cretinon, 1994).

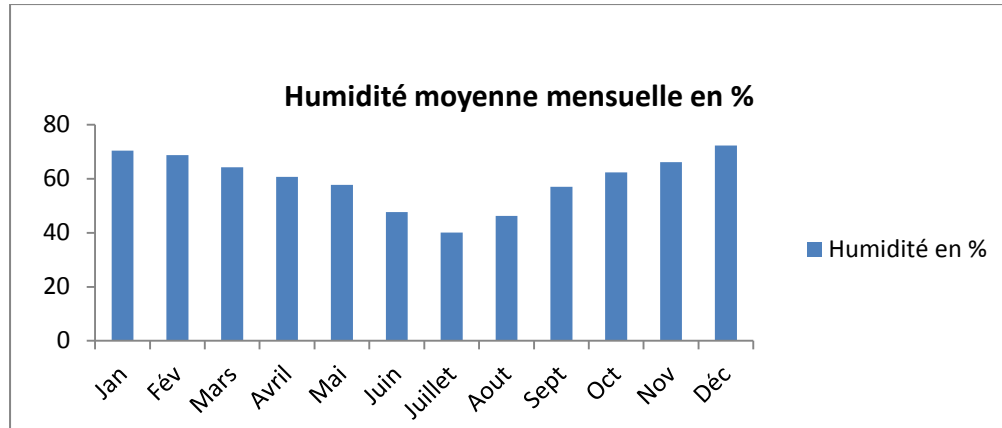


Fig.22 : Histogramme de variation de l'humidité moyenne mensuelle (2006-2018) (Station de météorologique d'El Hamma, 2019)

Les résultats de ce paramètre montrent que l'état hygrométrique de l'air est plus sec durant le mois de Juillet avec 40.05% est plus humide en mois de Décembre avec 72.35%.

III.6.1.5. Les vents

Les vents sont en liaison étroite avec la pression atmosphérique, influent sur la température, l'humidité et l'activité d'évapotranspiration.

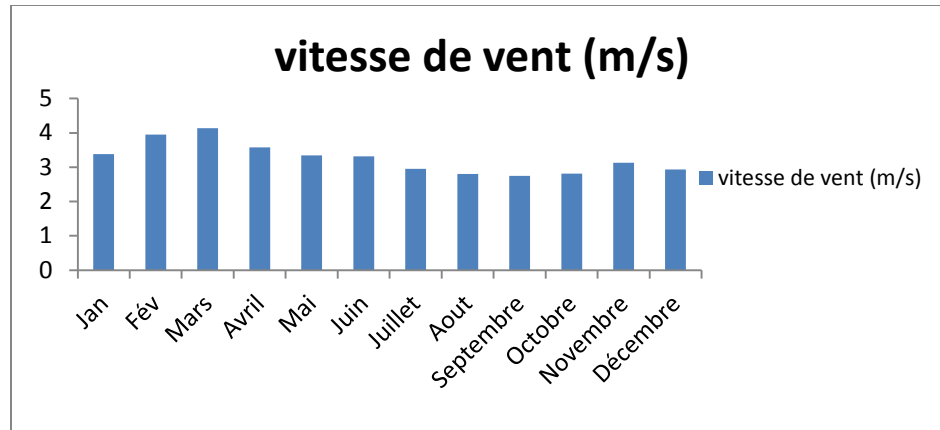


Fig.23: Histogramme de variation de la vitesse Moyenne Mensuelle des Vents (2006-2018) (Station de météorologique d'El Hamma, 2019).

Les valeurs de la vitesse moyenne des vents, (**fig. 23**) révélant que les vents sont modérés durant le mois d'Avril jusqu'à le mois de Février et assez fort dans le mois de Mars se qui coïncide avec la période des vents de siroco.

Cette étude nous a permis d'obtenir des résultats sur les divers facteurs climatiques (Température, précipitation) concernant la série de (2006 -2018) :

- Le climat de notre zone d'étude est de type semi-aride frais (**Fig. 20**). Il est caractérisé par une grande variabilité annuelle et interannuelle, avec une période sèche qui s'étale sur trois mois allant de mois de Juin jusqu'au mois d'Aout, et une période humide de 09 mois, de mois de Septembre jusqu'au mois de Mai.
- La pluviométrie avec une moyenne de 487.50 mm, se caractérise par des précipitations irrégulières durant toute l'année.
- Les températures (moyenne est de l'ordre de 15.79°C).

III.7. Caractéristiques écologiques

III.7.1. Cadre biotique

III.7.1.1. La flore

La sebkha est entourée par une ceinture de végétation constituée principalement de plantes halophytes dont les principales sont *Salicornia fruticosa*, *Atriplex halimus*, *Salsola frutucosa*, *Chenopodium album* (Chénopodiacées), *Moricandia arvensis*, *Diploaxis erucoïdes*, *Brassica oleracea* (Crucifères), *Centaurea calcitrapa*, *Hypochaeris radicata* (Astéracées). Les plantes caractéristiques des zones salées sont ainsi présentes durant toute l'année sur les rives de cette sebkha (Tab. 04). (Bouakkaz, 2017).

Tableau 04: Les familles représentées dans sebkhet El Mahmel sont :

<i>Familles</i>	<i>Les espèces</i>
<i>Les Chénopodiacées</i>	elles occupent les zones salées, ces plantes forment des biotopes classiques au niveau du chott, elles s'installent en position pionnière sur les rives des sebkhas. Exemple : <i>Salicornia fruticosa</i> , <i>Atriplex halimus</i> , <i>Salsola fruticosa</i> et <i>Chenopodium sp</i>
<i>Les Crucifères</i>	une plante annuelle qui se présente sous forme de touffes, elle occupe des terrains rocailleux. L'espèce la plus représentée et <i>Moricandia arvensis</i>
<i>Les Composées</i>	C'est une plante herbacée vivace. On a noté la présence de plusieurs espèces : <i>Traxacum officinalis</i> , <i>Artemisia herba alba</i> , <i>Calendula arvensis</i> et <i>Scorzonera Laciniata</i> .
<i>Les Caryophyllacées</i>	Nous avons recensé deux espèces : <i>Spergularia salina</i> (spergulaire saline) et <i>silène gallica</i> (silène).
<i>Les Plantaginacées</i>	C'est une herbe vivace qui colonise la plaine et champs. Nous avons recensé deux espèces : <i>Plantago major</i> et <i>Plantago albicans</i>
<i>Les Zygophyllacées</i>	<i>Peganum harmala</i> « Harmel » : C'est une plante herbacée vivace qui fleurit en mai, colonise les sols sablonneux, les plaines et les champs.
<i>Les Graminées</i>	Cette plante herbacée annuelle. Elle s'accommode bien aux sols relativement salins. . Nous avons recensé plusieurs espèces : <i>sativa</i> « Avoine «folle » choufane », <i>Dactylis glomérata</i> , <i>Stipa retrata</i> , <i>Bromus rubens</i> , <i>Cynodon dactylon</i> .

<i>Les Papilionacées</i>	C'est une plante vivace qui fleurit de mai à octobre, elle est considérée comme plante de lumière abondante dans les pâtures : <i>Trifolium repens</i> et <i>Medicago ciliaris</i>
<i>Les Euphorbiacées</i>	<i>Euphorbia biumbellata</i> : C'est une plante vivace qui colonise les terrains sablonneux
<i>Les Malvacées</i>	- <i>Malva sylvestris</i> : Cette plante herbacée, elle est vivace ou bisannuelle.
<i>Les Ombellifères</i>	- <i>Tapsia garganica</i> : Plante vivace, elle fleurit d'avril à juillet
<i>-Les Géraniacées</i>	<i>Erodium moschatum</i> « Bec - de - Grue, Ebra er raai »: C'est une plante annuelle que l'on rencontre dans les cultures et les friches.
<i>Les polygonacées</i>	<i>Polygonum aviculaire</i> « Renouée des oiseaux » : Plante herbacée, annuelle, on la rencontre dans la plaine, elle fleurit en mars.

III.7.1.2. L'avifaune

Sebkhet El-Mahmel est un lieu propice pour de nombreuses espèces d'oiseaux aquatiques. Durant la période d'étude qui s'étale sur trois saisons (2012-2013, 2013- 2014 et 2014-2015), 26 espèces appartenant aux 09 familles ont été recensées (**Tab.05**). La liste systématique des espèces recensées a été dressée selon un ordre de classification établi par Darley (1985) et Heinzl *et al.* (1996).

Tableau 05. Liste des espèces des oiseaux observées au niveau de Sebkhet Ouled Amara El-Mahmel durant les trois saisons d'étude (2012-2015) (**Bouakkaz, 2017**).

Ordre	Famille	Nom scientifique	Nom commun
1. <i>Ciconiiformes</i>	1.1. <i>Ciconiidae</i>	<i>Ciconia ciconia</i> (LINNAEUS, 1758)	Cigogne blanche
2. <i>Phaenicopteriformes</i>	2.1. <i>Phaenicopteridae</i>	<i>Phaenicopterus roseus</i> (PALLAS, 1811)	Flamant rose
3. <i>Anseriformes</i>	3.1. <i>Anatidae</i>	<i>Anas acuta</i> (LINNAEUS, 1758)	Canard pilet
		<i>Oxyura leucocephala</i> (Scopoli, 1769)	Erismature à tête blanche

		<i>Anas clypeata</i> (LINNAEUS, 1758)	Canard souchet
		<i>Anas crecca</i> (LINNAEUS, 1758)	Sarcelle d'hiver
		<i>Anas penelope</i> (LINNAEUS, 1758)	Canard siffleur
		<i>Anas platyrhynchos</i> (LINNAEUS, 1758)	Canard colvert
		<i>Anas strepera</i> (LINNAEUS, 1758)	Canard chipeau
		<i>Aythya ferina</i> (LINNAEUS, 1758)	Fuligule milouin
		<i>Aythya nyroca</i> (GÜLDENSTÄDT, 1770)	Fuligule nyroca
		<i>Tadorna ferruginea</i> (PALLAS, 1764)	Tadorne casarca
		<i>Tadorna tadorna</i> (LINNAEUS, 1758)	Tadorne de Belon
4. Gruiformes	4.1. Gruidae	<i>Grus grus</i> (LINNAEUS, 1758)	Grue cendrée
5. Charadriiformes	5.1. Recurvirostridae	<i>Himantopus himantopus</i> (LINNAEUS, 1758)	Echasse blanche
		<i>Recurvirostra avosetta</i> (LINNAEUS, 1758)	Avocette élégante
	5.2. Charadriidae	<i>Charadrius alexandrinus</i> (LINNAEUS, 1758)	Gravelot à collier interrompu
		<i>Charadrius dubius</i> (Scopoli, 1786)	Petit Gravelot
		<i>Vanellus vanellus</i> (LINNAEUS, 1758)	Vanneau huppé

		<i>Charadrius hiaticula</i> (LINNAEUS, 1758)	Grand gravelot
	5.3. Laridae	<i>Larus ridibundus</i> (LINNAEUS, 1766)	Mouette rieuse
	5.4. Scolopacidae	<i>Calidris minuta</i> (LEISLER, 1812)	Bécasseau minute
		<i>Tringa erythropus</i> (PALLAS, 1764)	Chevalier arlequin
6. Podicipediformes	6.1. Podicipedidae	<i>Podiceps cristatus</i> (LINNAEUS, 1758)	Grèbe huppé
		<i>Podiceps nigricollis</i> (C.L Brehm,1831)	Grèbe à cou noir
7. Grouiformes	7.1. Rallidae	<i>Fulica atra</i> (LINNAEUS, 1758)	Foule macroule

III.7.1.3. Autres animaux

Les abords de la Sebket Oueld Amara sont fréquentés par plusieurs espèces d'animaux, qu'ils soient, les amphibiens *Bufo bufo*, les reptiles *Testudo graeca* ou bien les Mammifères tels le Sanglier *Sus scrofa*, le Renard *Vulpes vulpes*, le Chacal *Canis aureus* et le Lièvre *Lepus capensis* (Bouakkaz, 2017).

IV. Matériel et méthodes

Les objectifs de notre présente étude se résument en :

- Evaluation et la détermination de la qualité physico- chimique des eaux de la zone humide naturelle unique dans la wilaya de Khenchela (Sebkhet El Mahmel), qui est mise malgré son importance à une pression anthropique; urbaine par le versement des rejets liquides et solides de la ville d'El Mahmel sans prétraitement. Pour cela on a lancé un prélèvement des eaux du Sebkha pendant le mois d'Avril 2019.Ce chapitre étalera donc le matériel et la démarche utilisés dans la réalisation de cet objectif.
- fournir des informations sur le dénombrement des oiseaux migrateurs vers les eaux de notre zone d'étude avec le suivi de la phénologie de ces oiseaux d'eau ayant fréquenté la Sebkhet de Ouled Amara durant le mois Avril de l'année 2019. De plus, nous avons suivi l'occupation et l'utilisation de ce plan par les différentes espèces des oiseaux d'eau. Nous avons utilisé des repères constants dans le site d'étude pour localiser cette avifaune aquatique sur des cartes spécifiques et provisoires. Nous les avons ensuite reportées sur d'autres cartes définitives.

IV.1. Les Mesures physico-chimiques

IV.1.1. Prélèvement et conservation des échantillons

Pour évaluer la qualité physico-chimique de la Sebkha, nous avons tout d'abord effectué une visite de reconnaissance des points d'eau dans la zone concernée pour sélectionner les points de prélèvement (**Fig.24**). Le prélèvement des échantillons (6 échantillons) à été effectué à la fin du mois d'Avril 2019. Les analyses physicochimiques ont été réalisées au sein du laboratoire Algérienne des eaux A.D.E (laboratoire d'analyse de la qualité de l'eau potable), dans la wilaya de Khenchela.



Fig.24: Carte de position des points d'eau à prélever (Google earth, 2019)

IV.1.2. Le mode de prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.).

Étant donné que dans la plupart des cas le responsable du prélèvement n'est pas l'analyste, il convient que le préleveur ait une connaissance précise des conditions du prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytiques (Rodier, 2009).

Pour la réalisation de notre travail, nous avons utilisée le matériel suivant :

- Des bouteilles en plastique de 0.5 L
- Glacière
- Un dispositif de prélèvement manuel
- Multi paramètre C 535 T
- un appareil photo

Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière; qui s'adapte avec le type d'analyse procédé comme suivant :

- Avant de procéder au prélèvement des échantillons des eaux, les bouteilles seront rincées 3 fois avec de l'eau distillée.

- Puis elles sont rincées sur le terrain avec l'eau à analyser pour éviter toutes contaminations, avec les autres solutions.
- Après le prélèvement les bouteilles sont fermées pour éviter l'évaporation (**Rodier et al., 2005**).

Les échantillons prélevés doivent être clairement identifiés. Chaque flacon doit porter une étiquette indiquant:

- L'origine de l'eau.
- La date et l'heure du prélèvement.
- La température de l'air et de l'eau.
- Le nom du point d'eau et la localisation.

IV.1.3. Le transport et la conservation de l'échantillon

Il faut prendre toutes les précautions pour stabiliser qualitativement la flore présente au moment du prélèvement, pour cela toute l'analyse doit être effectuée le plus vite possible (transport rapide et stockage bref) et aussi il faut porter les échantillons dans les glacières dont la température est comprise entre 4 et 6 °C.

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées dans les premières 24 heures au laboratoire et cela pour ne pas altérer l'échantillon.

Le processus de conservation permet de préserver l'intégrité des échantillons prélevés entre le moment de l'échantillonnage et celui de l'analyse en laboratoire.

Cette étape est nécessaire puisque plusieurs paramètres peuvent subir des modifications physiques ou des réactions chimiques dans le récipient, ce qui altère la qualité originale de l'échantillon. Afin d'obtenir des analyses fiables, il est recommandé de conserver les échantillons à l'obscurité et à une température de 4°C dans une glacière (**Fig.25**).



Fig.25 : Echantillonnage d'eau sur terrain (photo personnelle 2019)

IV.1.4. Analyses Physico-chimiques au laboratoire (Dosage des ions majeurs)

Les analyses des paramètres physico-chimiques des échantillons ont été effectuées au niveau du laboratoire Algérienne des eaux A.D.E (laboratoire d'analyse de la qualité de l'eau potable), dans la wilaya de Khenchela sauf les deux paramètres qui sont T en °C.

Les éléments physico-chimiques majeurs concernés par cette étude analytique sont :

- Température (in situ), conductivité électrique CE (in situ), pH, turbidité, Salinité.
- Les cations : Calcium Ca^{+2} , Magnésium Mg^{++} , Ammonium NH_4^+ .
- Les anions : Chlorure Cl^- , Sulfate SO_4^{-2} , Nitrate NO_3^- , Nitrite NO_2^- , et bicarbonate HCO_3^{-2}
- Na^+ (Sodium Na^+ + Potassium K^+) à l'aide de calcul.

IV.1.5. Matériel de laboratoire

- Verrerie (Entonnoirs, Bêchers de différents volumes)
- pH-mètre de laboratoire.
- Spectrophotomètre UV-Visible utilisé pour mesurer les anions (SO_4^{-2} , NO_3^- , NO_2^-) et NH_4^+ (**Fig. 26**).
- Le dispositif de dosage titrimétrique est utilisé pour mesurer Ca^{+2} , Mg^+ et Cl^- (**Fig. 27**).
- Flacon en polyéthylène de 500 ml.
- Fioles en verre et en plastique.
- Bechers de 50 ml.
- Erlenmeyers.
- Burette.
- Cuvette.
- Pipette de 2 ml.
- Eprouvette de 50 ml.
- Agitateur magnétique.



Fig. 26 : Spectrophotomètre UV-Visible (photo personnelle 2019).



Fig. 27 : Le dispositif de dosage titrimétrique (photo personnelle 2019).

IV.1.6. Méthodes d'analyses physico-chimiques

IV.1.6.1. Mesure in situ la température (T°) :

Elle a été déterminée sur les lieux de prélèvement à l'aide d'un Multi paramètre c535T (Fig.28) On lit directement la température exprimée en degré Celsius dans le flacon d'eau à analyser pendant quelque secondes.

✓ Mode opératoire

Premièrement ; rincer les flacons avec l'eau à échantillonner, en suite prélever l'eau dans des flacons en verre ou plastique. Insérer la cathode du multiparamètre puis noter les mesures le plus vite possible, dès que les chiffres sont stables.



Fig. 28 : Multi paramètre c535T (photo personnelle 2019)

IV.1.6.2. Mesure de Potentiel d'hydrogène (pH)

Pour cette détermination, nous utilisons une méthode électrométrique avec électrode. Cette méthode consiste à plonger dans l'échantillon, une électrode spécifique (ADE, 2019).

✓ Principe

La mesure peut être, soit colorimétrique, soit électrométrique. Il doit être faite sur place, et elle est importante dans le calcul de l'agressivité d'une eau ou de son pouvoir incrustant. La nature de la mesure effectuée au laboratoire est électrométrie (A l'aide d'un pH mètre) qui exige des électrodes de verre fragiles et des solutions tampons pour l'étalonnage (Fig.29).

La mesure se fait en :

- Appuyant sur le bouton ON/OFF pour mettre l'appareil sous tension.
- Rinçant l'électrode avec l'eau distillée et l'essuyer avec un mouchoir jetable.
- Plongeant l'électrode dans la solution à mesurer à une profondeur minimum de quatre centimètres.
- Attendant que la valeur soit stable avant la lecture.
- Rinçant à nouveau l'électrode avec de l'eau distillée et l'essuyer avec un mouchoir (Boubekeur, 2014).

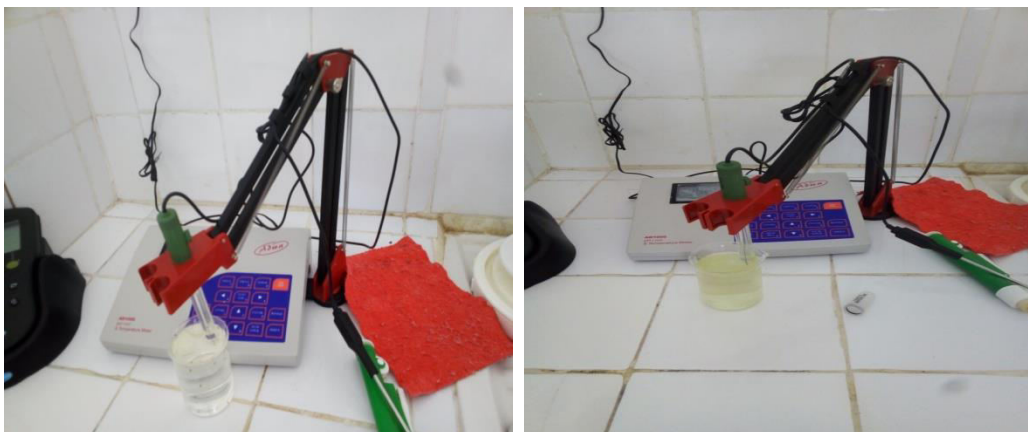


Fig.29 : pH-mètre (photo personnelle 2019)

IV.1.6.3. Mesure la Turbidité

Elle est mesurée par la méthode néphélométrique ; le faisceau lumineux traverse horizontalement la cuvette contenant l'échantillon, une partie de cette lumière est diffusée par effet Tyndall grâce aux particules en suspension. Le photomultiplicateur d'électron situé à un angle de 90° par rapport au faisceau lumineux capte les photons diffusés et transforme cette énergie lumineuse en signal électrique dont le potentiel est fonction de la turbidité. (Kassim, 2005).

Cette méthode repose sur :

- Appuyer sur le bouton d'alimentation électrique situé à l'arrière de l'appareil.
- Remplir une cuvette propre jusqu'au trait (30 ml) avec de l'eau à analyser en évitant la formation de bulle d'air.
- Tenir la cuvette par le bouchon et l'essuyer avec mouchoir doux sans peluches pour retirer les gouttes d'eau et les traces de doigts.
- Placer la cuvette dans le puits de mesure et fermer le capot.
- Lire et noter le résultat affiché directement en NTU sur la Turbidimètre (**Fig.30**).
(Kassim, 2005).



Fig.30 : Turbidimètre (photo personnelle 2019)

IV.1.6.4. Dosage des nitrites

La verrerie doit être lavée avec une solution de HCl (2 mole/l), rincée à l'eau distillée
« 8,3 ml de HCl pure dans 50 ml d'eau distillée »

La lecture se fait à la longueur d'onde 543 nm.

✓ Principe

La diazotation de la sulfanilamide en milieu acide et sa copulation avec la le N(Naphtyle) éthylène diamine donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage colorimétrique.

✓ Réactif

Réactif mixte

- Sulfanilamide.....40 g
- Acide phosphorique.....100 ml
- N-1 Naphtyle éthylène diamine.....2 g
- Eau distilléeq.s.p 1000 ml.

- **Solution mère étalon d'azote nitreux à 100 mg/l**

Dessécher le Nitrite de Sodium à 105 °C pd 1 h, puis peser 0.0492 g et dissoudre dans 100 ml d'eau distillée.

- ✓ **Solution fille étalon d'azote Nitreux à 1 mg/l**

Pipeter 1 ml de la solution mère dans 100 ml d'eau distillée (à préparer chaque jour).

- ✓ **Gamme et étalonnage**

<i>Solution fille 1 mg/l</i>	0	1	2.5	5	7.5	10
<i>Eau distillée (ml)</i>	50	49	47.5	45	42.5	40
<i>Réactif mixte (ml)</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Attendre 10 mn</i>						
<i>[NO₂⁻] en mg/l</i>	0	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2

- ✓ **Mode opératoire**

- Prendre 50 ml d'eau à analyser
- Ajouter 1 ml d réactif mixte.
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO₂⁻(**fig.31**).
- La lecture à l'aide d'un spectrophotomètre.



Fig. 31 : Dosage de nitrite (photo personnelle, 2019).

IV.1.6.5. Dosage des ions calcium et magnésium

- ✓ **Principe**

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel di sodique de l'Acide Ethylène diamine tétra cétique à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage de deux indicateurs sur un même échantillon s'effectue le dosage successif du Calcium et du Magnésium.

- ✓ **Réactifs**

- Solution d'EDTA 0.02 N
- Solution tampon
- Solution de Noir d'Eriochrome

- Solution de Bleu d'Eriochrome
- Solution de NaOH 1N
- Solution d'HCl 1 N

✓ **Mode opératoire :**

Prendre 50 ml d'eau à analyser. Ajouter 3 ml de NaOH puis 3 gouttes de Bleu d'Eriochrome. Verser la quantité nécessaire de solution d'EDTA pour obtenir le virage au violet. Noter V_1 . Ajouter à la même solution 3.2 ml d'HCl 1 N et agiter durant 1 mn jusqu'à parfaite dissolution du précipité magnésien. Verser 5 ml de la solution tampon et 1 goutte de solution de Noir d'Eriochrome. Bien mélanger. Introduire la quantité de solution d'EDTA nécessaire au virage au bleu. Noter V_2 (**fig.32**) (**Rodier, 2005**).

✓ **Expression des résultats :** Pour une prise d'essai de 50 ml

- ❖ La teneur en Calcium est égale à $Ca^+ \text{ (mg/l)} = (V_1 * 0.4008 * 1000) / 50$
- ❖ La teneur en Magnésium est égale à $Mg^+ \text{ (mg/l)} = (V_2 * 0.243 * 1000) / 50$
- ❖ La dureté totale est égale à $CaCO_3 \text{ (mg/l)} = [(V_1 + V_2) * 1000] / 50$



Fig.32 : Dosage de calcium (photo personnelle 2019)

IV.1.6.6. Dosage des nitrates

Cette méthode d'essai a pour objet de dosage spectrométrique des nitrates par la méthode au salicylate de sodium.

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitro-salicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

✓ **Réactifs**

- Solution de Salicylate de Sodium.

- Solution d'hydroxyde de Sodium.
- Solution de tartrate double de sodium et de potassium.
- Acide sulfurique (H_2SO_4) concentré.
- Solution mère de nitrate à 1000 mg/l.
- ✓ **Mode opératoire**
- Dans un erlenmeyer de 250ml, prélève 10ml d'eau à analyser, puis on ajoute 1ml de Solution de Salicylate de Sodium et deux gouttes de Solution d'hydroxyde de Sodium (NaOH).
- Ensuite, l'échantillon est placé à l'intérieur de l'étuve pour séchage sous la température $37^\circ C$ pendant 24 heures.
- Nous obtenons un dépôt sec en le laissant refroidi puis on ajoute 2ml de l'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré, laissez le pendant un moment de 10 min.
- Puis ajoutez 15ml de l'eau distillée et 15ml de solution de tartrate double de sodium,
- l'échantillon est ensuite pris dans un appareil Spectrophotomètre UV-Visible (**Fig. 33**).
- Lire la valeur (**Rodier, 1978**).



Fig. 33 : Dosage de nitrate (photo personnelle 2019)

IV.1.6.7. Dosage d'ion chlorure

L'objet de la présente prescrit une méthode titrimétrique pour le dosage des chlorures dissous dans l'eau méthode de Mohr selon l'ADE (2019).

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium, la fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

✓ **Réactifs**

- Solution de nitrate d'argent (AgNO_3);
- Solution d'indicateur de chromate de potassium (K_2CrO_4).

✓ **Mode opératoire**

- Dans un erlenmeyer de 250ml, prélève 5ml d'eau à analyser et 45ml de l'eau distillée,
- puis on ajoute 1ml de chromate de potassium (K_2CrO_4),
- puis on titre avec le nitrate d'argent (AgNO_3) jusqu'au virage au rouge brique (**voire la Fig. 34**).

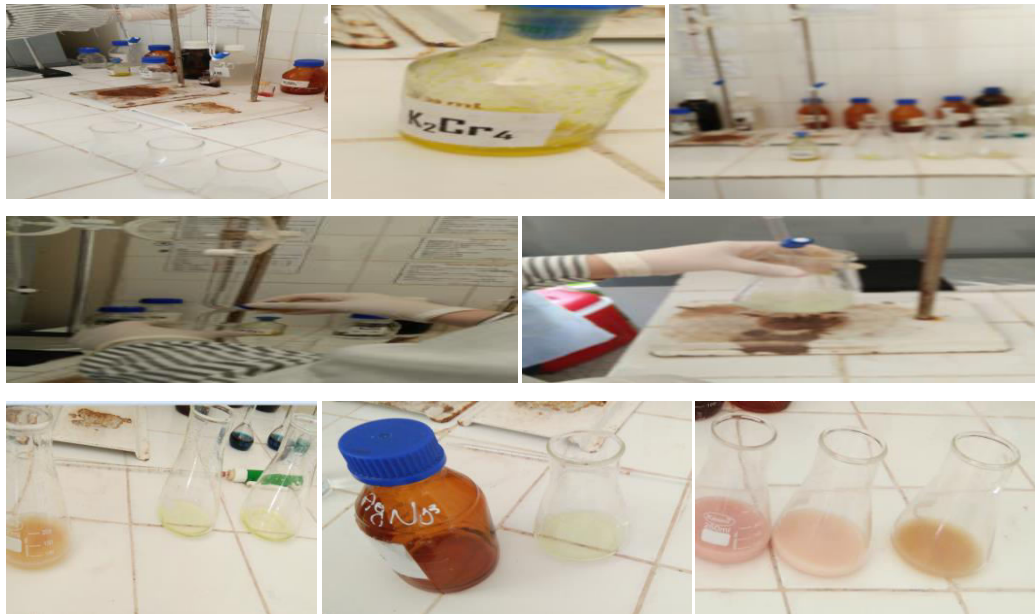


Fig.34 : Dosage de chlorure (photo personnelle, 2019)

✓ **Expression des résultats :**

$$[\text{Cl}^-] = (V_{\text{AgNO}_3} \cdot C_{\text{AgNO}_3}) \cdot F \cdot M_{\text{Cl}^-} / \text{PE}$$

Où:

V_{AgNO3}: est le volume d'AgNO₃ nécessaire pour une concentration donnée.

C_{AgNO3}: est le facteur de concentration molaire d'AgNO₃.

F : est le facteur de correction du titre d'AgNO₃.

M_{cl-}: est la masse molaire du chlorure.

PE: est la prise d'essai (ISO, 2003).

IV.1.6.8. Dosage des sulfates

✓ Principe

Dans un volume d'acide chlorhydrique contenant du chlorure de baryum les ions sulfates se précipitent en cristaux de sulfate de baryum mesurables par transmission à la spectrophotométrie.

✓ Réactifs

- Solution Stabilisante
- Solution de Chlorure de Baryum
- Solution mère de Sulfates à 1 g/l à partir de Na₂SO₄

✓ Gamme et étalonnage

Solution mère 1 g/l (ml)	0	1	2	3	4	5	6	7
Eau distillée (ml)	100	99	98	97	96	95	94	93
Solution Stabilisante (ml)	5	5	5	5	5	5	5	5
Chlorure de Baryum (ml)	2	2	2	2	2	2	2	2
Agitation 1 mn								
[SO ₄ ²⁻] mg/l	0	10	20	30	40	50	60	70

✓ Mode opératoire

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.
- Ajouter 5 ml de la Solution Stabilisante.
- Ajouter 2 ml de Chlorure de Baryum.
- Agiter énergiquement pendant 1 mn.
- Lire au spectrophotomètre (Fig.35).

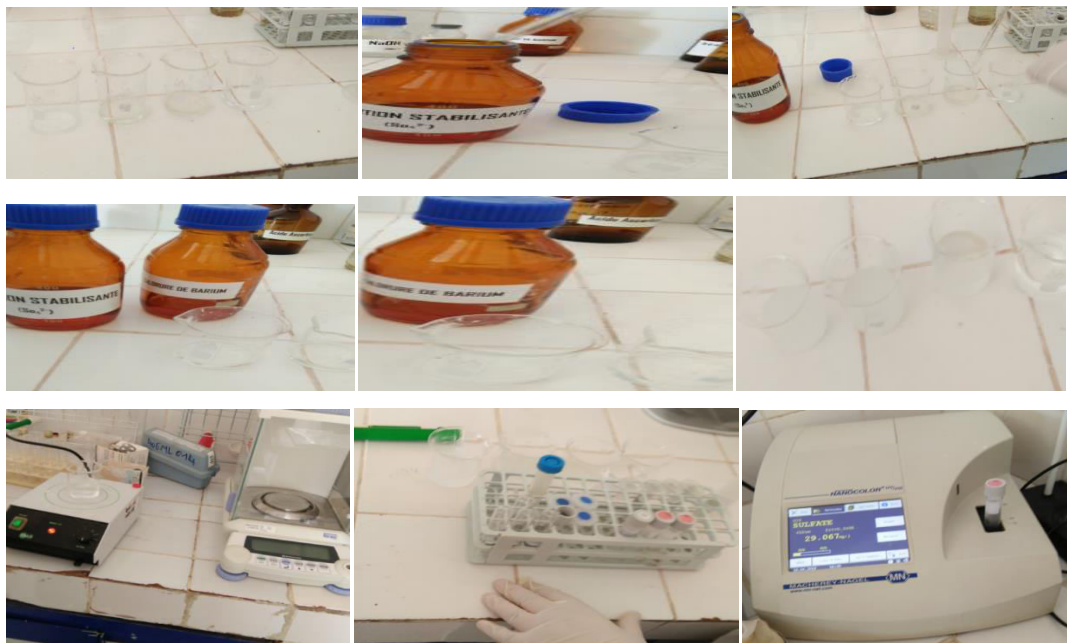


Fig. 35 : Dosage de sulfate (photo personnelle 2019)

✓ **Expression des résultats**

$[\text{SO}_4^{2-}]$ mg/l = la valeur lue au spectrophotomètre * la dilution. **Méthode Allemande (Mr. KERN selon l'ADE (2019)).**

IV.1.6.9. Dosage de l'Ammonium (NH_4^+)

La verrerie doit être rincée avec une solution d'Hydroxyde de Potassium (25 g dans 214 ml d'Ethanol et compléter à 250 ml d'eau distillée).

La lecture se fait à la longueur d'onde de 655 nm.

✓ **Principe**

Mesure spectrophotométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et Hypochlorite en présence de Nitroprussiate de Sodium.

✓ **Réactifs**

Réactif I

- Acide dichloroisocyanurique..... 2 g
- Hydroxyde de sodium (NaOH)..... 32 g
- Eau distillée..... q.s.p 1000 ml

Réactif II (coloré)

- Tri citrate de Sodium.....130 g
- Salicylate de Sodium.....130 g
- Nitroprussiate de Sodium.....0,97 g

- Eau distillée q.s.p 1000 ml

✓ **Solution mère étalon d'azote ammoniacal de 0,1 g/l**

Dessécher une quantité de NH_4Cl à 105 °C pendant 1 heure et peser 0,03821 g puis dissoudre dans 100 ml d'eau distillée.

Prendre 1 ml de la solution mère qu'on met dans 100 ml d'eau distillée pour avoir une solution intermédiaire de 1 mg/l.

✓ **Gamme et étalonnage :** dans une série de fioles de 50 ml

<i>Solution fille 1 mg/l</i>	0	1	2,5	5	25	40
<i>Eau distillée (ml)</i>	50	49	47,5	45	25	10
<i>Réactif I (ml)</i>	4	4	4	4	4	4
<i>Réactif II (ml)</i>	4	4	4	4	4	4
<i>Attendre 1 h</i>						
<i>$[\text{NH}_4^+]$ en mg/l</i>	0	0,02	0,05	0,1	0,5	0,8

✓ **Mode opératoire**

- Prendre 40 ml d'eau à analyser
- Ajouter 4 ml de réactif I
- Ajouter 4 ml du réactif II et ajuster à 50 ml avec l'eau distillée et attendre 1 h.
- L'apparition de la coloration verdâtre vers bleuâtre indique la présence de : NH_4^+ .
- La lecture a l'aide d'un spectrophotomètre (**Fig. 36**).



Fig. 36 : Dosage de l'Ammonium (photo personnelle 2019)

✓ **Expression des résultats**

Le résultat est donné directement en mg/l.

IV.2. Techniques de dénombrement des oiseaux d'eau

Les méthodes d'observation des oiseaux sont nombreuses et dépendent des espèces étudiées et du but recherché. Deux méthodes sont utilisées, à savoir le dénombrement au sol et le dénombrement en avion : la méthode relative et la méthode absolue. Elles ont en commun l'évaluation numérique des groupes, sachant que les regroupements concernent plusieurs milliers d'oiseaux. Il est exclu de les compter un par un et l'on doit donc procéder à une estimation de ce nombre (**Tamisier et Dehorter, 1999**).

Le dénombrement des oiseaux d'eau fait beaucoup plus appel à la méthode absolue. Elle présente différentes variantes et le choix de l'une ou de l'autre dépend de :

- La taille du site.
- La taille de la population des oiseaux à dénombrer.

- L'homogénéité de la population (**Schricke, 1982**)

IV.2.1. Fréquences des dénombrements

Notre étude a été menée uniquement sur le mois d'Avril 2019 à raison de 4 heures par sortie. Elle repose sur des recensements hebdomadaires de tout individu des espèces étudiées. Donc le nombre d'heures de travail est 16 heures en moyenne soit le cumul des 04 sorties.

IV.2.2. Méthodes d'échantillonnage

Pour toute méthode utilisée, les dénombrements se basent sur un comptage basé sur le principe de l'estimation, c'est le principe adopté dans nos dénombrements, quand le groupe d'oiseaux se trouve à une distance inférieure à 200 m donc proche de notre point d'observation et dont la taille ne dépasse pas les 200 individus; dans le cas contraire, lorsque la taille du peuplement avien est supérieure à 200 individus ou si le groupe se trouve à une distance éloignée nous procédons à une estimation quantitative.

Nous divisons le champ visuel en plusieurs bandes, nous comptons le nombre d'oiseaux d'une bande moyenne et nous reportons autant de fois que de bandes (**Bibby et al., 1998**).

Cette méthode présente une marge d'erreur estimée de 5 à 10% (**Lamotte et Bourliere, 1969**) qui dépend en grande partie de l'expérience de l'observateur et de la qualité du matériel utilisé (**Tamisier et Dehorter, 1999**).

IV.2.3. Matériel utilisé

Pour l'élaboration de cette étude sur l'écologie des oiseaux d'eau, nous avons utilisé :

- Un télescope monté sur trépied de modèle *KONUS SPOT* (20 X 60)
- Une paire de jumelles

IV.2.4. Choix des points d'observation

Le choix des postes d'observation est basé essentiellement sur :

- La vision globale et dominante du site.
- La répartition des groupements d'oiseaux sur le site (à l'intérieur et sur les berges du plan d'eau).

De ce fait, nous avons choisi deux postes d'observation.

IV.3. Modalité d'occupation spatiale de la Sebket d'Ouled Amara par l'avifaune aquatique

Les oiseaux se distribuent ou se répartissent dans le plan d'eau selon des modalités qui leurs sont propres. Elle n'est pratiquement jamais aléatoire, mais répond à des critères biologiques et écologiques qui caractérisent à la fois l'espèce et le site (**Tamisier et Dehorter, 1999**).

La quiétude et le partage des ressources alimentaire conditionnent d'une manière apparente la répartition des groupes d'oiseaux dans un site (**Ankney et al., 1991**).

Durant nos sorties et après le dénombrement systématique des oiseaux d'eau, nous avons essayé de les localiser sur des cartes en utilisant des repères constants dans la sebkha, afin de déterminer leur modalité d'occupation du plan d'eau. Ces cartes spécifiques et provisoires ont été par la suite reportées sur d'autres cartes définitives.

V. Résultats et discussion

V.1. Paramètres physico-chimiques des eaux de Sebket El-Mahmel

V.1.1. Paramètres physiques

V.1.1.1. La Température (°C)

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz dont, entre autres, l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 degrés Celsius (°C). L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît. La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduaires chaudes. (Mustapha, 2000)

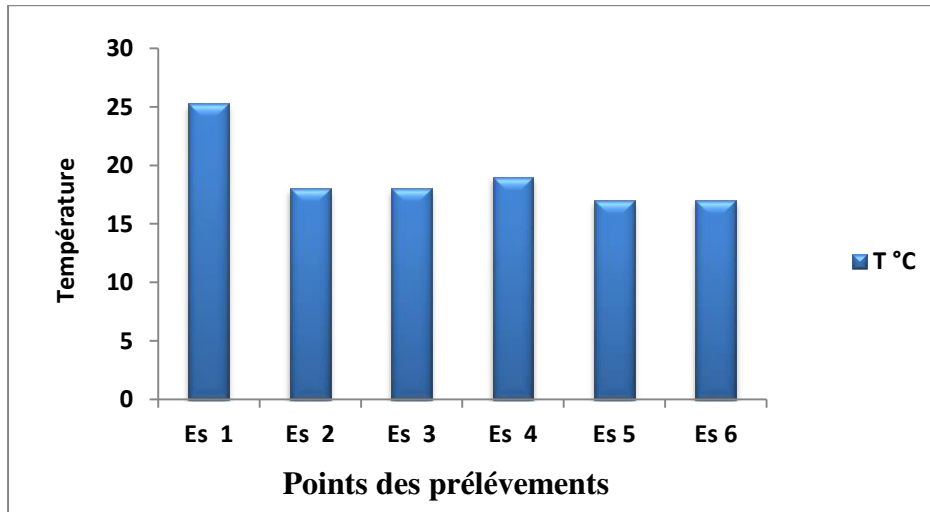


Fig. 37: Les variations de Température (°C) des eaux de Sebkh El- Mahmel (Avril 2019)

D'après la figure 37, la température des eaux mesurée varie entre 17°C à 25.3°C. La valeur la plus élevée est enregistrée au niveau de point (ES1) avec 25.3°C et la valeur la plus faible 17°C est enregistrée au niveau de point (ES5, ES6). La plupart des eaux analysées ne dépassent pas les normes fixées par l'OMS qui est de 25 °C sauf au niveau de point (ES1) dont l'eau présente une légère augmentation par rapport à la norme. Les valeurs de températures mesurées sont influencées par les conditions climatiques de la région et notamment la température de l'atmosphère.

V.1.1.2. Le potentiel d'Hydrogène (pH)

C'est l'un des paramètres les plus importants pour l'évaluation de la qualité d'eau. Il caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau (Rodier, 2009).

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H⁺). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac.

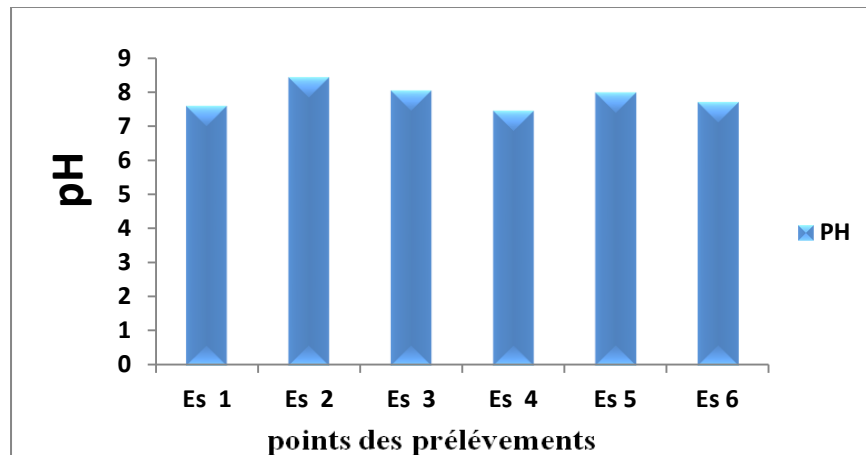


Fig.38 : Les variations de pH des eaux de Sebka El- Mahmel (Avril 2019)

Les résultats obtenus montrent que le pH des eaux mesurés dans la Sebka varie entre 7.46 et 8.44. Donc, tous les points de prélèvements d'eau présentent un pH alcalin.

Ces valeurs ne dépassent pas la norme de l'OMS pour les eaux de consommation ($6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$). On peut justifier ces valeurs par l'influence de deux paramètres climatique :

- Quand la température augmente, l'évaporation augmente donc le pH diminue.
- Quand la précipitation forte le pH augmente (la dilution).

V.1.1.3. La turbidité

La turbidité est liée à la présence plus ou moins importante de matières en suspension d'origine minérale ou organique (Slimani, 2003), ou par des substances en solution comme les substances minérales (sable, argiles ou limons), des matières organiques (matières organiques morts ou des végétaux en décomposition, du plancton suspendu) ou d'autres matières

microscopiques qui forment un obstacle au passage de la lumière dans l'eau (Rodier *et al.*, 2005 ; Hade, 2007). La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux.

Les normes algériennes et les normes de l'organisation mondiale de la santé (JORA, 2014) et (OMS, 2005), recommandent comme valeur limite de turbidité : 5 NTU pour les eaux de consommation.

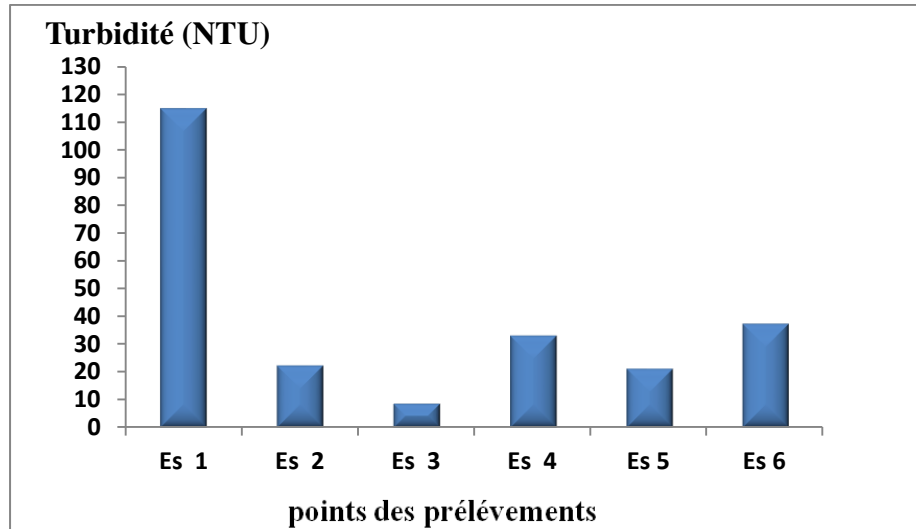


Fig.39 : Les variations de la turbidité (NTU) des eaux de Sebkhia El- Mahmel (Avril 2019).

Dans notre étude, les valeurs enregistrées par le turbidimètre varient entre 8.66 NTU (ES3) à 115 NTU (ES1), donc ces valeurs des eaux analysées dépassent la norme de la turbidité fixée par l'OMS et aux normes Algériennes 5 NTU.

Selon l'échelle de la Turbidité des eaux de surface (**Site web 5**), les résultats obtenus montrent une eau légèrement trouble au niveau des points (ES2, ES3, ES5) et une eau trouble au niveau des points (ES1, ES4, ES6).

V.1.2. Les paramètres chimiques

V.1.2.1. Le Calcium (Ca^{++})

Les teneurs en ions de calcium des eaux analysées varient entre 64 mg/l à 278.96 mg/l, la valeur la plus élevée est enregistrée au niveau de point (ES5) et la valeur la plus faible est enregistrée au niveau de point (ES2), la plupart des eaux analysées dépassent la norme (70mg/l) fixée par l'OMS pour les eaux de surface (OMS, 2003) (Harrat et Kherbache, 2018) sauf au

niveau de point (ES2) qui sont inférieures à la norme. La (fig.40) représente les variations du teneur en calcium (Ca^{++}) au cours de notre étude.

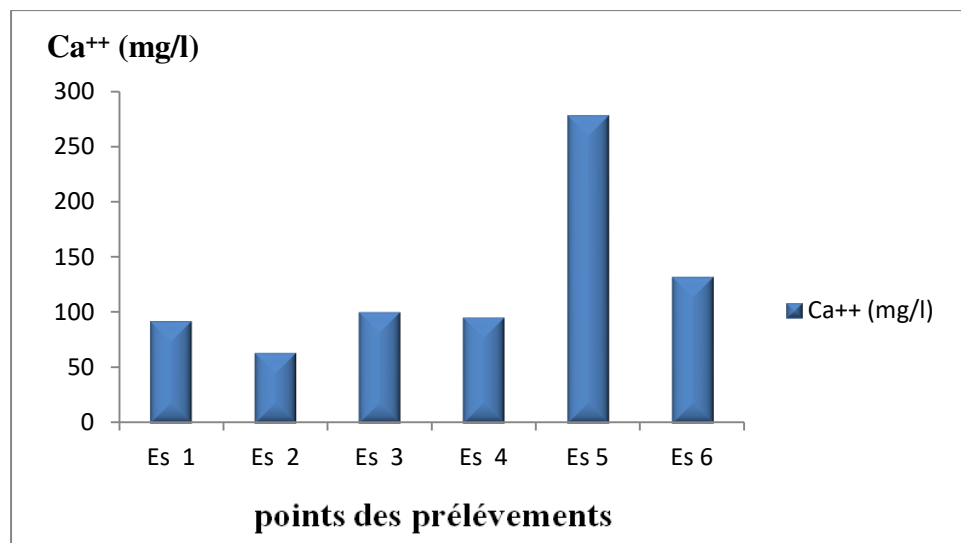


Fig.40: Histogramme de variation de la teneur en calcium dans les eaux de Sebkhah El- Mahmel (Avril 2019).

Cette variation des teneurs est en relation avec :

- soit la dissolution des roches calcaires sous forme de carbonate :

$$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$$
 (Atkins et Loretta, 1998).
- soit la dissolution des formations gypseuses ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sont facilement solubles :

$$\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$$
 (Atkins et Loretta, 1998).
- et en relation avec la température (phénomène d'évaporation).

V.1.2.2. Le Magnésium (Mg^{++})

L'analyse des teneurs en magnésium montre que pour les eaux de Sebkhah El- Mahmel présentent des concentrations comprises entre 87.48 et 374 mg/L (fig.42), ces résultats sont largement supérieures à la valeur limite maximale de la norme algérienne qui est de 150 mg/L, La valeur la plus importante étant celle de point (ES2) avec une valeur de 374 mg/l et la valeur minimale étant celle de point (ES1).

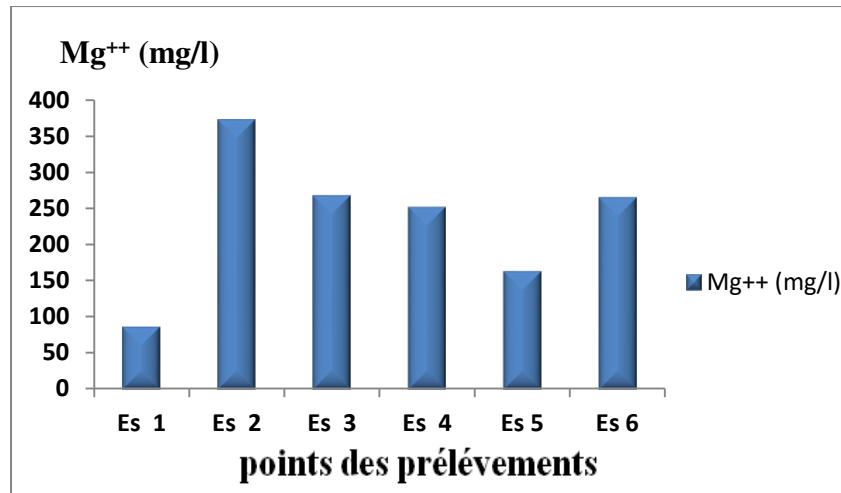
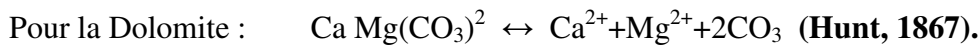


Fig.41 : Histogramme de variation de la teneur en magnésium dans les eaux de Sebkhia El- Mahmel (Avril 2019).

La variation des ions du magnésium dans les eaux est due à l'influence des formations carbonatées telles que les calcaires (**Dib, 2009**), et la formation carbonatée riche en magnésium telle que la magnésite et la dolomite, selon les réactions suivantes :



Cette variation est également influencée par les formations salifères comme les argiles et les marnes qui sont riches en Mg^{++} (**Dib, 2009**). Cette influence est due au passage et le transport des eaux à travers les roches sédimentaires rencontrées (les calcaires dolomitique et les dolomies du jurassique ou du trias « la formation géologique des terrains »).

V.1.2.3. Le sodium et le potassium (Na^+ ; K^+)

Le sodium et le potassium sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportion variable, mais le sodium est beaucoup plus abondant que le potassium (**Gouidia, 2008**).

À cause d'un problème technique aux niveaux de laboratoire on n'avait pas mesuré ces deux paramètres, donc ont utilisé la méthode de calcul qui sont suivant :

On a :

$$[\text{Na}^+ + \text{K}^+](\text{még/l}) + [\text{Ca}^{++}](\text{még/l}) + [\text{Mg}^{++}](\text{még/l}) = [\text{HCO}_3^-](\text{még/l}) + [\text{SO}_4^{-2}](\text{még/l}) + [\text{NO}_3^-](\text{még/l}) + [\text{Cl}^-](\text{még/l}).$$

Donc :

$$[\text{Na}^+ + \text{K}^+](\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{l}) = [[\text{HCO}_3^-](\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{l}) + [\text{SO}_4^{2-}](\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{l}) + [\text{NO}_3^-](\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{l}) + [\text{Cl}^-](\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{l})] - [[\text{Ca}^{++}](\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{l}) + [\text{Mg}^{++}](\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{l})].$$

Selon l'annex (01) : tableaux de convertir

La norme de sodium selon l'OMS pour les eaux superficielles est (150mg/l = 6.525 m\acute{e}q/l).

La norme de potassium selon l'OMS pour les eaux superficielles est (12mg/l = 0.30696 m\acute{e}q/l).

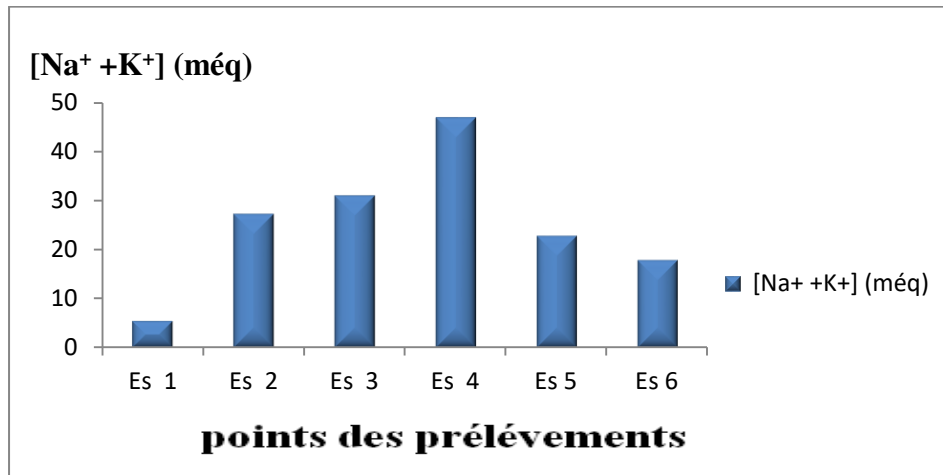


Fig.42 : Histogramme de variation de la teneur en sodium et en potassium dans les eaux de Sebkhah El-Mahmel (Avril 2019).

On remarque que les concentrations de (Na⁺+K⁺) dans les points d'eaux contr\`ol\`ees varient entre 46.96 m\acute{e}q/l au niveau de point (ES4) \`a 5.52 m\acute{e}q/l au niveau de point (ES1), donc les teneurs de (Na⁺+K⁺) dans les eaux analys\`ees est plus au moins important.

On peut justifier ces r\`esultats par :

- L'augmentation de la temp\`erature qui provoque une \`evaporation progressive des eaux de sebkha (eau sal\`ee) donc la concentration des sels dissouts augmente (les terrains riche en " Na Cl " et les roches \`evaporitique (sylvinite " K Cl ") et les argiles).
- L'augmentation des concentrations de sodium dans les eaux de notre zone d'\`etude est probablement caus\`ee par la dissolution des sels de la cro\`ute superficielle, le lessivage des formations g\`eologique riche en Na Cl.

- L'augmentation des concentrations de potassium dans les eaux de notre zone d'étude est probablement causée par l'altération des formations silicatées, des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs.

V.1.2.4. Les Chlorures (Cl⁻)

L'analyse des teneurs en chlorure montre que les eaux de Sebkhah El- Mahmel présentent des concentrations très élevées en chlorure comprises entre 2263 mg/l au niveau de point (ES4) et 423.36 au niveau de point (ES1), ces valeurs dépassent la norme de l'OMS pour les eaux superficielles (OMS, 2003). (Fig.43)

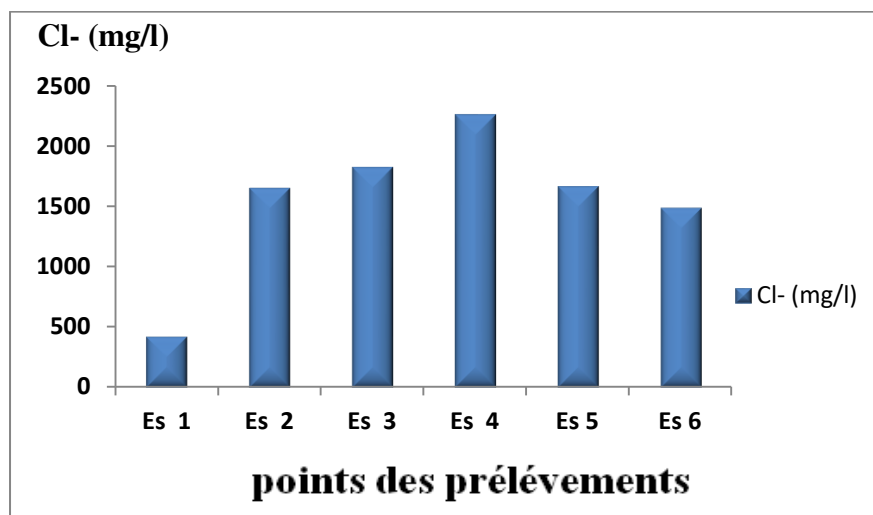


Fig.43 : Histogramme de variation de la teneur en chlorure dans les eaux de Sebkhah El- Mahmel (Avril 2019).

L'augmentation de chlorure au niveau des points (ES2, ES3, ES4, ES5) et surtout au niveau de point (ES4) peut être expliquée par l'activité humaine et par la nature géologique de la roche (les formations argileuses), la dissolution des terrains salifères, lessivage des formations géologique riche en Na Cl, ou par la contamination par les eaux usées.

V.1.2.5. Les sulfates (SO₄²⁻)

Ils sont présents dans les eaux naturelles à des teneurs très variables. Les valeurs de concentration des sulfates dans notre zone d'étude varient entre 79.35mg/l (ES6) et 29.067mg/l (ES1), ces valeurs ne dépassent pas la norme de l'OMS (250mg/l) pour les eaux superficielles. Leur concentration est probablement causée par la dissolution des terrains à des formations plus récentes comme les argiles ou la dissolution des formations gypseuses.

Les résultats obtenus montrent que la concentration en sulfate dans les eaux de notre zone d'étude est très faible par rapport au résultat effectué dans les années passées par (Sedrati, 2013 ; Rahima, 2016 ; Boutouil, 2018).

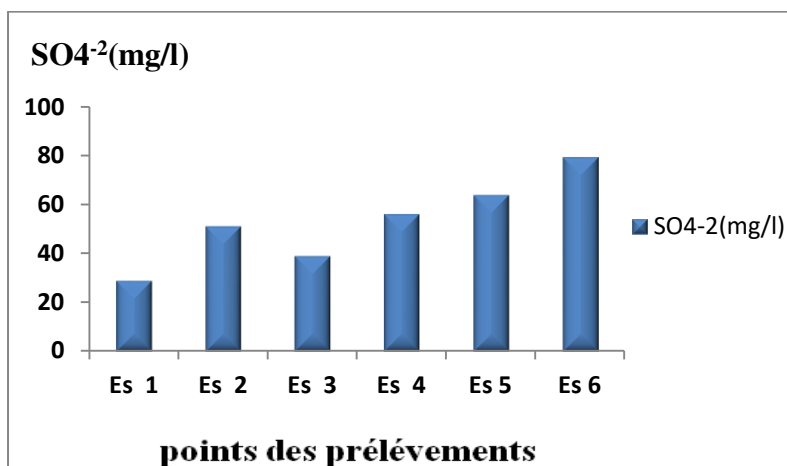
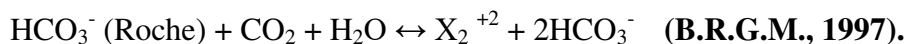


Fig.44 : Histogramme de variation de la teneur en sulfates dans les eaux de Sebkhah El- Mahmel (Avril 2019).

V.1.2.6. Les Bicarbonate (HCO₃⁻)

La présence des bicarbonates dans les eaux naturelles est le résultat de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique par la dissolution des roches carbonatées en fonction de la tension en CO₂, d'après l'équation générale suivante :



Les concentrations enregistrées au cours de notre analyse sont représentées sur la (fig. 45).

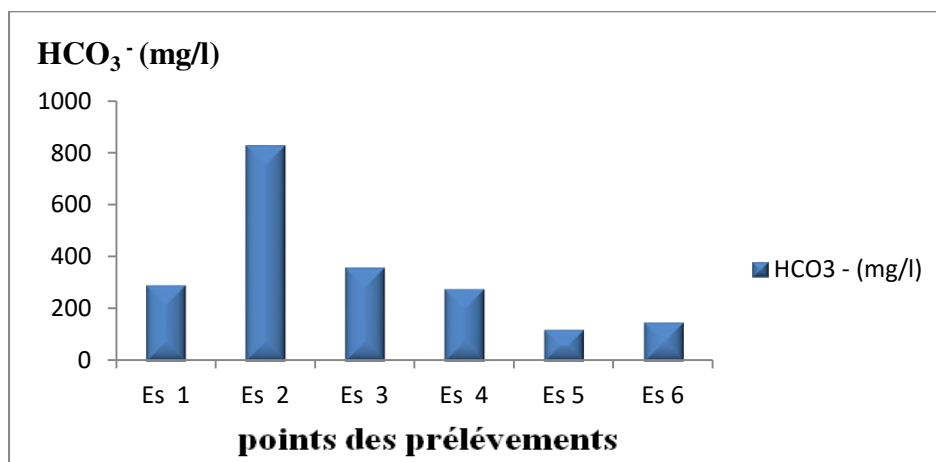


Fig.45 : Histogramme de variation de la teneur en bicarbonate dans les eaux de Sebkhah El- Mahmel (Avril 2019).

Les valeurs de la concentration de HCO_3^- , sont comprises entre 122mg/l au niveau de point (ES5) à 830mg/l au niveau de point(ES2).

On remarque que les concentrations basses en HCO_3^- sont enregistrées au niveau des points (ES5, ES6), ces concentrations sont inférieures à la norme de l’OMS (250mg/l), par contre les valeurs de concentration enregistrées au niveau des points (ES1, ES2, ES3, ES4) sont supérieures à la norme.

Les concentrations élevées en bicarbonates sont causées par la dissolution des formations carbonatées tel que les calcaires et les dolomies ou par le rejet d'eaux polluées riches en ses éléments.

V.1.2.7. L’Ammonium (NH_4^+)

L’azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique (Rodier *et al.*, 2009), c’est la forme de l’azote la plus toxique

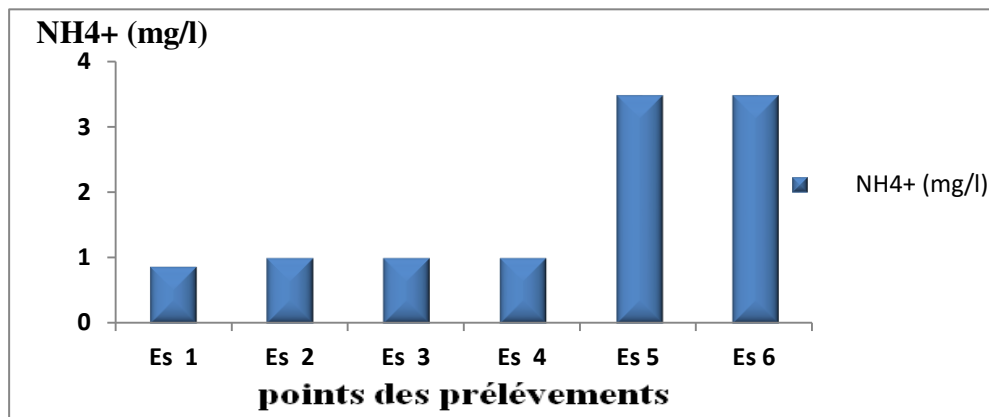


Fig. 46: Histogramme de variation de la teneur en Ammonium dans les eaux de Sebkhah (Avril 2019).

On remarque que les concentrations de (NH_4^+) dans les points d’eaux contrôlées varient entre 0.865mg/l au niveau de point (ES1) à 3.475mg/l au niveau des points (ES5, ES6), donc les teneurs de (NH_4^+) dans les eaux analysées supérieure à la norme de l’OMS pour les eaux de surface (0.2mg/l).

Cette variation des teneurs est en relation avec la dégradation incomplète de la matière organique ou les rejets urbains.

L'azote rencontré dans les eaux usées urbaines peut avoir un caractère organique ou minéral, il se présente sous quatre formes :

- L'azote organique se transforme en azote ammoniacal.
- L'azote ammoniacal (NH_4) traduit un processus d'ammonification de la matière organique azotée. Les ions ammoniums subissent une nitrification par action des bactéries nitrifiantes.
- L'azote nitreux (NO^{2-}) provient d'une oxydation incomplète de l'azote ammoniacal ou par une réduction des nitrates par dénitrification. Les nitrites sont instables et sont rapidement transformés en nitrates.
- L'azote nitrique (NO^{3-}) est produit par nitrification de l'azote ammoniacal. Il joue un rôle important dans le développement des algues et participe au phénomène d'eutrophisation.

Dans les eaux usées, l'azote se trouve principalement sous forme ammoniacale. Les concentrations des formes oxydées de l'azote sont faibles.

V.1.2.8. Les Nitrates (NO_3^-)

Le nitrate est la principale forme chimique azotée, Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3mg/l dans les eaux superficielles et quelques mg/l dans les eaux souterraines, (**Franck Rejsek, 2002**). Les nitrates sont des indicateurs de la pollution (**Athamena, 2006**).

Les nitrates des eaux de surface et les eaux souterrains proviennent principalement de secteur agricole en raison d'utilisation intensive des engrais chimiques azotés pour augmenter le rendement agricole ou des rejets industrielle qui fabriquent des produits destinés vers le secteur agricole ou par les excréments des oiseaux d'eaux.

Le lessivage des terres après épandage d'engrais, les eaux usées domestiques et certaines eaux usées à caractère basique constituent des sources directes de nitrates. La norme des nitrate selon l'OMS, 2003 pour les eaux superficielles est de 50mg/l.

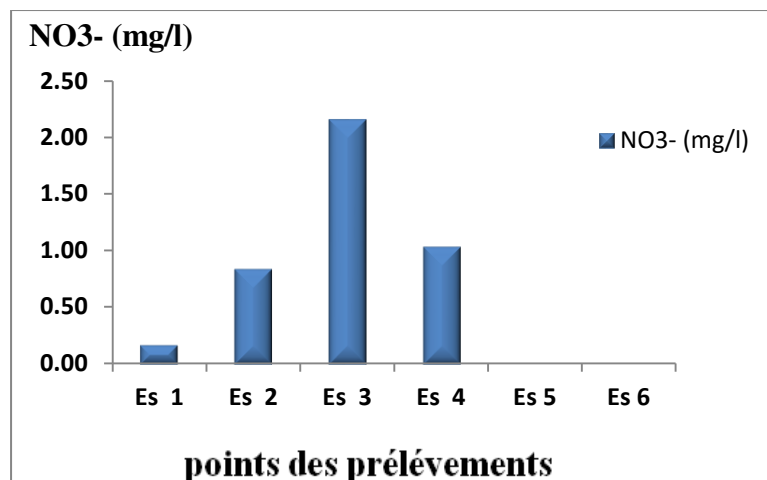


Fig.47 : Histogramme de variation de la teneur en nitrate NO₃⁻ dans les eaux de Sebkhah El- Mahmel (Avril 2019).

Les valeurs de concentration des nitrates sont variées entre 0 mg/l (ES5, ES6) à 2.16 mg/l (ES3), ces valeurs sont acceptées selon les normes de l'OMS.

Les résultats obtenus montrent que la concentration en nitrate dans les eaux de notre zone d'étude est très faible par rapport au résultat effectué dans les années passées.

V.1.2.9. Les Nitrites (NO₂⁻)

Les nitrites sont les indicateurs de la pollution. Elles proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammonium soit d'une réduction des nitrates (**Dégbey et al., 2010 ; Bricha et al., 2007 ; Lagnika et al., 2014**).

La norme de nitrite selon l'OMS est de 0.2mg/l à 3mg/l La figure 49 montre la variation des teneurs en nitrites dans les eaux de Sebkhah.

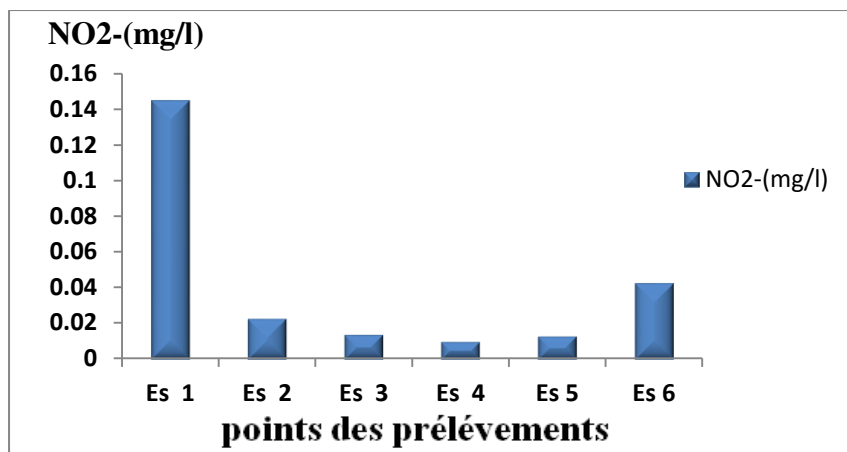


Fig.48: Histogramme de variation de la teneur en nitrite NO_2^- dans les eaux de Sebkhah El-Mahmel (Avril 2019).

Cette figure montre que la teneur en nitrites varie au cours de l'étude de 0,01 à 0,145 mg/L. Les normes de (l'OMS, 2003) indiquent une valeur de nitrite maximale de 3 mg/L, Ceci montre que nos échantillons présentent des teneurs en NO_2^- acceptable par l'OMS.

V.2. Détermination du faciès chimique

Afin de mieux comprendre le chimisme des eaux de surface de Sebkhah El-Mahmel, nous avons fait l'appel à différentes représentations graphiques.

V.2.1. Diagramme de Schoeller Berkaloff

Le diagramme a été établi par H.Schoeller en 1932 et révisé par Berkaloff en 1952, il est composé de sept échelles logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions analysés dans l'eau.

Le diagramme de Schoeller et Berkaloff permet la représentation de plusieurs analyses sur le même graphique.

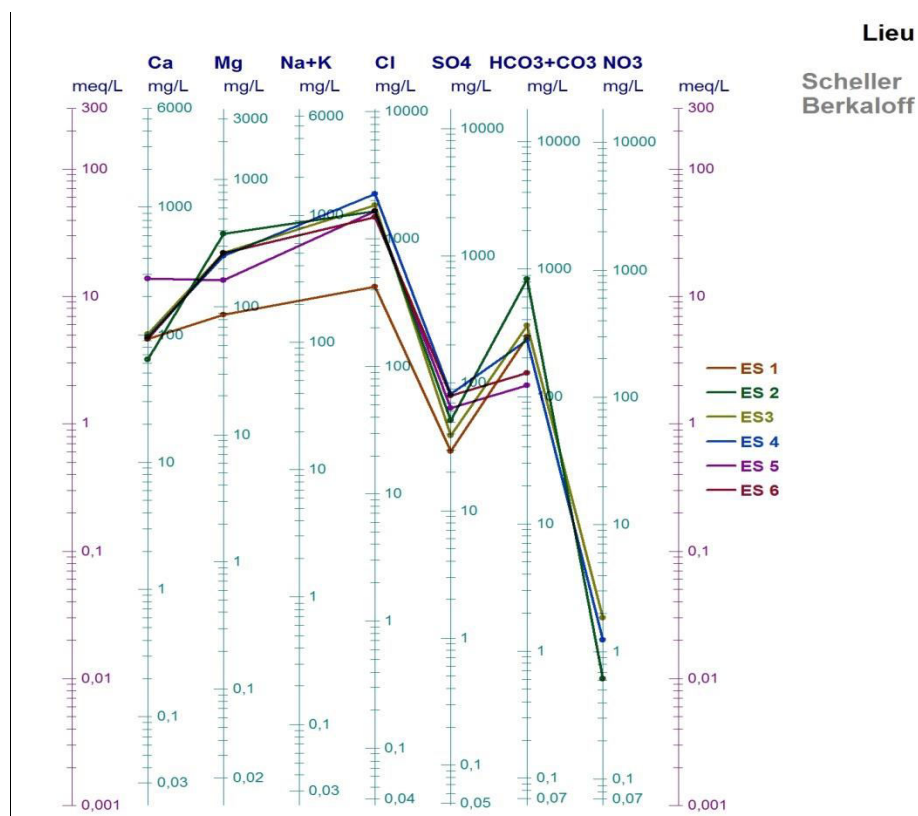


Fig.49 : Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de surface de Sebka El- Mahmel (Avril 2019).

Selon le diagramme Sheller Berkaloff nous indique que les eaux de sebka El Mahmel présentent 2 faciès : chlorurée magnésienne (ES1, ES2, ES6) avec des valeurs maximale aux niveaux des pôles (Mg^{++}), (Cl^-) et chlorurée sodique au niveau des points (ES3, ES4, ES5) avec des valeurs maximale aux niveaux des pôles (Na^+K^+), (Cl^-).

V.3. Phénologie et structure des oiseaux d'eau de Sebket El- Mahmel

Au cours du mois d'avril 2019, le peuplement avien de la zone d'étude est composé essentiellement de deux espèces de la famille d'Anatidés et une espèce de la famille des Phœnicopteridae.

V.3.1. Le Tadorne de Belon *Tadorna tadorna*



Le Tadorne de Belon est l'Anatidé le plus représenté dans les zones humides des hautes plaines de l'Est algérien (Adjel et Mouici, 2004 ; Boulakhssaim *et al.*, 2006.). Plusieurs milliers d'individus viennent

hiverner au niveau du complexe des zones humides de la wilaya d'Oum El-Bouaghi (Walmsley, 1986 ; Saheb, 2003). Elles se nourrissent principalement de *Hydrobia acuta*, *Hydrobia ulvae*, de larves de Coléoptères aquatiques, de *Artemia salina*, de larves de Diptères et de Cyanophycées (Walmsley, 1982, 1987 ; Walmsley et Moser, 1981 ; Olney, 1965 ; Pagnoni *et al.*, 1997).

Durant le mois de notre étude au niveau de Sebkhet d'Ouled Amara, le Tadorne de Belon a été observé dès la première quinzaine du mois d'Avril avec un effectif moyen de 20 individus. (Fig.50).

Le tadorne de belon a occupé la partie Ouest couvert de végétation, de la sebkhet (Fig.50).

V.3.2. Le Canard Colvert *Anas platyrhynchos*



C'est l'espèce la plus communément observable dans les zones humides du pays. Le Canard Colvert niche dans la Numidie (Isenmann et Moali, 2000). Il peut aussi nicher assez loin des plans d'eau, dans des milieux assez couverts de végétation. Elle évite d'ailleurs les zones humides aux berges nues sans végétation rivulaire (rives rocheuses et sablonneuses) (Mayache, 2008).

Le canard colvert a été observé qu'une seule fois. C'était durant la deuxième quinzaine du mois d'avril 2019, ou deux individus ont été observés dans le centre du plan d'eau. (Fig.50).

V.3.3. Le Flamant rose *Phoenicopterus roseus*



Le Flamant rose est le seul représentant de la famille des Phoenicopteridae qui fréquente l'Afrique du Nord (Allen, 1956 ; Johnson, 1997 ; Isenmann et Moali, 2000 ; Isenmann *et al.*, 2005 ; Thévenot *et al.*, 2005 ; Houhamdi *et al.*, 2008a ; Qninba et Dakki, 2009). Il est très représenté dans les Hautes plaines de l'Est algérien (Ouldjaoui *et al.*, 2004).

Le Flamant rose a été observé durant la période d'étude avec le maxima de 50 individus. (Fig.50). Cette espèce a été principalement enregistrée au secteur Nord-ouest du plan d'eau de la Sebkhet (Fig.50).

Ces données nous montrent aussi que la famille la plus représentée durant la période d'étude est celle des Anatidés du fait qu'il a hébergé 2 espèces mais avec un effectif faible (22 individus). Par contre, la famille des Phoenicopteridés est peu représentée où une seule espèce de cette famille a été notée avec des effectifs plus ou moins importante (50 individus) par rapport à

la famille précédente. Ceci dû soit à la dispersion des espèces vers les sites voisins, soit vers les sites de nidation.

De plus, on constate que le plan d'eau n'est jamais vide et toujours occupé par une espèce d'oiseau d'eau donnée, mais avec des effectifs très faibles. (Fig.50).

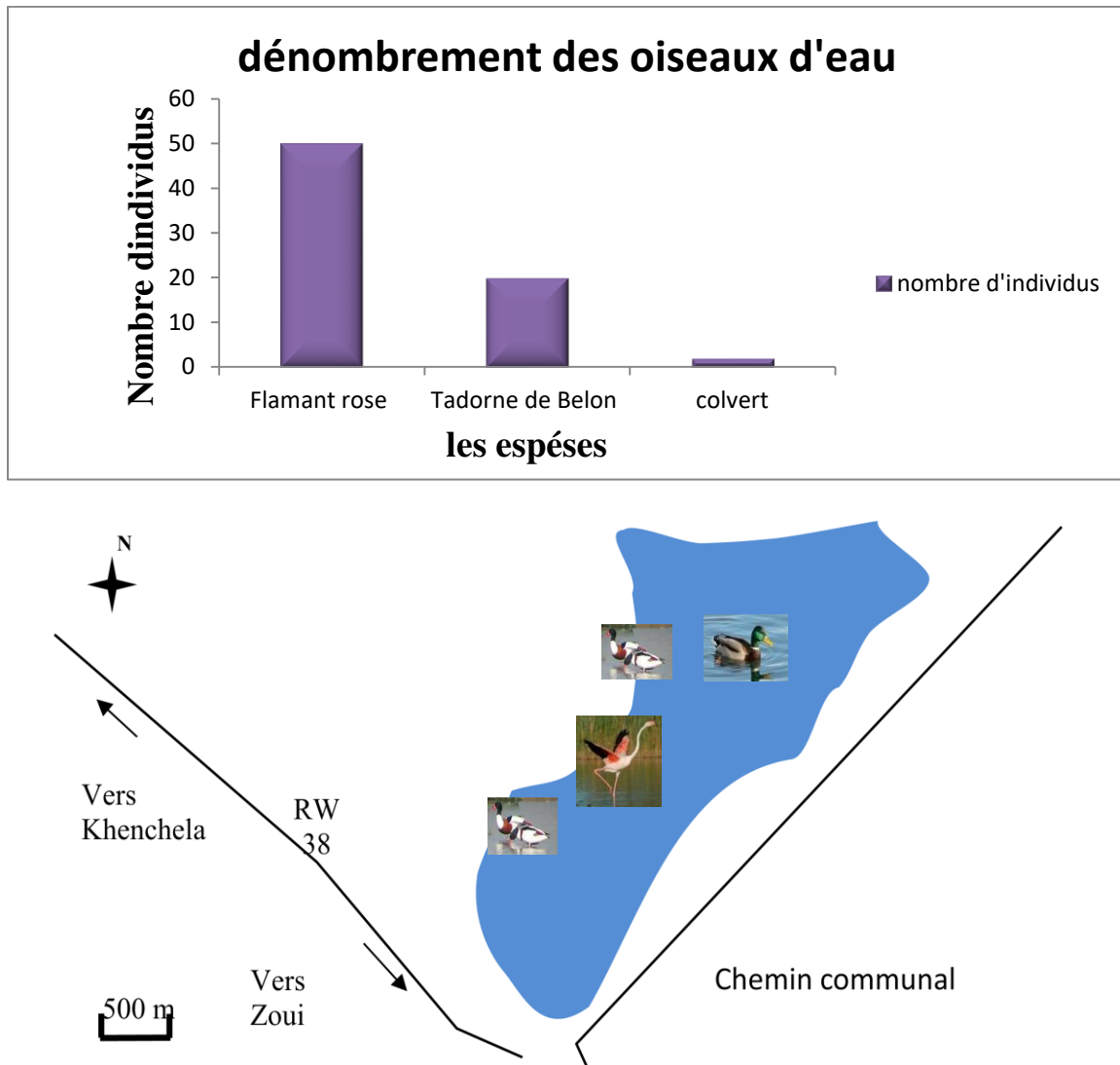


Fig.50: Phénologie et structure des oiseaux d'eau de la Sebkhet de Ouled Amara durant le mois d'Avril 2019

Conclusion générale

La zone humide de Sebkhet El-Mahmel, comme toutes les zones humides des hautes plaines du constantinois, constitue un écosystème essentiel pour la biodiversité. En effet, c'est un lieu d'hivernage de l'avifaune et une aire de stationnement pour de nombreux oiseaux migrateurs.

L'objectif principal de notre travail est d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de Sebkhet El-Mahmel et la caractérisation du patrimoine aviaire qu'elle renferme.

Pour réaliser ce travail, nous avons effectué des sorties de reconnaissance de site (4 sorties), durant le mois d'avril (une fois chaque semaine). Lors de ces sorties, nous avons effectué le suivi de dénombrement et de la phénologie des oiseaux d'eau ayant fréquenté la zone d'étude. Le prélèvement des échantillons d'eaux a été effectué la fin du mois avril 2019, et les analyses sont effectuées dans les laboratoires de l'Algérienne des eaux (ADE) de la wilaya de kenchela.

Les résultats obtenus dans le cadre de notre étude, nous permettent de conclure ce qui suit :

- Les données climatiques laissent présager un climat semi-aride caractérisé par une grande variabilité annuelle et interannuelle, avec une période sèche s'étalant sur 03 mois, allant du mois de Juin jusqu'au mois d'Aout, et une période humide s'étalant sur neuf mois, soit de septembre jusqu'à mai. La pluviométrie avec une moyenne de 487.50 mm avec des températures (moyenne est de l'ordre de 15.79°C).
- L'étude hydro-chimique des eaux de sebkhet El Mahmel montre une température variant entre 17°C à 25.3°C.
- Les résultats obtenus montrent aussi que la pollution des eaux de sebkhet El Mahmel due aux rejets des eaux usée a diminué cette année probablement à cause de la mise en marche d'une station d'épuration des eaux usées dans la région.
- Concernant le dénombrement des oiseaux d'eau, les résultats obtenus révèlent que la Sebkha n'a hébergé que 20 individus de Tadorne de Belon, 50 individus de Flamant rose et seulement 2 individus de Canard Colvert.

L'étude de la distribution spatiale des oiseaux d'eau a révélé une répartition préférentielle de ces trois espèces d'oiseaux aquatiques sur les zones où le dérangement est moindre (les secteurs centraux, nord-occidentaux et septentrionaux).

A

Acreman M., 2000 : L'hydrologie des zones humides. Collection conservation des zones humides méditerranéennes. Tour du Valat. 112 p.

ADE, 2019:Algérienne des eaux (ADE).

Adjel, M., et Mouici, S. 2004. Cartographie de la végétation et éco-éthologie de la Tadorne de belon Tadorna tadorna dans la sebkha de Djendli. Mémoire d'ingénieur en Ecologie et Environnement. Université de Batna. 87p.

Ankney, C.D., Afton, A.D. et Alisauskas, R.T. 1991: The role of nutrient reserves in limiting waterfowl reproduction. The Condor 9: 1029-1032. 227-267.

Art. L.211-1 Art: <http://www.sagerancefremur.com/comprendre/les-zones-humides/qu-est-ce-que-c-est.html>.

Atkins P., Loretta J., (1998). **Chimie :** molécules, matières, métamorphoses. 3ème Ed. Boeck. 998 p.

Atteia O. (2015) : Chimie et pollution des eaux souterraines. Ed. Lavoisier. 421 p.

B

Bagnouls et Gaussen, 1957 Bagnouls et Gaussen, H. 1957 .Les climats biologiques et leurs classifications. Ann. Géogr. Fr. 355: 193-220.

Barnaud, G. 1997. Rôle et fonction des zones humides. « L'Eau, l'homme et la nature », 24èmes Journées de l'Hydraulique de la Société hydrotechnique de France 18-20 septembre 1996, Paris, La Houille Blanche, 1/2 : 90-91.

Belaa .F. et Abboud .C, 2015 : Synthèse hydro-chimique des eaux souterraines de la commune d'EL Mahmel. Mémoire de Master. Université de Khenchela .57p

Benazzouz, M-T. 1986. Recherche géomorphologique dans les hautes plaines de l'estAlgérien la Sebkhha Tarf (Algérie). Thèse de doctorat 3ème cycle en géomorphologie.Université Paris 1, la Sorbonne. 262p.

Bibby, C., Jones, M., Marsden, S. (EDS). 1998. In: Expedition field techniques: bird surveys. Royal Geographical Society, London.

BLONDEL J. (1975) A. Tamisier A et dehorter O., Analyse des peuplements d'oiseaux d'eau. Elément d'un diagnostic écologique. I : La méthode des échantillonnages fréquentiels progressifs (E.F.P.). Terre et Vie 29: 533-589

Bonnet B., Aulong S., Goyet S., Lutz M., Mathevet R., 2005. Gestion intégrée des zones humides méditerranéennes : Conservation des zones humides. Tours du Valat, Arles, 160 p.

Bouakkaz Amel, 2017 : Ecologie du peuplement d'Ouled Amara (El-mahmel, wilaya Khenchela).Thèses doctorat. Université Badji Mokhtar-Annaba.96p

Bouballi S, 2009, identification et mise en évidence des formations hydrogéologiques a la wilaya de Khenchela (nord- West) analyse et synthèse de données, magistère, Annaba.

Boubekeur H., (2014). Qualité physico-chimique de l'eau dessalée et traitée par la station de dessalement de l'eau de mer de souk TLATA Mém. Ing. Alimentation et Nutrition. Uni ABOU BE KR BELKAID TLEMCEN. P43-44.

Bouldjedri M., De Belair G., Mayacha B., Muller S.D., 2011. Menaces et conservation des zones humides d'Afrique du Nord: le cas du site Ramsar de Béni-Belaid (NE algérien). C.R. Biologies, 557- 772.

Boulekhssaim, M., Houhamdi, M., Saheb, M., Samraoui-Chenafi, F. et Samraoui, B. 2006. Breeding and banding of Greater flamingo *Phoenicopterus roseus* in Algeria.

Boumezbeur, A. 2004.Atlas des zones humides algériennes. DGF. 120p

Boutelli Med H. 2012. Salinité des eaux et des sols au niveau de la Sebkhha de bamendil, caractérisation et conséquences sur l'environnement. Mémoire de magistère en aménagement hydraulique dans les milieux arides. Ouargla, P 130.

Boutouil Abla, 2018. Impact des Caractéristiques physico-chimiques des eaux sur la présence du Flamant rose et Tadorne de Belon dans la zone humide de Sebkhhet El- Mahmel (wilaya de Khenchela) université Abbes Lahlou-Khenchela.

B.R.G.M., (1997). Les eaux minérales et le gaz carbonique. Note technique N° 10 France. 19 P.

Bricha S., Ounine K., Oulkheir S., El Haloui N., Attarassi B., (2007). Etude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc).

C

Chapman D, Kimstach V: Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, (1996) 59-126.

Citation: Secrétariat de la Convention de Ramsar, 2006. Le Manuel de la Convention de Ramsar: Guide de la Convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971), 4e édition. Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse.

Copyright © 2006, Secrétariat de la Convention de Ramsar

D

Darley(1985) Darley, C. 1985. Birds in Europe: their conservation status. Cambridge, U.K: Birdlife international (conservation series N°3).

Degbey C., Makoutode M., Fayomi B., Brouwer C., (2010). La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey au Bénin, J Int Santé Trav, Vol 1, PP : 15- 22.

DGF (2002) : Atlas des zones humides algériennes d'importance internationales, document interne direction générale des forêts, eddiwan, Alger, 13-24-42p.

Dib I., (2009). L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien), Mémoire de magister en hydraulique, construction hydro-technique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, p 127.

Djamila Hamour : « Management de l'eau potable et de la l'assainissement : entre patrimoine commun et service public ». Mémoire de Master en Sciences Economiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2013, p1.

E

El Agbani, M.A. 1997. L'hivernage des anatidés au Maroc : principales espèces, zones humides d'importance majeure et propositions de mesure de protection. Thèse doctorat d'état. Univ. Mohamed V, (Maroc). 200 p.

F

Ferchichi-Ben Jamaa H., Muller S.D., Daoud Bouattour A., Gharbi Gammar Z., Soulié Marsche I., Ouali M., Ben Saad Limam S., 2010. Structures de végétation et conservation des zones humides temporaires méditerranéennes: la région des Mogods (Tunisie septentrionale). C.R Biologies, 333 : 265-279.

Franck Rejsek 2002 . « Analyse des eaux ». Norme NF T 90-045, Dosage des nitrates. Méthode spectrométrique avec l'acide sulfosalicylique, AFNOR, Paris, 1989. Norme NF T 90-012, Dosage des nitrates et des nitrites. Méthode automatique par spectrométrie d'absorption moléculaire, AFNOR, Paris, 1987.

Franck Rejsek 2002 . « Analyse des eaux ». Norme ISO 6777, NF EN 26777, Dosage des nitrites. Méthode par spectrophotométrie d'absorption moléculaire, AFNOR, Paris, 1993.

Fustec et Lefevre, 2000 Fustec, E., Lefevre, J.C. 2000. Fonction et valeur des zones humides. Dunod Paris.426p.

G

Géomorphol, 1979 Sebkhia d'Oran.Poussant d'aigres cris, un vol d'oies sauvages passa. Très basses, elles venaient de l'Ouest. – Elles fuient vers la Sebkhia d'Amandghor, – dit Bou-Djema (BENOIT,Atlant., 1919, p. 79).

GIDE, Les Nourritures terrestres, 189, p. 238; cf. J. BRUNHES, La Géogr. hum.,1942, p. 234 et également apparence ex. 1.

Glinka, N. (1977).Chimie Générale. Sous La Réduction De V.RABINOVITCH. Tome Ii. Ed. Mir Moscou. P576.

Guide technique2016. D'évaluation de l'état des eaux douces de surface de métropole" qui a été publié par le Ministère en charge de l'environnement pour définir l'état des masses d'eaux.

H

Hade A., (2007). Nos lacs : Les connaître pour mieux les protéger, Edition Fides, Bibliothèque nationale du Québec, Canada, 27p.

Heinzel, H., Fitter, R. and Parslow, J. 1996. Guide Heinzel des oiseaux d'Europe d'Afrique de Nord et Moyen Orient. Delachaux et Niestlé, Paris

Houha Belgacem, 2018 : Cours Chimie des Eaux et Hydrogéochemie, Première année Master : Ecologie et Environnement, Année Universitaire 2017-2018

Houhamdi M, Hafid H, Seddik S, Bouzegag A, Nouidjem Y, Bensaci E, Maazi, M-C et Saheb M (2008) : Hivernage des Grues cendrées *Grus grus* dans le complexe des zones humides des hautes plaines de l'Est algérien. *Aves*. 45 (2): 93-103.

I

ISO. (2003). Qualité de l'eau, Dosage de chlorures, Titration au nitrate d'argent avec du chromate comme indicateur (Méthode de Mohr). ISO 9297.

J

JORA (2003, 2014) Journal Officiel de la République Algérienne. qualité de l'eau de consommation humaine, Bir Morad Rais, Alger, Algérie

Jean J-C., 2002. La dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau. Paris.

K

Kassim ; C. (2005). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako.

Khabtane A., Rahmoune C, Ghdir E, 2010: Actes de Séminaire International sur la biodiversité faunistique en zone aride et semi-aride Université Kasdi Merbah Ouargla

Khabthane A, 2015 . Etude sur la zone humide « Sebkat El Mahmel », PHASE 03 : Menaces écologiques sur Sebkat El Mahmel « Chott Sbikha ».

Khemici, Y .2014. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique d'une eau usée épurée par un lit de plantes, mémoire master professionnel Université kasdi marbah Ouargla 34p.

L

Lagnika M., Ibikounle M ., Montcho J.C., Wotto V.D., Sakiti N.G., (2014). Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè (Bénin, Afrique de l'ouest), Journal of Applied Biosciences, N°79, PP:6887– 6897.

Lakhdari Somia , 2012 :étude de la qualité des eaux de l'aquifère du bassin versant de foug el gueiss (wilaya de khanchela) Université Abbes LAGHROUR Khenchela

Info SoirPublié dans Info Soir le 11 - 11 – 2010. Les zones humides en Algérie.

M

Margat J. 1992. L'eau dans le bassin méditerranéen. Situation et perspective, Edition Harmattan.

Mebarki (2005) : hydrologie des bassins de l'Eest algérien : Ressource en eau, aménagement et environnement, Thèse de doctorat d'état, Université de Mentouri Constantine.

Merabet. S, 2010. Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et Distribuées du barrage réservoir de beni Haroun. Mémoire de magister chimie analytique. Université mentouri de Constantine. 98p

Moussa K. 2006 : Thèse Présentée pour l'obtention du grade De Docteur d'état en Sciences de la Terre. Etude d'une Sebkhha : la Sebkhha d'Oran (Ouest algérien)

Mustapha Bouziani, 2000 : Guide L'eau de la pénurie aux maladies (Editions IBN-KHALDOUN)

N

Nehm, N. 2014. Evaluation de la qualité de l'eau du bassin inférieur de la rivière du Litani, Liban : approche environnementale (Nada NEHM), Thèses en géosciences Université de Lorraine. 80p.

O

OMS., (2005). Célébration de la décennie internationale d'action : L'eau source de vie Journal mondial de l'eau 2005, Guide de sensibilisation, Genève, Suisse ,2005-2015.

P

Peck. H. D, 1970: Sulphur requirements and metabolism of microorganisms.

Person P, 1979 : pollution des eaux continentales, incidences sur les biocénoses aquatiques (79-101).

P.H.Raven, L.R, BER. M, Hassen Zahl: Guide environnement, traduction de la 2006 6e édition américaine par Marie-pascale Colace, p553.

Potellen J.L. 1998. Le guide des analyses de l'eau potable. Paris,156p

R

Ramade F (1984) : Éléments d'écologie, écologie fondamentale, édit, Mc-Graw & Hill, Paris, 397 p.

Ramade F. 2003. Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale. 3^{ème} Edition Dunod, Paris, 690p.

Ramsar, Iran, 1971 : Le Manuel de la Convention de Ramsar Guide de la Convention sur les zones humides 4^e édition.

Ramsar guide 2006: www.ramsar.org/key_guide_list2006_f.htm

Ramsar : 50 sites RAMSAR classés zones humides d'importance internationale en Algérie, 30 janvier (2013).

Rejsek F. 2002. Analyse des eaux, Aspects réglementaire et techniques. Série: Sciences et techniques de l'environnement. Paris, 360p.

Rodier J, 1984 : l'analyse de l'eau, Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 7^{ème} édition, Dunod, Paris, 1353

Rodier Jean, Bernard Legube, Nicole Merlet et coll. : L'Analyse de l'eau 9e édition 1579.

RODIER .J, 1976. l'analyse de l'eau ; eaux naturelles ; eaux résiduaire ; eaux de mer ; édition dunod, 8^{ème} édition ; pages (945 à1075)

Rodier, J.(1978). L'analyse de l'eau ,eaux naturelles, Eaux naturelles, Eaux. résiduaires, Eau de mer. 8^{ème} édition: Dunod, Paris.

Rodier, J., Legube, B., Merlet ,N., et al. (2005). L'analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux. résiduaires, Eau de mer. 8^{ème} édition Dunod, Paris.

Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., (2005). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physicochimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.

Rodier, J., Legube, B., Merlet N. (2009). L'analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux. résiduaires, Eau de mer 9^{ème} édition. Dunod, Paris.

S

Saheb, M. 2003. Cartographie de la végétation des sebkhas de Guellif et de Boucif (Oum-El-Bouaghi) et écologie de l'avifaune aquatique. Thèse de Magister, C.U. Oum El-Bouaghi. 125p.

Schricke V. 1982. Les méthodes de dénombrements hivernaux des Anatidés et des Foulques, de la théorie à la pratique. La sauvagine et la chasse 253: 6-11.

Sedrati, A. 2013. Etude de la salinité et Détermination de la contamination de la nappe de la Sebkhha d' El Mahmel. Mémoires de master, l'université de Khenchela .67p.

Site web 1 http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/1346/1/saifouni_a.pdf

Site web 2: Lire plus: <https://www.aquaportail.com/definition-2630-lac.html>.

Site web 3: <https://www.valdemarne.fr/newsletters/lettre-dinformation-plan-bleu-du-val-de-marne/une-mare-cest-quoi>.

Site web 4:<https://www.etudier.com/dissertations/Introduction-Sur-l'Eau/257071.html>.

Site web 5:<http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre1/main.html>

Site 6 :<https://www.mplux.be/pecher/l-eau/le-cycle-de-l-eau-en-6-etapes>.

Site web 7: <https://www.memoireonline.com/10/13/7528/Les-eaux-souterraines-captage-exploitation-et-gestion.html>.

site web 8:<https://www.djazairess.com/fr/infosoir/120359>**Info Soir** Publié dans **Info Soir le 11 - 11 – 2010.**

Site web 9:<https://www.memoireonline.com/10/13/7528/Les-eaux-souterraines-captage-exploitation-et-gestion.html>.

Site web 10:<https://www.safewater.org/french-fact-sheets/2017/2/14/pollution-eau>.

Site web 11:<https://maskgeneration.com/2018/04/10/les-differents-types-de-pollution/>.

Site web 12:<https://www.AnalyseEau-preGenprelevement.pdf>

Site web 13: <https://www.djazairess.com/fr/infosoir/120359>**Info Soir** Publié dans **Info Soir le 11 - 11 - 2010 ...**

Slimani, R. (2003). Contribution à l'étude hygiénique des caractères physico-chimique des eaux usées de la cuvette d'Ouargla et leur impact sur la nappe phréatique Mém. Ing. Eco et Env. Ecosystème steppique et saharien. Uni d'Ouargla. p85.

T

Thomas, 1976 Thomas, G. 1976. Habitat usage of wintering ducks at de Ouse Washes England. Wildfowl 27: 148-152.

Tamisier, A. et Dehorter, O. 1999. Camargue: Canard et Foulques. Fonctionnement d'un prestigieux quartier d'hiver. Centre Ornithologique du Gard. Nimes. 369p.

W

Walmsley, J.G. 1986. Wintering Shelduck Tadorna tadorna in the West medetarean. Instituto nazionale di biologia della selvaggina Bologna Vol X: 339-354

WHO., 1994. Directive de qualité de l'eau de boisson. 2ème édition. VOL 2. Critères d'hygiènes. Genève.

Annexe 01 : Tableaux de convertir des unités.

Cations	1 mg/L > méq/L	1 mé/l > mg/l	Anions	1 mg/L > méq/L	1 mé/l > mg/l
Al ⁺⁺⁺	0,11119	8,9938	BO ₂ -	0,02336	42,8098
Ba ⁺⁺	0,01456	68,6635	Br -	0,01252	79,904
Ca ⁺⁺	0,04990	20,0390	Cl -	0,02820	35,460
Cr ⁺⁺⁺	0,05770	17,3320	CO ₃ - -	0,03333	30,005
Cu ⁺⁺	0,03147	31,7730	CrO ₄ - -	0,01724	57,997
Fe ⁺⁺	0,03581	27,9235	F -	0,05264	18,9984
Fe ⁺⁺⁺	0,05372	18,6157	HCO ₃ -	0,01639	61,017
H ⁺	0,99216	1,0079	HPO ₄ - -	0,02084	47,990
K ⁺	0,02558	39,0983	H ₂ PO ₄ -	0,01031	96,987
Li ⁺	0,14407	6,9410	HS -	0,03024	33,074
Mg ⁺⁺	0,08229	12,1525	HSO ₃ -	0,01233	81,072
Mn ⁺⁺	0,03640	27,4690	HSO ₄ -	0,01030	97,072
Mn ⁺⁺⁺	0,05461	18,313	I -	0,00788	126,905
Na ⁺	0,04350	22,9898	NO ₂ -	0,02174	46,0055
NH ₄ ⁺	0,05544	18,0385	NO ₃ -	0,01613	62,005
Pb ⁺⁺	0,00965	103,60	OH -	0,05880	17,0073
Sr ⁺⁺	0,02283	43,810	PO ₄ ³⁻	0,03159	31,657
Zn ⁺⁺	0,03059	32,695	S - -	0,06237	16,033
Cs ⁺	0,00752	132,9054	SiO ₃ - -	0,02629	38,0419
Ti ⁴⁺	0,08354	11,9700	SO ₃ - -	0,02498	40,0321
Mo ⁶⁺	0,06254	15,9900	SO ₄ - -	0,02082	48,0318

Annexe02 : Résultat des analyses

<i>paramètre physique</i>	ES 1	ES 2	ES3	ES 4	ES 5	ES 6
T °C	25,3	18	18	19	17	17
PH	7,6	8,44	8,06	7,46	8	7,72
Turbidité (NTU)	115	22,4	8,66	33,2	21,3	37,4
<i>paramètre chimique</i>						
Ca ⁺⁺ (méq/l)	4,64	3,19	5,04	4,79	13,92	4,64
Mg ⁺⁺ (méq/l)	7,2	30,78	22,14	20,82	13,52	21,92
[Na ⁺ +K ⁺] (méq/l)	5,52	27,35	31,13	46,96	22,9	17,95
NH ₄ ⁺ (méq/l)	0,05	0,06	0,06	0,06	0,19	0,19
Cl ⁻ (méq/l)	11,95	46,64	51,55	63,82	47,01	42,02
HCO ₃ ⁻ (méq/l)	4,8	13,6	5,92	4,56	2	2,48
SO ₄ ⁻² (méq/l)	0,61	1,07	0,81	1,71	1,33	1,65
NO ₃ ⁻ (méq/l)	0	0,01	0,03	0,02	0	0
NO ₂ ⁻ (méq/l)	0,0032	0,0005	0,0003	0,0002	0,0003	0,0009