

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



Université Abbès Laghrour-Khenchela Faculté

des Sciences De La Nature Et De La Vie

Département : Ecologie et Environnement

Mémoire de fin d'étude

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Master Académique

Domaine : Sciences De La Nature Et De La Vie

Filière : Sciences Ecologiques

Spécialité : *Ecologie Fondamentale et Appliquée*

Thème

**Les propriétés physico-chimiques des eaux de surface
et souterraines de la région de Sebket El Mahmel**

« Khenchela, Nord-Est Algérien »

Présenté par :

HARRAT Rawiya

KHERBACHE Asma

Directrice du mémoire

Dr HALIMI Samia

MCB Université Khenchela

Devant Le Jury :

Président

Dr LARBAA Rabah

MCB Université Khenchela

Examineur

Dr DAIFALLAH Tarek

MCB Université Khenchela

Juin 2018

Remerciement

*Nous tenons tout d'abord à remercier **LE DIEU** tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.*

*La première personne que nous tenons à remercier est notre promoteur **Dr. HALIMI Samia** Maitre de Conférences B pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.*

Et remerciements également aux membres du jury qui ont accepté de juger ce travail

*A notre président Monsieur **LARBAA Rabah** Maitre de Conférences B, à l'université Abbès Laghrour Khenchela, qui ma fait l'honneur d'accepter de Précéder notre travail*

*Et notre examinateur monsieur **DAIFALLAH Tarek** Maitre de Conférences B, à l'université Abbès Laghrour Khenchela, d'avoir accepté de Me faire l'honneur d'examiner ce travail*

*Nous souhaitons remercier **Dr. BOULABAIEZ Mehrez** et **Dr. BAKHA Hani** qui nous ont aidés et les conseillés durant la période du travail*

*Un remerciement spécial à la **Conservation des Forêts surtout le Service De Protection, La Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information**, et sans oublier **La Commune de El Mahmel** qui n'ont pas hésité à nous fournir diverses informations sur notre thème.*

DÉDICACE

Je rends hommage à mes grands parents et mes chers oncles : « Med Ridha », « Med Salah », « Kenzi ».

À mes chers parents : « Wahib » et « Samira », pour tous leur sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leur prières tout au long de mes études.

À mes chères sœurs « Hadjer » et « Noussa » pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

À mon cher frère « Ibrahim » pour leur appui et leur encouragement.

À celui que j'aime beaucoup et qui ma soutenue tout au long de ce projet : mon mari « chamss eddine ».

Sans oublié mes beaux parents que j'aime « tonton Borhane et tata Hamida »

À ma chère cousine et mon amie d'enfance

« Romaïssa », et mes amies.

À ma chère binôme Rawiya

Et à tous qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis MERCI.

Kherbache Asma

Dédicace

Je dédie ce modeste de travail :

*À mon cher papa **RAMDANE** et ma chère maman **SAMIA** qui je les
aime très forts et que dieu les gardes*

Source de mes joies, secrets de ma force

Papa, dans ta détermination, ta force et ton honnêteté

Maman dans ta bonté, ta patience et ton dévouement pour nous

*À mon très cher frère **Djalal** et ma petite princesse **Malak***

*Je dédie surtout à mon enseignant **Dr. LARBAA Rabah** qui m'a aidé et
m'encouragé pour faire ce travail*

*À mon binôme **Asma***

*À toute ma famille **HARRAT***

*À tout mes amis intimes : **Fadwa, Imen, Yasmine, Ahlem, Zineb,***

Insaf, Batta, Hadjer

*À mon cher ami **ZAKI** à qui m'a bien encouragé*

À tous mes collègues de promotion

*À tous ceux qui m'ont aidé et encouragé pour l'élaboration de ce
modeste travail.*

HARRAT Rawiya

Liste des Figures

Fig.01	Fonctions des zones humides, effets et perceptions (Barnaud et Fustec, 2007)	06
Fig.02	Situation géographique de l'éco-complexe de zones humides des hautes plaines de l'Est algérien	11
Fig.03	Vue aérienne de la commune d'EL Mahmel (2018)	17
Fig.04	Carte de situation géographique et administrative de la zone d'étude	18
Fig.05	Situation géographique du bassin versant de l'El Mahmel	19
Fig.06	Vue aérienne de Chott Sbikha (2018)	20
Fig.07	Carte géologique du plain D'el Mahmel	22
Fig.08	Principaux unités morphologiques de la région d'El Mahmel à partir de l'image satellitaire	23
Fig.09	Classe d'Age de la population de la commune d'El Mahmel	25
Fig.10	Répartition de population de la commune d'El Mahmel selon le sexe	25
Fig.11	Répartition générale des terres de la commune d'El Mahmel Wilaya de Khenchela (Est Algérie)	27
Fig.12	Courbe de variation des températures moyennes mensuelles (1995-2017)	29
Fig.13	Courbe de variation des températures moyennes annuelles (1995-2017)	30
Fig.14	Histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles (1995-2017)	31
Fig.15	Histogramme de variation des précipitations moyennes annuelles (1995-2017)	31
Fig.16	Carte pluviométrique de la wilaya de Khenchela	32
Fig.17	Diagramme Ombrothèrmique	33
Fig.18	Histogramme de variation de l'humidité moyenne mensuelle (1995-2017)	34
Fig.19	Histogramme de variation de l'évaporation moyenne mensuelle (1995-2017)	35
Fig.20	La vitesse Moyenne Mensuelle des Vents (1995-2017)	36
Fig.21	Position des points d'eaux a prélevé	37
Fig.22	Histogrammes de variation de température des eaux de Sebka (Février, 2018)	42
Fig.23	Histogramme de variation de la conductivité électrique des eaux de Sebka (Février 2018)	43
Fig.24	Histogramme de variation de PH des eaux de Sebka (Février 2018)	44

Fig.25	Histogramme de variation de TDS des eaux de Sebkha (Février 2018)	44
Fig.26	Histogramme de variation du Calcium des eaux de Sebkha (Février 2018)	45
Fig.27	Histogramme de variation de Magnésium des eaux de Sebkha (Février 2018)	46
Fig.28	Histogramme des variations de Sodium des eaux de Sebkha (Février 2018)	47
Fig.29	Histogramme de variation de Potassium des eaux de Sebkha (Février 2018)	48
Fig.30	Histogramme de variations des Chlorures des eaux de Sebkha (Février 2018)	49
Fig.31	Histogramme de variation des Sulfates des eaux de Sebkha (Février 2018)	50
Fig.32	Histogramme de variation des Bicarbonates des eaux de Sebkha (Février 2018)	51
Fig.33	Histogramme de variation de Brome des eaux de Sebkha (Février 2018)	51
Fig.34	Histogramme de variation de Silicium des eaux de Sebkha (Février 2018)	52
Fig.35	Histogramme de variation d'Ammonium des eaux de Sebkha (Février 2018)	53
Fig.36	Histogramme de variation des Nitrates des eaux de Sebkha (Février 2018)	54
Fig.37	Histogramme de variation des Nitrites des eaux de Sebkha (Février 2018)	54
Fig.38	Diagramme de Piper pour les eaux de sebkha	56
Fig.39	Diagramme de Berkaloff-Schoeller pour les eaux de sebkha	57
Fig.40	Histogramme de variation de température des eaux souterraines (Février 2018)	58
Fig.41	Histogramme de variation de la conductivité électrique (Février 2018)	58
Fig.42	Histogramme de variations de PH des eaux souterraines (Février 2018)	59

Fig.43	Histogramme de variation du taux des sels dissous des eaux souterraines (Février 2018)	59
Fig.44	Histogramme de variation du Calcium des eaux souterraines (Février 2018)	60
Fig.45	Histogramme de variation du Magnésium des eaux souterraines (Février 2018)	61
Fig.46	Histogramme de variation du Sodium des eaux souterraines (Février 2018)	61
Fig.47	Histogramme de variation du Potassium des eaux souterraines (Février 2018)	62
Fig.48	Histogramme de variation des Chlorures des eaux souterraines (Février 2018)	62
Fig.49	Histogramme de variation des Sulfates des eaux souterraines (Février 2018)	63
Fig.50	Histogramme des variations de Bicarbonate des eaux souterraines (Février 2018)	63
Fig.51	Histogramme de variations d'Ammonium des eaux souterraines (Février 2018)	64
Fig.52	Histogramme de variation des Nitrates des eaux souterraines (Février 2018)	64
Fig.53	Histogramme de variation des Nitrites des eaux souterraines (Février 2018)	65
Fig.54	Diagramme de Piper pour la nappe souterraine	66
Fig.55	Diagramme de Berkaloff-Schoeller pour la nappe souterraine	67
Fig.56	Courbe de corrélation Na^{+2} VS Cl^{-} des eaux de surface	68
Fig.57	Courbe de corrélation SO_4^{-2} VS Ca^{+2} des eaux de surface	69
Fig.58	Courbe de corrélation HCO_3^{-} VS Ca^{+2} des eaux de surface	69
Fig.59	Courbe de corrélation $\text{Na}^{+}/\text{Ca}^{+2}$ VS SO_4^{-2} des eaux de surface	70
Fig.60	Courbe de corrélation $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ VS HCO_3^{-} des eaux de surface	70
Fig.61	Courbe de corrélation Na^{+} VS Cl^{-} des eaux souterraines	71
Fig.62	Courbe de corrélation SO_4^{-2} VS Ca^{+2} des eaux souterraines	71
Fig.63	Courbe de corrélation HCO_3^{-} VS Ca^{+2} des eaux souterraines	72
Fig.64	Courbe de corrélation $\text{Na}^{+}/\text{Ca}^{+2}$ VS SO_4^{-2} des eaux souterraines	72

Fig.65	Courbe de corrélation $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ VS HCO_3^- des eaux souterraines	73
Fig.66	Représentation des eaux sur Diagramme de Wilcox	76
Fig.67	Représentation des eaux sur Diagramme du SAR	78
Fig.68	Cercle de l'ACP	79
Fig.69	Répartition des individus	80

Liste des Tableaux

Tab N°01	La répartition de la population d'El Mahmel	24
Tab N°02	Répartition Générale des Terres de la Commune d'El Mahmel	26
Tab N°03	Superficies des cultures irriguées de la Commune d'El Mahmel	26
Tab N°04	Mode d'irrigation des terres de la Commune d'El Mahmel	26
Tab N°05	Les données climatiques des températures moyennes mensuelles (1995-2017)	29
Tab N°06	Les données climatiques des précipitations moyennes mensuelles (1995-2017)	30
Tab N°07	Les données climatiques des précipitations et des températures moyennes mensuelles (1995-2017)	33
Tab N°08	Les données climatiques de l'Humidité moyenne mensuelle (1995-2017)	34
Tab N°09	Les données climatiques de l'Evaporation moyennes mensuelles (1995-2017)	35
Tab N°10	Les données climatiques de la vitesse moyenne mensuelle des vents (1995-2017)	35
Tab N°11	Quelque indication sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité	43
Tab N°12	Goût de l'eau avec différentes concentrations du TDS	45
Tab N°13	Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation (Méthode de SAR)	77

Liste des Photos

Photo.01	Avant l'assèchement de Sebkhet El Mahmel (2018)	13
Photo.02	Assèchement de Sebkhet El Mahmel (2018)	13
Photo.03	L'érosion dans le site Sebkhet El Mahmel (2018)	14
Photo.04	Pollution de Sebkhet El Mahmel par les rejets solides (2018)	15
Photo.05	Pollution de Sebkhet El Mahmel par les rejets liquides (2018)	15
Photo.06	L'Activité agricole dans la région d'étude (2018)	16
Photo.07	Usine de boisson (2018)	28
Photo.08	Echantillonnage d'eau sur terrain	38
Photo.09	Flacons d'eaux prélevées	38
Photo.10	Mesure de quelques paramètres sur terrain (T°, PH, CE....)	39

Liste des Matières	
Liste des Figures	
Liste des Photos	
Liste des Tableaux	
Liste des Abréviations	
Introduction Générale	01
PARTIE I : Synthèse Bibliographique	
Chapitre I : Généralités sur les Zones Humides	
I.1. Définition scientifique des zones humides	03
I.2. Définition des zones humides selon RAMSAR	03
I.3. La convention de RAMSAR	03
I.4. Critères d'identification des zones humides d'importance internationale « RAMSAR »	04
I.4.1. Groupe A des Critères (Sites contenant des types de zones humides représentatifs, rares ou uniques)	04
I.4.2. Groupe B des Critères. Sites d'importance internationale pour la conservation de la diversité biologique	04
I.4.2.1. Critères tenant compte des espèces ou des communautés écologiques	04
I.4.2.2. Critères spécifiques tenant compte des oiseaux d'eau	05
I.4.2.3. Critères spécifiques tenant compte des poissons	05
I.4.2.4. Critère spécifique tenant compte d'autres espèces	05
I.5. Les fonctions et les valeurs des zones humides	05
I.5.1. Les fonctions des zones humides	06
I.5.1.1. La fonction climatique	06
I.5.1.2. La fonction hydrologique	06
I.5.1.3. La fonction biogéochimique	07
I.5.1.4. La fonction diversité d'habitats floristique et faunistique	07
I.5.2. Les valeurs des zones humides	07
I.5.2.1. La valeur économique	07
I.5.2.2. La valeur biologique	08
I.5.2.3. La valeur touristique et récréatives	08
I.5.2.4. La valeur socioculturelle	08
I.6. Les différents types des zones humides en Algérie	08

I.6.1. Les zones humides de l'Est Algérien	11
I.7. Généralité sur les sebkhas	11
I.7.1. Définition de la sebkha	11
I.7.2. Les systèmes de sebkhas	12
I.7.3. Classification des Sebkhas	12
I.7.3.1. Classification selon le bilan hydrologique	12
I.7.3.2. Classification selon le milieu de formation	12
I.8. Menaces écologiques et environnementales (Sebkhat El Mahmel)	13
I.8.1. Les facteurs et les menaces d'origines naturelles	13
I.8.1.1. Le dessèchement du plan d'eau	13
I.8.1.2. L'érosion	14
I.8.2. Les facteurs de pression et de menaces d'origine anthropique	14
I.8.2.1. Pollution par les rejets solides et liquides	14
I.8.2.2. Exploitation croissante des ressources hydriques	15
I.8.2.3. Activités agricoles	15
I.8.2.4. La Chasse et le braconnage	16
I.9. Localisation de Sebkhet El Mahmel	17
I.9.1. Cadre général de la région d'AL Mahmel	17
I.9.2. Cadre administrative	18
I.9.3. Le cadre géographique	19
I.9.4. Le cadre géologique	20
I.9.4.1. Cadre géologique de la zone d'étude	20
I.9.5. Les unités morphologiques	23
I.9.6. Le cadre hydrographique	23
I.9.6.1. Les principaux cours d'eau drainant la zone (Chott Sbikha)	23
I.10. Aspect socioéconomique de Sebkhet El Mahmel	24
I.10.1. Population	24
I.10.1.1. La structure de la population selon groupe d'âge	24
I.10.2. L'Agriculture	25
I.10.3. L'Industrie	28
Chapitre II : Etude Hydro Climatique	
Introduction	29
II.1. La température	29

II.2. Les précipitations	30
II.3. La relation températures précipitations (Diagramme Ombrothèrmique)	33
II.4. L'Humidité	34
II.5. Evaporation	34
II.6. Le Vent	35
Conclusion	35
PARTIE II : Expérimentale	
Chapitre I : Echantillonnage	
Introduction	37
I. Localisation géographique des points de prélèvement	37
I.1. Matériels et méthodes	38
I.2. Matériel et équipement de prélèvement	40
I.2.1. Mesures et analyses de terrain	40
I.2.2. Flaconnage	40
I.2.3. Étiquetage	40
I.2.4. Stockage et transport des échantillons	41
I.3. Prélèvement dans un puits équipés	41
I.4. Prélèvement dans un plan d'eau Sebkh	41
Chapitre II : Résultats et Discussions	
II. Résultats et discussions	42
II.1. Les paramètres physique-chimiques des eaux de surface	42
II.1.1. Les paramètres physiques	42
II.1.1.1. La Température (C°)	42
II.1.1.2. La Conductivité électrique (CE)	43
II.1.2. Les paramètres chimiques	44
II.1.2.1. Le Potentielle d'hydrogène (PH)	44
II.1.2.2. Le Taux des sels dissous (TDS)	44
II.2. Variation des éléments chimiques des eaux de surface	45
II.2.1. Le Calcium (Ca²⁺)	45
II.2.2. Le Magnésium (Mg²⁺)	46
II.2.3. Le Sodium (Na⁺)	47
II.2.4. Le Potassium (K⁺)	47
II.2.5. Le Chlorure (Cl⁻)	48

II.2.6. Les Sulfates (SO_4^{-2})	49
II.2.7. Les Bicarbonates (HCO_3^-)	50
II.2.8. Le brome (Br_2)	51
II.2.9. Le Silicium (SiO_2)	52
II.3. Les indicateurs de la pollution organique	53
II.3.1. L'Ammonium (NH_4^+)	53
II.3.2. Les Nitrates (NO_3^-)	53
II.3.3. Les Nitrites (NO_2^-)	54
II.4. Détermination du faciès chimique	55
II.4.1. Digramme de Piper	55
II.4.2. Diagramme de Scheller Berkloff	57
II.5. Les eaux souterraines	58
II.5.1. Les paramètres physiques	58
II.5.1.1. La température $T(\text{C}^\circ)$	58
II.5.1.2. La conductivité électrique (CE)	58
II.5.2. Les paramètres chimiques	59
II.5.2.1. Le Potentielle d'hydrogène (PH)	59
II.5.2.2. Le Taux des Sels Dissous (TDS)	59
II.5.3. Les cations et les anions majeurs des eaux souterraines	60
II.5.3.1. Les anions	60
II.5.3.1.1. Le Calcium (Ca^{+2})	60
II.5.3.1.2. Le magnésium (Mg^{+2})	60
II.5.3.1.3. Le Sodium (Na^+)	61
II.5.3.1.4. Le Potassium (K^+)	61
II.5.3.2. Les anions	62
II.5.3.2.1. Le Chlorure (Cl^-)	62
II.5.3.2.2. Les Sulfates (SO_4^{-2})	62
II.5.3.2.3. Les Bicarbonates (HCO_3^-)	63
II.6. Les indicateurs de la pollution organique	64
II.6.1. L'Ammonium (NH_4^+)	64
II.6.2. Les Nitrates (NO_3^-)	64
II.6.3. Les Nitrites (NO_2^-)	65
II.7. Détermination du faciès chimique des eaux	65

II.7.1. Diagramme de Piper	66
II.7.2. Diagramme de Scheller Berkaloff	67
II.8. Les relations ioniques	68
II.8.1. Les eaux de surface	68
II.8.1.1. Relation Na^+ VS Cl^-	68
II.8.1.2. Relation SO_4^{2-} VS Ca^{+2}	68
II.8.1.3. Relation HCO_3^- VS Ca^{+2}	69
II.8.1.4. Relation $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ VS SO_4^{2-}	69
II.8.1.5. Relation $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ VS HCO_3^-	70
II.8.2. Eaux souterraines	71
II.8.2.1. Couple Na^+ VS Cl^-	71
II.8.2.2. Couple SO_4^{2-} VS Ca^{+2}	71
II.8.2.3. Couple HCO_3^- VS Ca^{+2}	71
II.8.2.4. Couple $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ VS SO_4^{2-}	72
II.8.2.5. Couple $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ VS HCO_3^-	73
II.9. Aptitude des eaux à l'irrigation	74
II.9.1. Aptitude des eaux de la plaine d'El Mahmel à l'irrigation	74
Introduction	74
II.9.1.1. Risque de sodalité et de salinité	74
II.9.1.1.1. Calcul des paramètres des eaux à usage agricole	74
II.9.1.1.2. Résultats et discussions	76
II.10. Analyse en composantes principales	78
II.10.1. Résultats et interprétations	79
Conclusion	80
Conclusion	81
Annexe	
Les Références Bibliographiques	
Résumé	
Abstract	
ملخص	

Liste des Abréviations

DSASI	Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information
OMS	Organisation mondiale de la santé
U.E	Union Européennes
ES	Eaux de surface
P	Puits
EVP	Évaporation
Fig	Figure
Tab	Tableau
mg	milligramme
L	litre
méq	milliéquivalent

Introduction Générale

Les zones humides constituent des complexes écologiques de par le monde, bénéficiant de grandes richesses et diversité faunistique et floristique ainsi qu'un taux d'endémisme assez élevé.

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 considérable mais qui reste, cependant peu connus. Ces milieux jouent un rôle crucial comme zone d'hivernage mais également de « Stop-over », étape ultime avant la traversée du Sahara et de reproduction des oiseaux. L'un de ces habitat est le complexe des zones humides des Hauts plateaux du Constantinois qui renferme une vingtaine de site d'importance variable dispersés sur 150 km d'Est en Ouest, repartis principalement entre trois wilaya à savoir Khenchela, Batna et Oum El-Bouaghi

Les principaux facteurs de menaces de zones humides sont les assèchements, le plus souvent au profit de pratiques agricoles, les pollutions : rejets des eaux usées (domestiques et industrielles), résidus de pesticides et autres

L'irrigation par des eaux très chargées en sels soluble et l'intensification de la production agricole avec les recours à l'usage massif des pesticides et de fertilisants, peut engendrer la dégradation de la qualité des eaux souterraines, et les eaux de surface surtout avec l'insuffisance du lessivage naturel en période estivale dans les zones semi-arides.

Les recherché scientifiques menées sur l'hydrochimie des eaux souterraines sont d'un grand intérêt. La région d'étude (la plaine d'El Mahmel) se situe à l'Est de la Wilaya de Khenchela (Est d'Algérie). Cette plaine s'étale sur une superficie de 371 km².

La zone humide de Sebket El Mahmel (Wilaya de Khenchela) couvrant 1.290 hectares, est un lac salé allongé, divisé à plusieurs séries d'unités, dont deux sont les principaux, connus sous le nom de Sebket Ouled Amara (340 ha) et Sebket Ouled M'barek (950 ha).

Sebket Ouled Amara, comme toutes les zones humides des hauts plateaux du Constantinois, constitue un écosystème essentiel pour la biodiversité, En effet, c'est un lieu d'hivernage pour l'avifaune aquatique et une aire de stationnement pour nombreux oiseaux migrants.

L'objectif de ce travail est de faire une caractérisation physico - chimique des eaux superficielles et souterraines et d'étudier l'influence de la pollution des eaux de sebkha sur les eaux souterraine. Et aussi de déterminer l'origine de la pollution des eaux de la plaine d'El Mahmel en utilisant quelques rapports caractéristiques pour achever aux objectifs on a suis ce plan de travail :

PARTIE I : c'est une synthèse bibliographique qui représente des définitions et concepts généraux sur les zones humides, les types de sebkha, et une étude générale des caractéristiques géologiques, hydrologiques et caractéristique climatologiques.

PARTIE II : c'est la partie expérimentale qui a pour but de définir les faciès chimiques des eaux souterraines et de surface, caractérisation physico-chimique de eaux de la plaine d'El Mahmel et la détermination de l'origine de la pollution des eaux en utilisant les rapports caractéristique.

Introduction

Le climat est une composante directe et déterminante sur la distribution spatiale des espèces vivants est un facteur primordial influent sur l'activité des biocénoses.

Nous avons pris les données issus de la station météorologique d'EL Hamma pour l'étude climatique parce que la commune d'EL Mahmel ne dispose pas de station météorologique, et nous admettons la validité des valeurs de la station d'EL Hamma pour représenter la zone d'étude, vue sa proximité avec la région d'étude et dont l'altitude est peu évoquant et qui est d'environ 80 mètres.

II.1. La température

La température est l'un des éléments important pour la caractérisation du climat. (Ramade, 1984), (Dajoz, 1985)

En effet, la température joue un rôle important dans la répartition des êtres vivants, leurs aires de répartition sont souvent déterminées par ce paramètre qui est considéré comme facteur limitant. (Dajoz, 1985)

Tab N°05: Les données climatiques des températures moyennes mensuelles (1995-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
T°	21,24	17,15	11,04	7,36	6,38	7,07	10,24	13,66	18,48	23,35	26,89	26,18

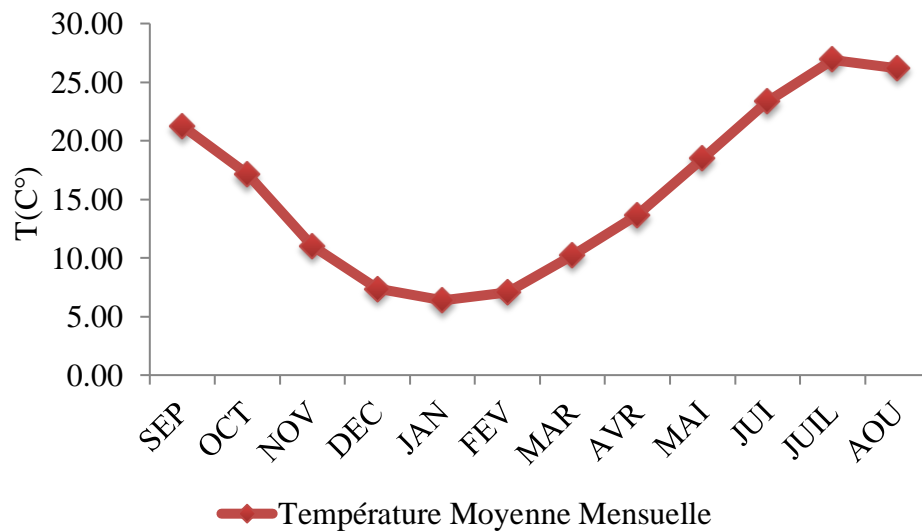


Fig.12: Courbe de variation des températures moyennes mensuelles (1995-2017)

(Station de météorologique d'El Hamma, 2018)

D'après les données de température, nous relevons que dans la zone d'étude, le mois le plus froid s'avère être janvier avec une moyenne de 6,38°C. Ces valeurs indiquent l'existence des gelées dans la zone d'étude, enregistré pour une période de trois mois (Déc, Jan et Fév.). Tandis que le mois de juillet s'avère être le plus chaud avec une moyenne de 26,89°C (Fig.12).

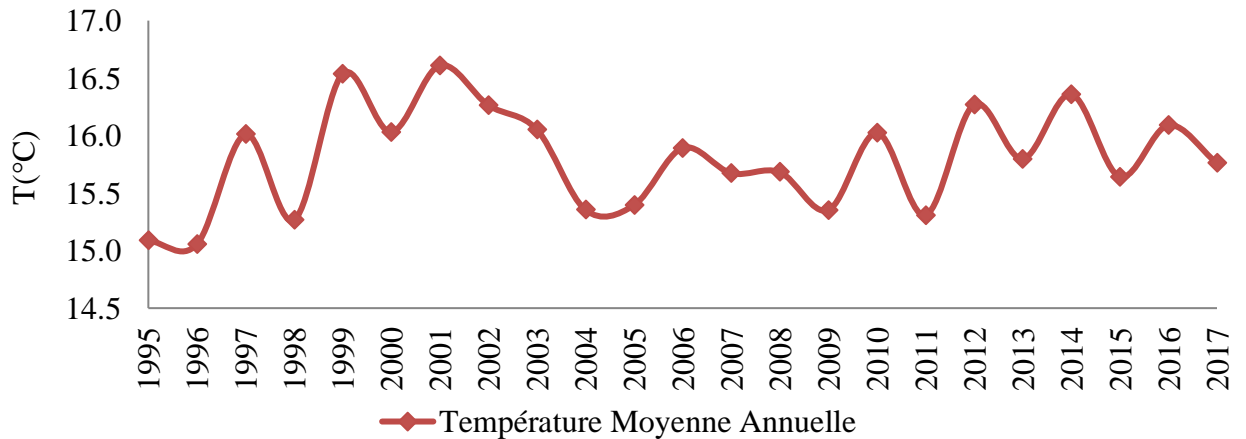


Fig.13: Courbe de variation des températures moyennes annuelles (1995-2017)

(Station de météorologique d'El Hamma, 2018)

D'après ces résultats l'année qui est caractérisée par des températures élevée c'est-à-dire l'année la plus chaude 2016 avec 16,9°C l'année qui est caractérisée par des températures faible c'est-à-dire l'année la plus froide c'est 1995 avec 15,1°C. (Fig.13).

II.2. Les précipitations

Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale l'alternance de la saison des pluies et la saison sèche, qui joue un rôle de régulateur des activités biologique. (Ramade, 1984).

Tab N°06: Les données climatiques des précipitations moyennes mensuelles (1995-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
P° (mm)	54,74	39,71	37,16	37,5	45,03	30,6	41,93	46,06	56,17	29,92	15,17	36,08

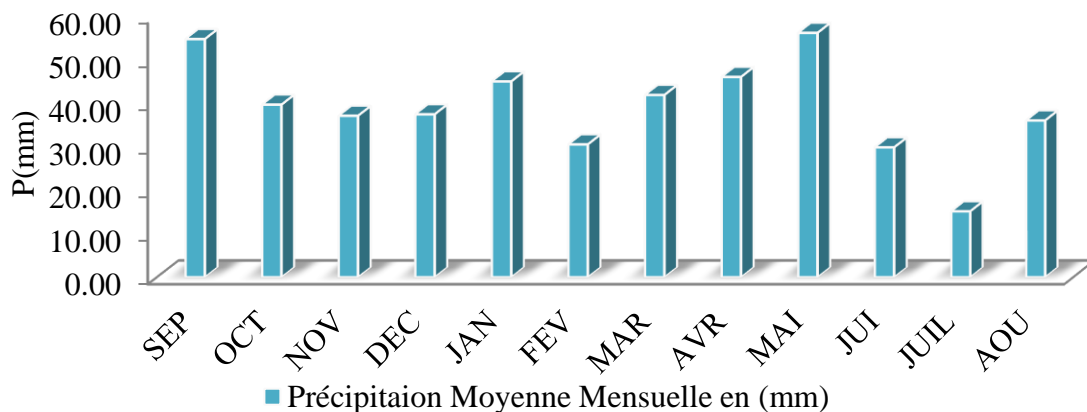


Fig.14: Histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles (1995-2017)

(Station de météorologique d'El Hamma, 2018)

Les données pluviométriques montrent que le mois le plus pluvieux est ce de Mai et le plus arrosé avec une moyenne de 56,17mm. Juillet étant le mois le plus sec avec une moyenne de 15,17mm. (Fig.14).

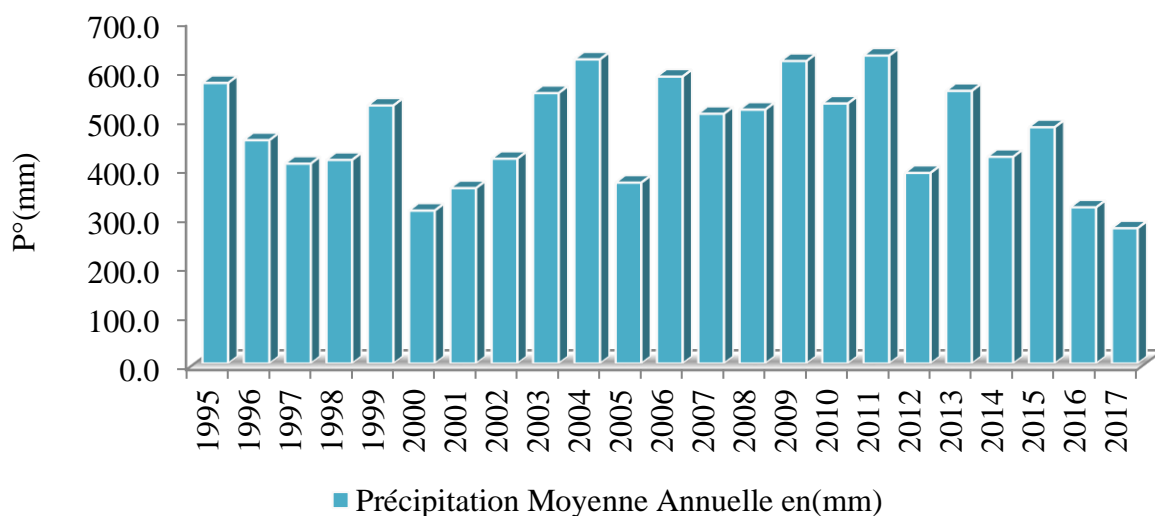


Fig.15: Histogramme de variation des précipitations moyennes annuelles (1995-2017)

(Station de météorologique d'El Hamma, 2018)

Les données pluviométriques dans le tableau montrent que, l'année la moins pluvieuse 2017 avec 276,0mm cependant les quantités les plus élevées sont observées à l'année 2011 avec 626,3mm. (Fig.15).

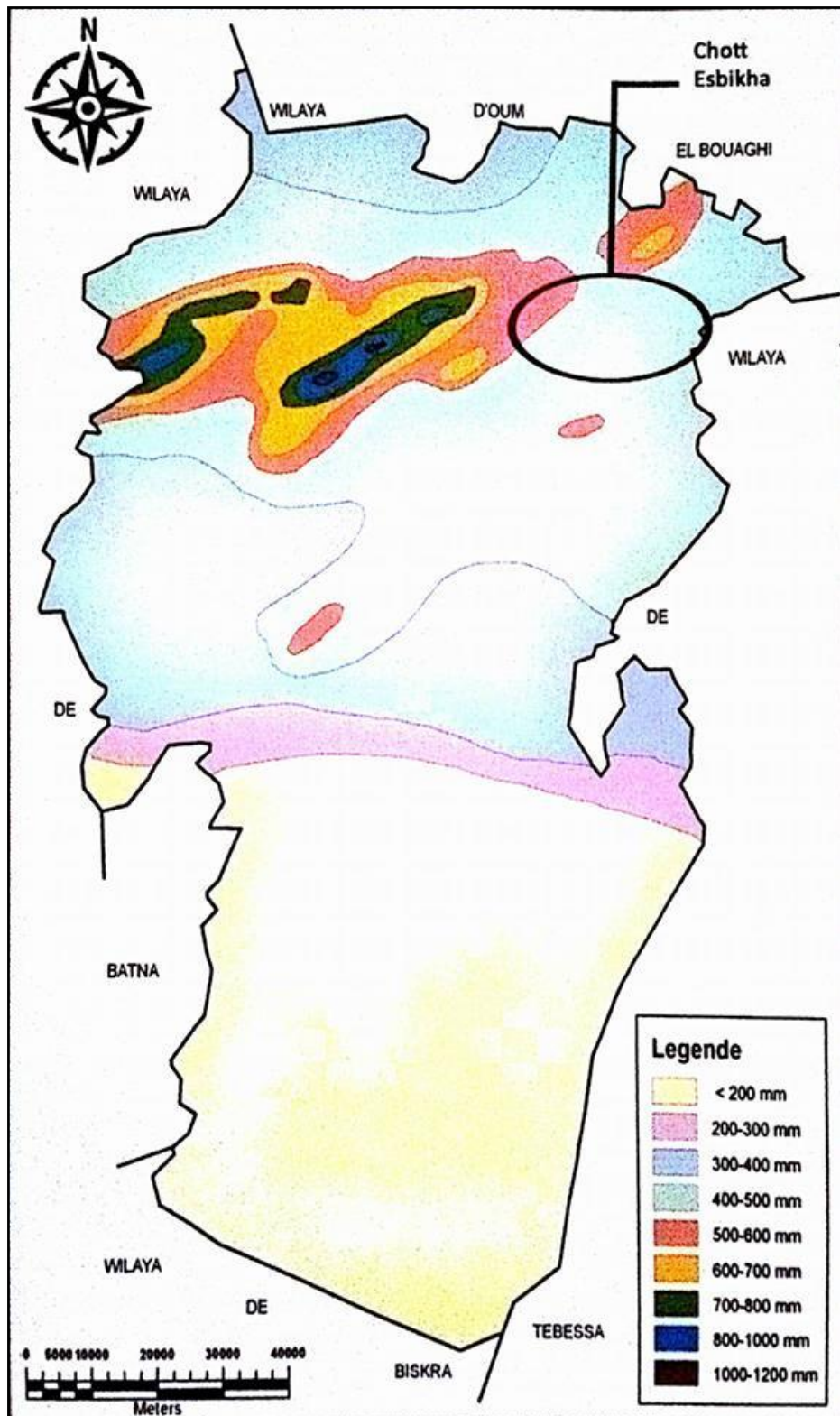


Fig.16: Carte pluviométrique de la wilaya de Khenchela

(Station de météorologique d'El Hamma, 2018)

II.3. La relation températures précipitations (Diagramme Ombrothèrmique)

Il constitue un type de représentation très utilisé pour comparer les climats, en considérant qu'un mois est sec quand le total des précipitations exprimé en mm est égal ou inférieur au double de la température exprimée en degrés Celsius. Les périodes d'aridité sont celles durant lesquelles la courbe pluviométrique est au-dessous de la courbe thermique. (Mebareki, 2005)

Tab N°07: Les données climatiques des précipitations et des températures moyennes mensuelles (1995-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
P (mm)	54,74	35,71	37,16	37,5	45,03	30,6	41,93	46,06	56,17	29,92	15,17	36,08
T (C°)	21,24	17,15	11,04	7,36	6,38	7,07	10,24	13,66	18,48	23,35	26,89	26,18

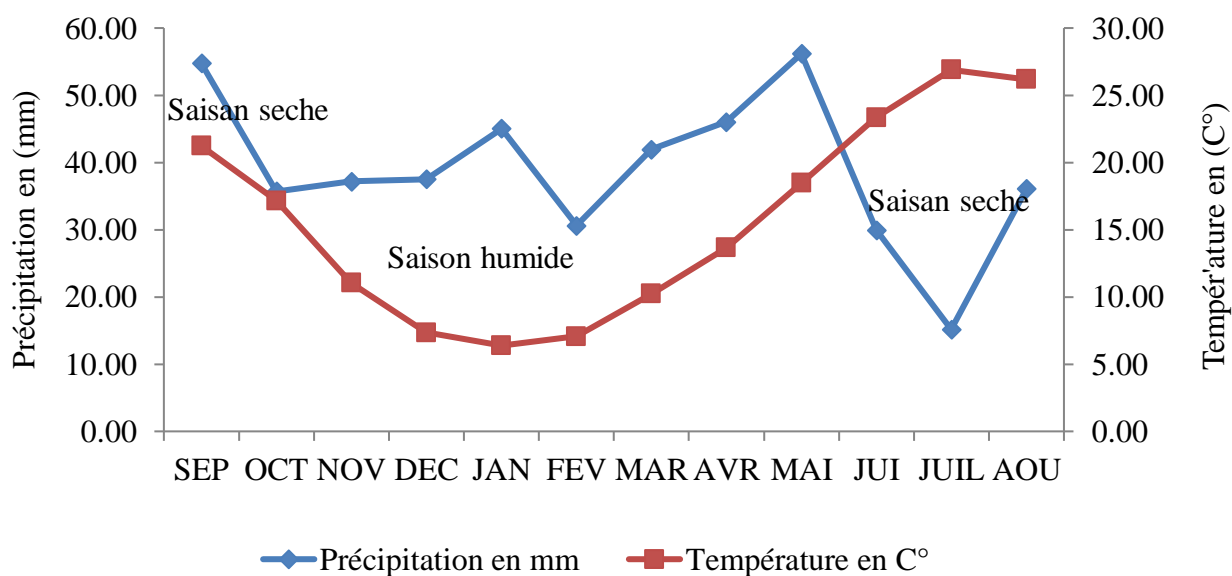


Fig.17: Diagramme Ombrothèrmique (Station de météorologique d'El Hamma, 2018)

La courbe Ombrothèrmique détermine deux saisons, l'une humide est s'étale du mois d'Oct jusqu'au mois de Mai et la seconde sèche s'étale du mois de Juil au mois d'Oct. (Fig.17)

II.4. L'Humidité

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**). L'humidité relative à l'air est un élément dont la mesure correcte demande plus besoins que celle de la température.

Tab N°08: Les données climatiques de l'Humidité moyenne mensuelle (1995-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
H° %	55,35	60,74	65,47	75,46	70,69	65,51	58,09	59,02	52,44	45,75	37,59	41,31

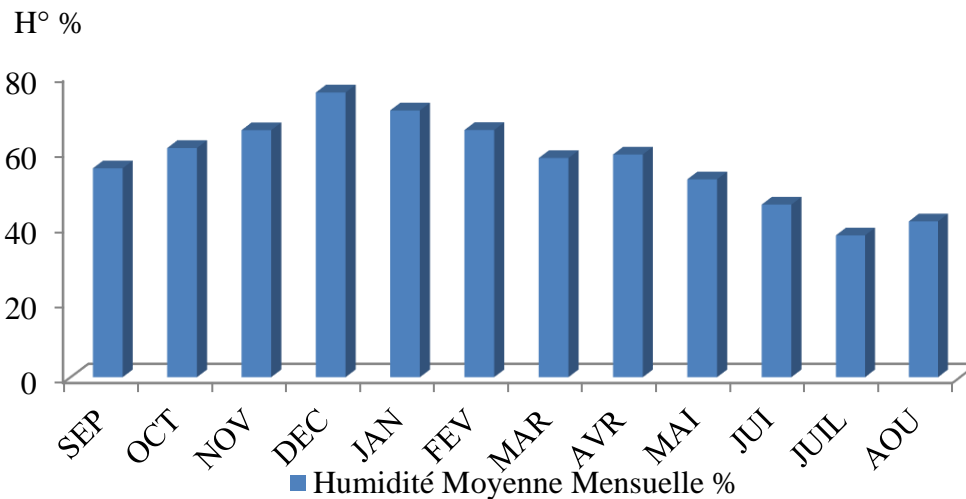


Fig.18: Histogramme de variation de l'humidité moyenne mensuelle (1995-2017)
(Station de météorologique d'El Hamma, 2018)

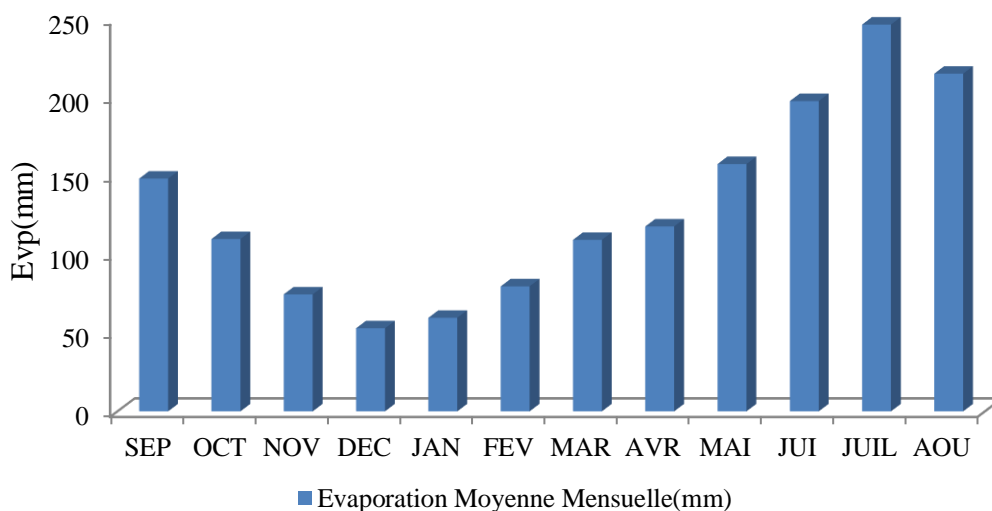
Les données hydro climatiques montrent que le pourcentage le plus élevé est enregistré durant le mois de Décembre avec 75,46% ce qui explique qu'il est le mois le plus humide, alors que le pourcentage le plus faible est enregistré durant le mois de juillet avec 37,59 %. (Fig.18).

II.5. Evaporation

L'évaporation est la restitution de l'eau par l'atmosphère sous forme de vapeur à partir de la surface du sol, quelle que soit sa nature (Sol, végétaux, eau libre). Elle est donc un élément très important pour l'établissement du bilan hydrologique, et dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal. (**Gaagai, 2009**).

Tab N°09: Les données climatiques de l'Evaporation moyennes mensuelles (1995-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
Evap (mm)	148,66	110,26	75,03	53,3	60,03	80,17	109,73	118,26	157,93	197,93	246,56	215,33

**Fig.19:** Histogramme de variation de l'évaporation moyenne mensuelle (1995-2017)
(Station de météorologique d'El Hamma, 2018)

L'évaporation moyenne varie d'un mois à l'autre. La valeur maximale est enregistrée en Juillet avec une moyenne de mm et 246,56 mm la valeur minimale est enregistrée en Décembre avec une moyenne de 53,3 mm (Fig.19).

II.6. Le Vent

Les vents sont en liaison étroite avec la pression atmosphérique, influent sur la Température, l'Humidité, l'activité d'évapotranspiration. Le vent possède un rôle important dans le développement de la végétation, mais il provoque le dessèchement de la végétation et accentuer le degré d'érosion éolienne.

Tab N°10: Les données climatiques de la vitesse moyenne mensuelle des vents (1995-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
Vitesse du Vent m/s	3,17	3,05	3,55	3,33	3,69	3,99	4,44	3,78	3,54	3,49	3,12	3,01

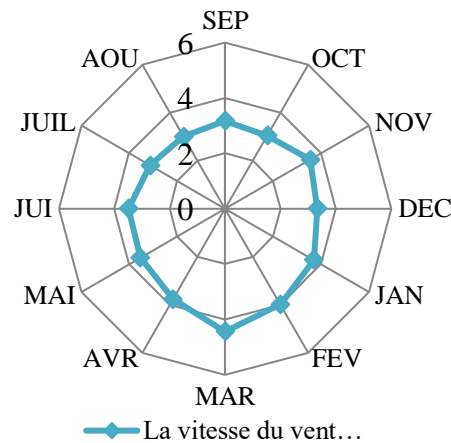


Fig.20: La vitesse Moyenne Mensuelle des Vents (1995-2017) (Station de météorologique d'El Hamma, 2018)

Conclusion

On conclut que La température, la précipitation, l'évaporation, sont des facteurs climatiques nous pouvons les étudier par l'étude climatologique, nous obtenons des résultats sur ces différents facteurs durant la période qui se situe entre « 1995-2017 ».

Le climat semi –aride est caractérisé par des faibles précipitations (pluviométrie comprise entre 200et 400) où l'évaporation excède souvent les précipitations, ces faibles quantité est considérés insuffisantes pour y maintenir les cultures.

- ❖ La pluviométrie avec une moyenne de 470,16 mm, qui régit le régime des eaux souterraines et superficielles, se caractérisé par des précipitations irrégulières durant toute l'année.
- ❖ La température moyenne est de l'ordre de 15,87 C°, qui ne cesse d'augmenter.
- ❖ L'évaporation moyenne est de l'ordre de 1573,38 mm, qui ne cesse de diminuer au cours des années.

Introduction

La qualité des eaux de Sebkhha et Souterraines de la commune d'El Mahmel a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets liquides (eaux usées non traités) et solides (Décharges sauvages) non contrôlés, l'utilisation des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Les activités agricoles modernes génèrent des déchets chargés en éléments polluants. L'accumulation de ces éléments dans les formations superficielles (sols et sédiments et eaux) en teneurs élevées, entraîne automatiquement grâce aux phénomènes qui accompagnent l'infiltration des eaux de pluie et superficielles, la contamination des eaux souterraines, l'eutrophisation des eaux de surface. Tous ces facteurs anthropiques rendent les eaux souterraines très vulnérables aux pollutions.

I. Localisation géographique des points de prélèvement

Les prélèvements ont été faits sur 13 points d'eau : (Fig.21)

09 échantillons faits sur les eaux de sebkhha.

04 échantillons prélevés à partir des puits qui entourent Sebkhha

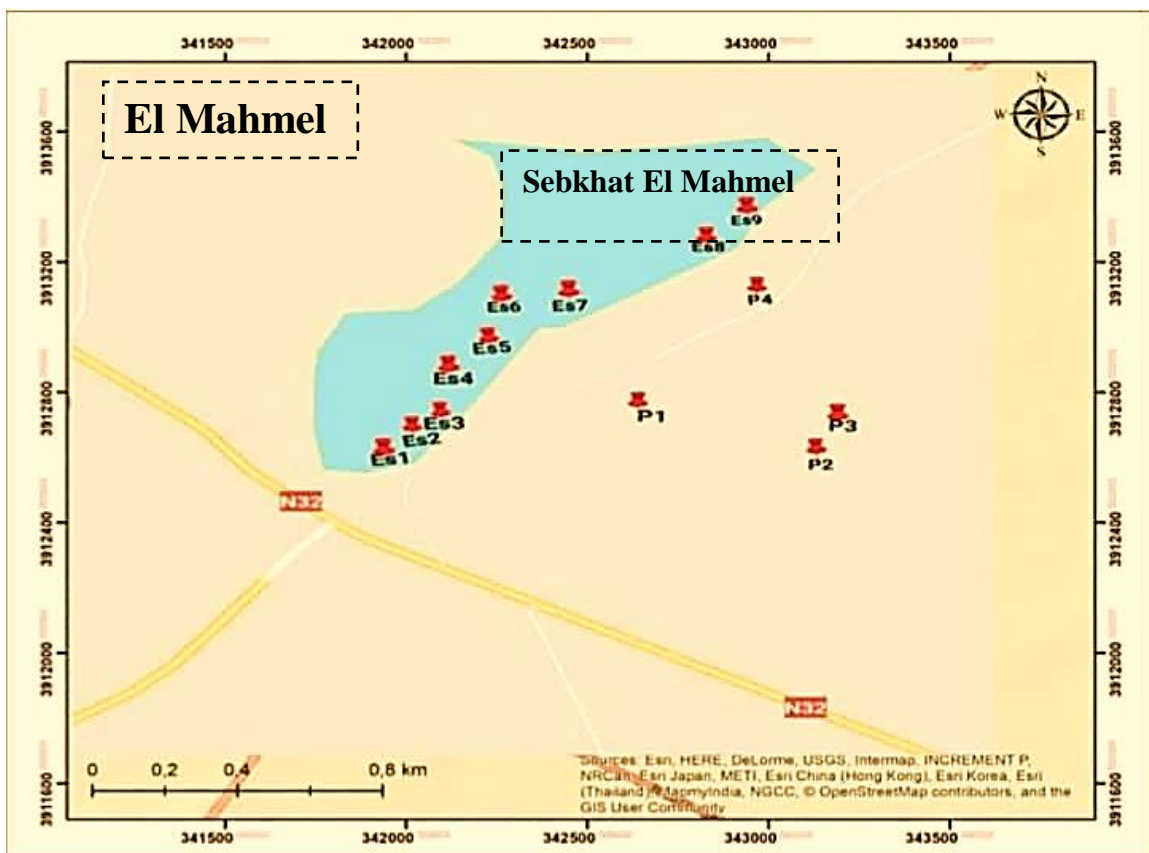


Fig.21 : Position des points d'eaux a prélevé

I.1. Matériels et méthodes



Photo.08: Echantillonnage d'eau sur terrain



Photo.09: Flacons d'eaux prélevées

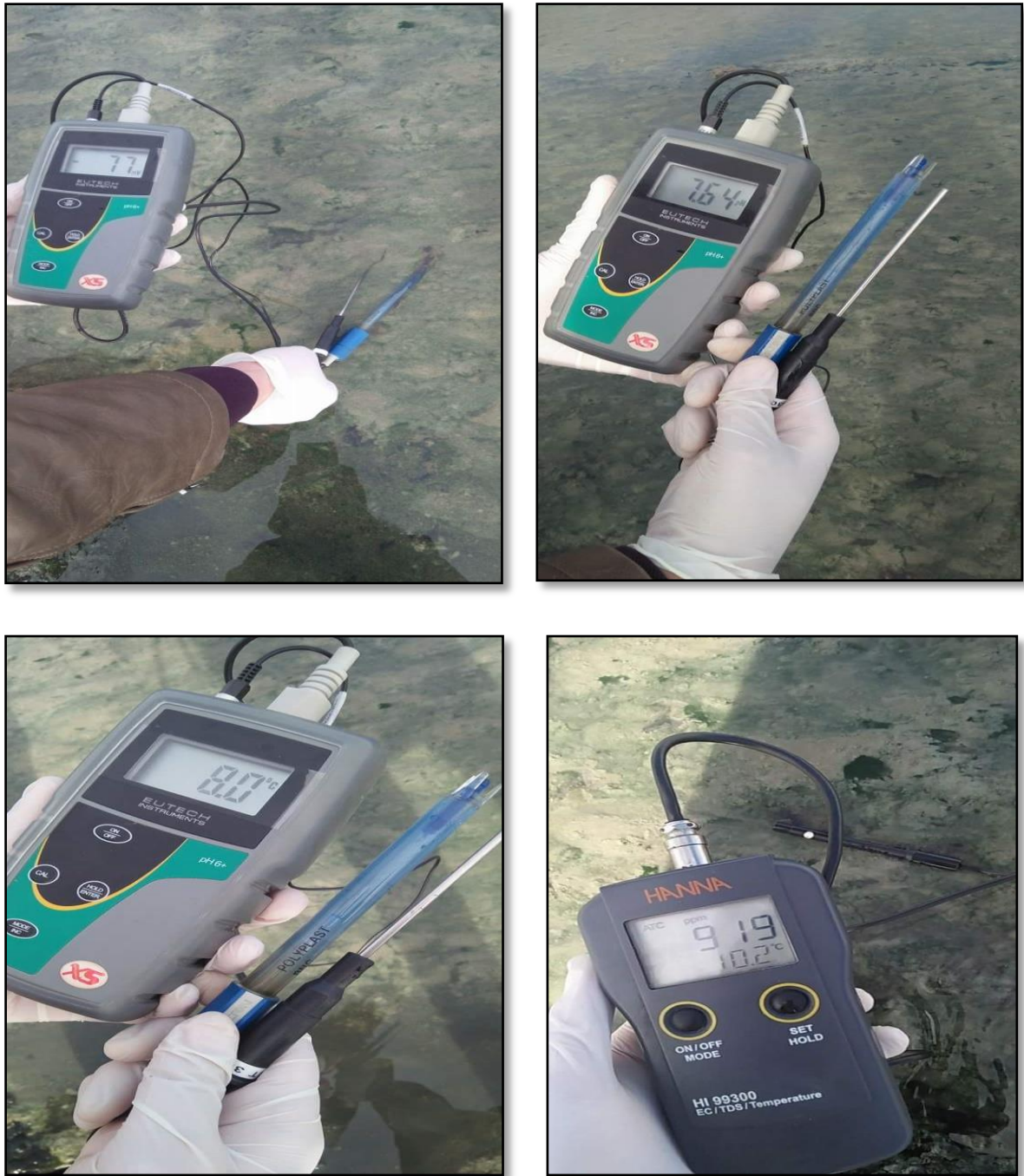


Photo.10 : Mesure de quelques paramètres sur terrain (T° , PH, CE....)

Le but de notre échantillonnage d'une eau est de fournir, pour l'analyse, un échantillon représentatif de son milieu.

Cette opération est nécessaire et nous renseigne sur la conduite à tenir et les précautions à prendre pour maîtriser chaque phase de l'échantillonnage (préparation de la campagne d'échantillonnage, prélèvement, conditionnement et stockage de l'échantillon).

Pour réaliser l'échantillonnage on a préparé le matériel du prélèvement, le conditionnement de l'échantillon, ainsi que son stockage jusqu'au moment où l'eau est analysée, le suivi de ces étapes est important pour assurer la fiabilité des résultats d'analyse et éviter la couche superficielle pour l'échantillonnage des eaux de surface.

Il existe deux méthodes de prélèvement d'eau :

- une méthode **manuelle**.
- une méthode **automatique**.

On choisit la méthode manuelle dans notre échantillonnage.

I.2. Matériel et équipement de prélèvement

I.2.1. Mesures et analyses de terrain

On a mesuré simplement, rapidement C'est le cas typique de la température, de la conductivité électrique, du pH, et de l'oxygène dissous.

Le résultat de la mesure doit être connu rapidement afin de diriger des travaux en cours. Ces résultats nous permettent de détecter immédiatement certaines anomalies de la composition de l'eau (élévation inhabituelle de la minéralisation par exemple, changement de la température des eaux)

I.2.2. Flaconnage

Pour l'analyse des cations et des anions majeurs, on a utilisé des flacons en PE (plastic). On a rincé 3 fois les flacons et les bouchons avec l'eau à prélever avant les remplir.

I.2.3. Étiquetage

La désignation des échantillons est une opération délicate, qui doit être réalisée avec le plus grand soin. Elle se traduit dans la pratique par l'étiquetage ou le marquage de chaque flacon d'échantillon d'eau. Il est indispensable de repérer l'ensemble des récipients contenant les échantillons de façon claire et durable afin de permettre leur identification sans ambiguïté au laboratoire.

Les flacons doivent être clairement identifiés à l'aide d'étiquettes adhésives indiquant :

- Le numéro de l'échantillon (unique pour la campagne d'échantillonnage),
- Le nom / N° du point de prélèvement,
- La date et l'heure du prélèvement,
- L'organisme de prélèvement.
- Les coordonnées du point de prélèvement
- Le laboratoire d'analyse
- Type d'analyse à faire ou de paramètre à mesurer

Etiquetage complet (exemple d'étiquette)

- **Station :** La Commune d'EL Mahmel.
- **Site :** Sebkheth El Mahmel.
- **Date :** 21/02/2018 **Heure :** 9h jusqu'à 12h.
- **Origine de l'eau :** Plusieurs origines différentes : (Roche, eau usée, etc.....).
- **Nom du préleveur :** HARRAT Rawiya et KHERBACHE Asma.
- **Analyses à effectuer :** Analyses physico –chimique.
- **Conservateur :** On a utilisé une glacière pour conserver les échantillons.

I.2.4. Stockage et transport des échantillons

Dans notre travail, on a respecté plusieurs principes généraux suivants :

- 1/ On a placé notre échantillonnage dans une glacière qui permet de le maintenir au frais et qui le préserve totalement de la lumière, des poussières des salissures.
- 2/ On a pris attention que la température ne doive pas dépasser celle de l'aquifère d'où il provient.
- 3/ On a fait le transport de l'échantillon au laboratoire dans le plus bref délai.
 - au laboratoire, on a conservé les échantillons au réfrigérateur entre 3°et 5°.
 - on a enregistré dans le protocole d'échantillonnage toutes les conditions de stockage et de transport jusqu'à la prise en charge de l'échantillon par le laboratoire.

I.3. Prélèvement dans un puits équipés

Le prélèvement d'eau des puits équipés de pompe nécessite un équipement simple qui sera adapté aux précautions générales d'échantillonnage. Nous laissant l'eau contenue dans les conduites s'écouler pendant 5 à 10 mn, attendant l'arrivée d'eau nouvelle, sentir et apprécier son odeur et sa fraîcheur, prélever l'échantillon.

I.4. Prélèvement dans un plan d'eau Sebkhha

- On a plongé le flacon de plastic sous le plan d'eau jusqu'à à son remplissage, refermer le flacon sous l'eau en éliminant toute bulle d'air.
- On veillera à remplir complètement les flacons et à les boucher de manière à ce qu'il n'y ait pas d'air au-dessus de l'échantillon pour éviter les interactions possibles avec la phase gazeuse (oxydation par l'oxygène dissous, absorption du gaz carbonique, passage en phase vapeur...).

II. Résultats et discussions

Dans cette partie on tente à atteindre nos objectifs qui concernent la détermination de l'évaluation de qualité physique et chimique des eaux et connaître l'origine de pollution, La première consiste à que la pollution est due principalement à l'utilisation des engrais chimiques et les eaux usées. Et la deuxième, plus liée au contexte hydrogéologique de la région. Pour tester les hypothèses et aussi la validité des résultats ci-dessus il faut utiliser les différents diagrammes.

II.1. Les paramètres physique-chimiques des eaux de surface

II.1.1. Les paramètres physiques

II.1.1.1. La Température (C°)

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (**Chapman D, Kimstach V, 1996**).

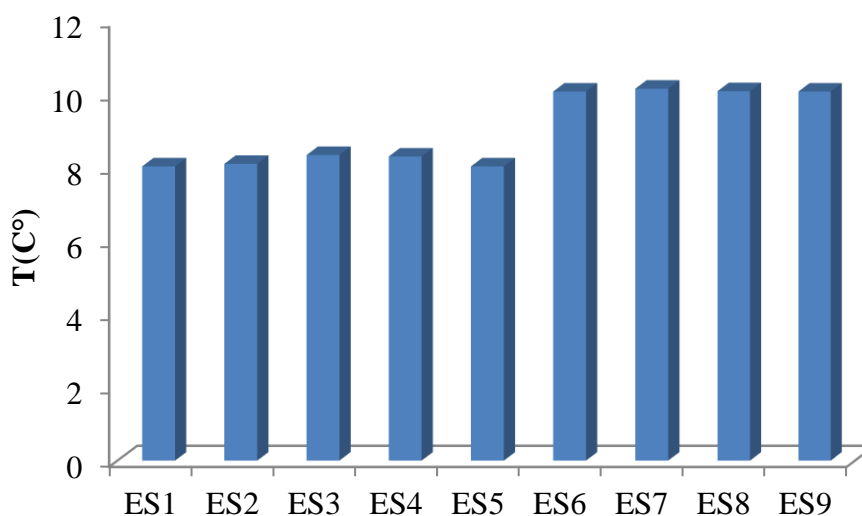


Fig.22: Histogrammes de variation de température des eaux de Sebkhah (Février, 2018)

Dans la zone d'étude, la température a présenté une petite variation d'un point à un autre (Fig.22) avec un minimum de 8,03 °C (ES1, ES5) et un maximum de 10,5 °C (ES6, ES7, ES8, ES9).

II.1.1.2. La Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau. Par conséquent, la conductivité électrique renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau. (**Khattach D et al, 2015**).

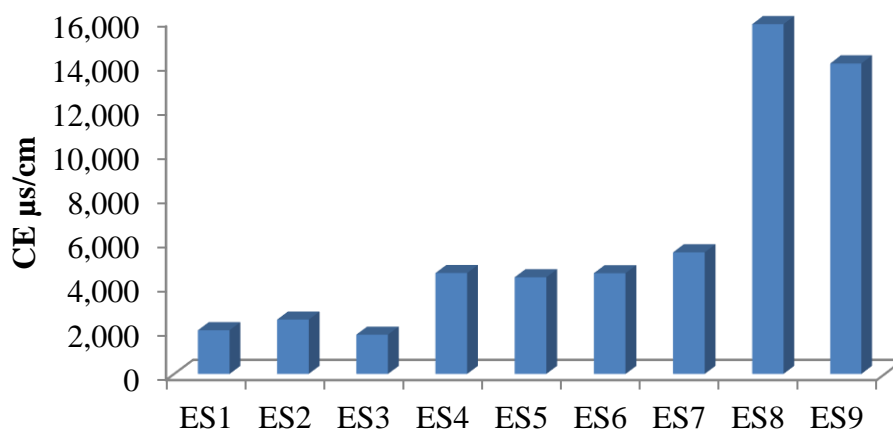


Fig.23: Histogramme de variation de la conductivité électrique des eaux de Sebkhia (Février 2018)

Les eaux des points contrôlés sont minéralisées (Fig.23), avec des valeurs qui oscillaient entre un minimum 1789 µS/cm (ES3) et 15820µS/cm (ES8). La conductivité augmente lorsque la température s'accroît (Evaporation, Evapotranspiration), de ce fait on possède toujours une correction par rapport à une température de référence (20°C ou 25°C).

Tab N°11: Quelques indications sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité. (Ammouche F, 2013)

Conductivité (µS /cm)	Minéralisation
Conductivité <100	Minéralisation très faible
Conductivité <200	Minéralisation faible
Conductivité <300	Minéralisation moyenne
Conductivité <600	Minéralisation moyenne accentuée
Conductivité <1000	Minéralisation importante
Conductivité >1000	Minéralisation élevée

II.1.2. Les paramètres chimiques

II.1.2.1. Le Potentielle d'hydrogène (PH)

Le pH de l'eau renseigne sur son acidité et son alcalinité. Selon (Nisbet E.G. et Verneau O, 1970), le pH des eaux naturelles est généralement compris entre 6,6 à 7,8 et selon (Rodier J, 1984). Habituellement, les valeurs du pH se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles (Chapman D, Kimstach V, 1996).

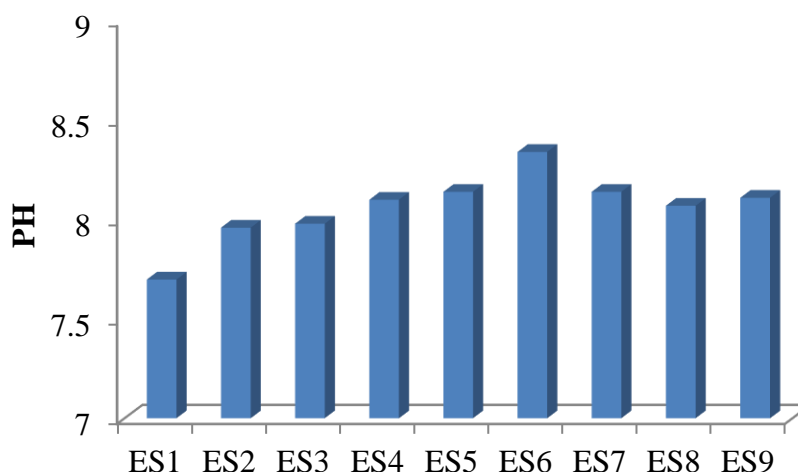


Fig.24: Histogramme de variation de PH des eaux de Sebka (Février 2018)

Le pH des eaux analysées varie entre 7,7 (ES1) et 8,34 (ES6). Les valeurs ne dépassent pas la norme requise pour les eaux de consommation (6,5- 8,5) (OMS, 2003). (Fig.24)

II.1.2.2. Le Taux des Sels Dissous (TDS)

Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques.

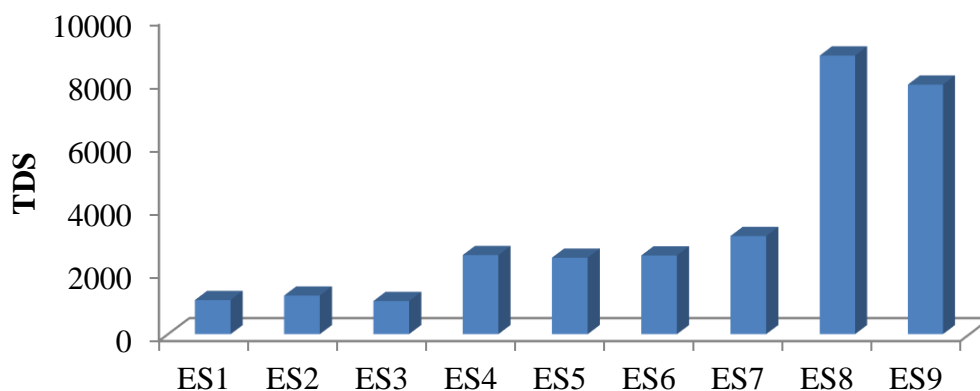


Fig.25: Histogramme de variation de TDS des eaux de Sebka (Février 2018)

Comme pour la conductivité, les valeurs mesurées du TDS et de salinité indiquent un taux très élevée des sels dissous, varie entre 1051mg/l et 8814 mg/l, les valeurs basses sont aux niveaux des points ES1, ES2, ES3, contrairement les valeurs très élevé enregistrées aux niveaux des points (ES8 (8814), ES9 (7897)). Cela est lié à la nature des terrains traversés riches en sels minéraux, induisant une forte minéralisation de l'eau. (Fig.25)

Les mesures du TDS de ces sources nous permettent de les classer selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2003) comme suit :

Tab N°12: Goût de l'eau avec différentes concentrations du TDS

Niveau de TDS en mg/l	Evaluation	Point
Moins de 300	Excellent	-
300 – 600	Bien	P2
600 – 900	Passable	P1
900 - 1200	Faible	(ES1-ES2)
Plus de 1200	Inacceptable	(ES3-ES4-ES5-ES6-ES7- ES8-ES9-P3-P4)

II.2. Variation des éléments chimiques des eaux de surface

II.2.1. Le Calcium (Ca^{+2})

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux). (**Rodier J, et al, 2009**)

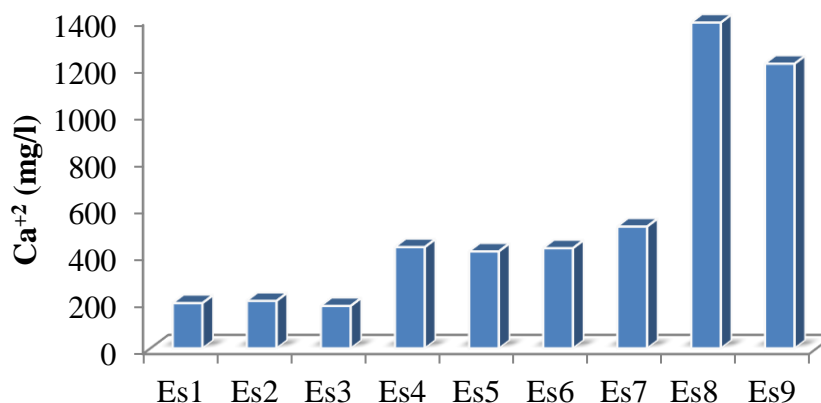


Fig.26: Histogramme de variation du Calcium des eaux de Sebkhah (Février 2018)

Les teneurs en calcium des eaux contrôlées varient entre 180.44mg/ l jusqu'à 1385.92mg/l.

Les concentrations basses sont aux niveaux des points : ES1, ES2, ES3, ES4, ES5, ES6, ES7 contrairement les teneurs élevées sont observées aux niveaux des points : ES8, ES9.

Les teneurs élevées en calcium pourraient être attribuées à la dissolution de la calcite ainsi que d'autres minéraux calciques tels que le gypse. Ces résultats dépassent les normes (70 mg/l) (OMS, 2003). (Fig.26).

II.2.2. Le Magnésium (Mg^{+2})

La majorité des eaux naturelles contiennent généralement une petite quantité de magnésium, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (Calcaires dolomitiques) :

$MgCO_3 \rightarrow Mg^{+2} + CO_3^{-2}$, dolomies : $Ca Mg(CO_3)_2 = Mg^{+2} + Ca^{+2} + 2(CO_3^{-})$ du Jurassique ou du Trias moyen). Il provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes et de la mise en solution du magnésium sous forme de carbonates et bicarbonates (Bermond R et Perrdon C, 1979). Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle (chimie de la potasse, alliages, pyrotechnie, batteries sèches, réducteur chimique, etc.) font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes, allant de quelques milligrammes à, quelque fois plusieurs centaines de milligrammes par litre. (Rodier, 2009)

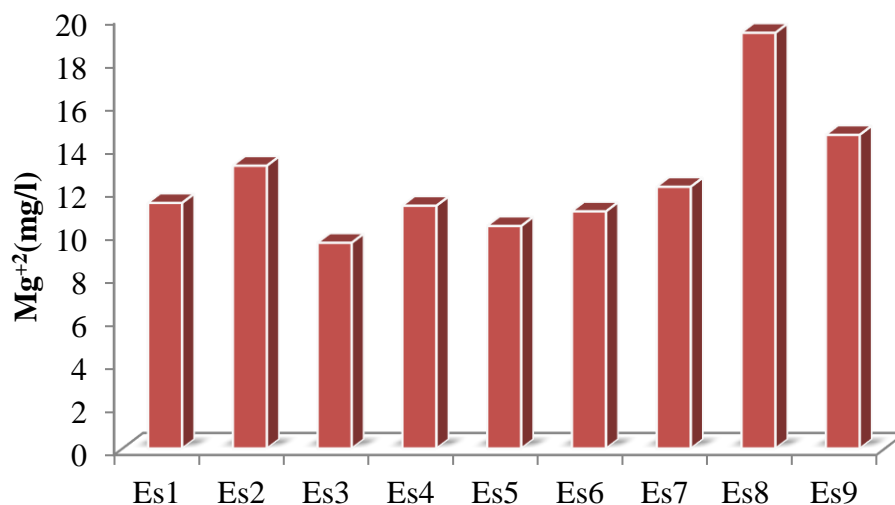


Fig.27: Histogramme de variation de Magnésium des eaux de Sebkhah (Février 2018)

Dans les points d'eau analysés, les teneurs en magnésium variaient entre 9.53mg/l et 19.28mg/l. Les teneurs les plus basses sont aux niveaux des points : ES3, ES5, ES6, mais les autres points sont moyennes à cause de contact des eaux avec les roches calcaires. Ces résultats ne dépassent pas les normes (50 mg/l) (OMS, 2003). (Fig.27).

II.2.3. Le Sodium (Na^+)

Le sodium est un élément dit conservatif car une fois en solution, aucune réaction ne permet de l'extraire de l'eau souterraine. Les précipitations apportent une quantité de sodium minime dans l'eau souterraine, les teneurs anormalement élevées peuvent provenir du lessivage de sels, ou de la percolation à travers des terrains salés ou de l'infiltration d'eaux saumâtres (Bermond R et Perrdon C, 1979), (Rodier J, *et al*, 2009)

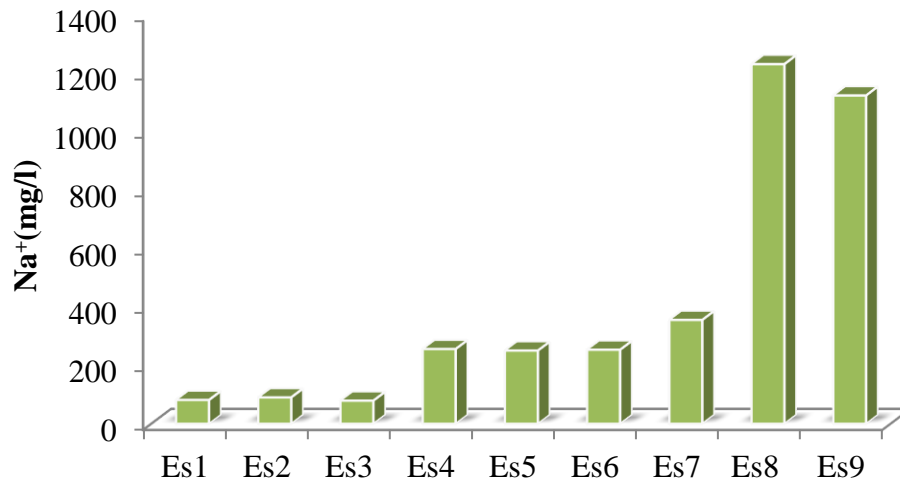


Fig.28: Histogramme des variations de Sodium des eaux de Sebka (Février 2018)

L'analyse des échantillons montre que les teneurs varient entre 81,5 mg/l et 1231,4 mg/l.

La majorité des valeurs concernant le Sodium dépassent les normes (150 à 200 mg/l) (OMS, 2003). (Fig.28)

Les valeurs max sont enregistrées aux niveaux des points : ES8, ES9 à cause de lessivage des sels de terrain.

II.2.4. Le Potassium (K^+)

Le potassium est généralement l'élément majeur le moins abondant dans les eaux après le sodium, le calcium et le magnésium ; il ne prend qu'exceptionnellement le troisième rang des

cations .Le potassium se rencontre sous forme de chlorures doubles dans de nombreux minerais tels que la corollite et la sylvinite. On le trouve également dans les cendres des végétaux sous forme de carbonate. Le potassium est un élément indispensable à la vie et notamment à la croissance des végétaux. L'agriculture, il est utilisé comme engrais sous forme de sulfate de potassium, de chlorure de potassium, ou encore de nitrate de potassium (Pesson P, 1979).

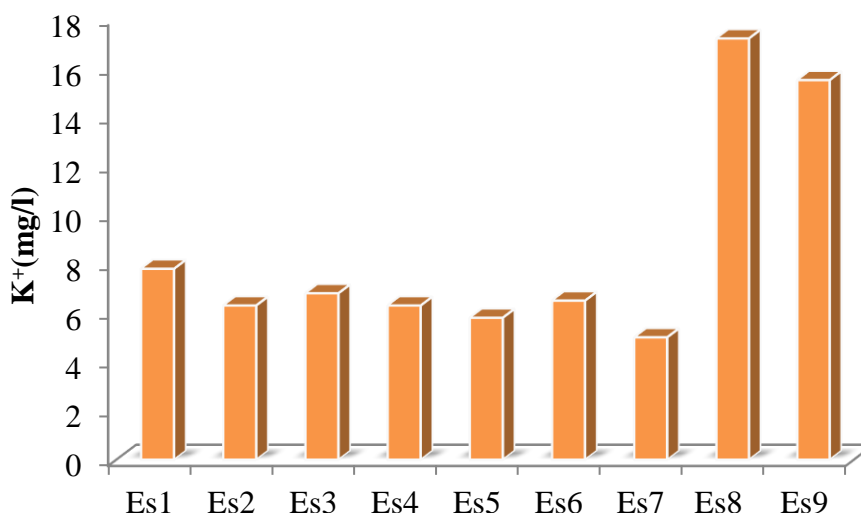


Fig.29: Histogramme de variation de Potassium des eaux de Sebkhah (Février 2018)

Les concentrations dans les points d'eau contrôlés varient entre 5,0 mg/l et 17,2 mg/l.

Les valeurs les plus élevées en potassium sont enregistrées aux niveaux des points : ES8, ES9, ces valeurs dépassent la norme admissible (12 mg/l) (OMS, 2003). Contrairement les valeurs plus basses sont aux niveaux des points : ES5 (5,8 mg/l), ES7 (5,0 mg/l) à cause de l'altération des formations silicatées, des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. (Fig.29)

II.2.5. Le Chlorure (Cl⁻)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. (El Kory M *et al*, 2014).

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations très variables. L'origine peut être naturelle (Bremond R et Vuichard R, 1973):

- Percolation à travers des terrains salés
- Infiltration des eaux marines dans les nappes phréatiques et profondes.
- Effet de l'activité humaine.
- Industries extractives et dérivées (soudières, salines, mines potasse, industries pétrolières...).

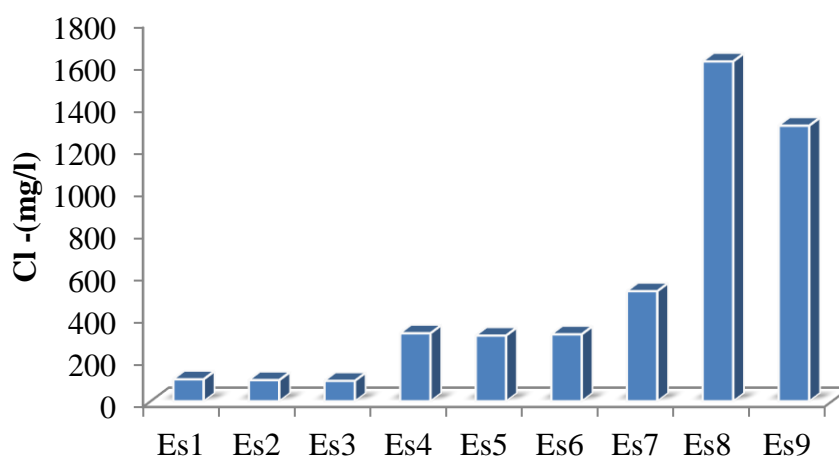


Fig.30: Histogramme de variations des Chlorures des eaux de Sebkhah (Février 2018)

Les teneurs en chlorures des échantillons d'eau analysés affichaient des valeurs oscillant entre 97.56mg/l et 1612.20mg/l.

Les points ES8, ES9 montrent des teneurs en chlorures qui dépassent les normes à cause de l'activité humaine et percolation à travers des terrains salés (roche évaporitique). Des concentrations aux niveaux des points ES4, ES5, ES6, ES7, ES8, ES9, dépassent la norme (200 à 250 mg/l) (OMS, 2003). (Fig.30).

II.2.6. Les Sulfates (SO_4^{2-})

Dans les conditions naturelles, les sulfates, forme de soufre dissous la plus répandue dans les eaux naturelles, ont essentiellement deux origines : géochimique et atmosphérique (Deliste C E et Schmidt J W, 1977). Du fait de la solubilité élevée des sulfates, l'eau souterraine en conditions normales (Matthess G, 1994). L'oxydation des sulfures ainsi que la dégradation de la biomasse dans le sol constituent d'autres sources possibles. De nombreuses activités humaines et naturelles peuvent générer des apports de sulfates dans l'eau souterraine : application d'engrais sulfatés, précipitations chargées en dioxyde de soufre, etc...

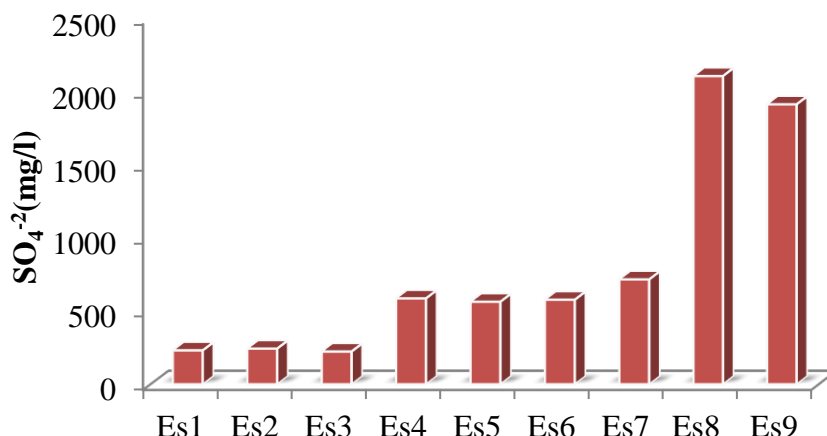


Fig.31: Histogramme de variation des Sulfates des eaux de Sebkhah (Février 2018)

Les valeurs du sulfates dans les eaux étudiés sont très variables elles oscillaient entre 223.09 mg/l et 2105,55 mg/l.

Des teneurs basses aux niveaux des points : ES1 (231,25 mg/l), ES2 (243 mg/l), ES3 (223,09 mg/l), ES4 (586,32 mg/l), ES5 (563,21 mg/l), ES6 (577,18 mg/l), ES7 (716,25 mg/l). Contrairement les teneurs élevées sont observées aux niveaux des points ES8 (2105,55 mg/l), ES9 (1912,33 mg/l)

Si au niveau des points ES1, ES2, ES3 des valeurs dépassent 250 mg/l on dit que toutes les valeurs dépassent les normes admissibles (250 à 500 mg/l) (**OMS, 2003**). (Fig.31) Cela est dû au lessivage des formations géologiques et aux rejets issus de l'activité humaine ainsi que la déjection animale utilisée dans l'activité agricole.

II.2.7. Les Bicarbonates (HCO_3^-)

La teneur en bicarbonates dans les eaux souterraines dépend surtout de la présence des minéraux carbonatés dans le sol et l'aquifère, ainsi que la teneur en CO_2 de l'air et du sol dans le bassin d'alimentation. (**Matthess G, 1994**)

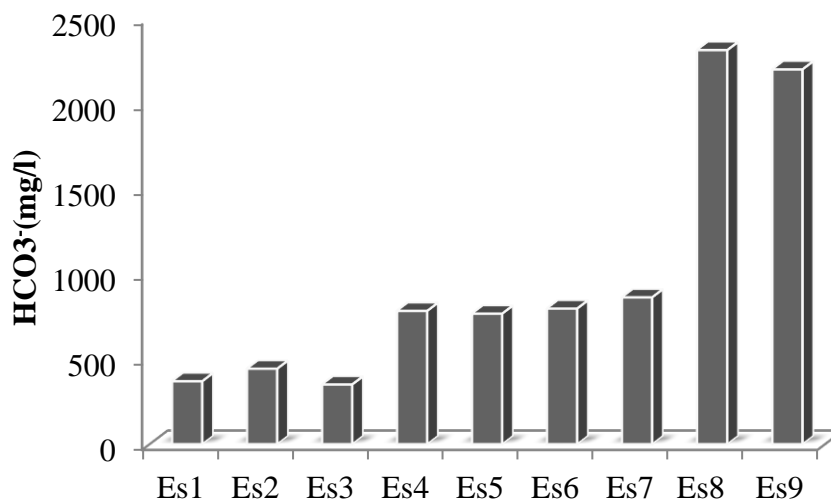


Fig.32: Histogramme de variation des Bicarbonates des eaux de Sebkhah (Février 2018)

Les teneurs en bicarbonates des points étudiés varient globalement entre un minimum de 350.02mg/l et un maximum de 2314.55mg/l, les valeurs élevées (ES8, ES9) sont vraisemblablement à la circulation de ces eaux à travers des formations géologiques riches en bicarbonates. (Fig.32)

II.2.8. Le brome (Br₂)

C'est un élément mineur, conservatif et mobile. Il peut renseigner sur l'origine du chlore et par conséquent l'origine de l'eau et sa minéralisation. (Vengosh et al, 1994).

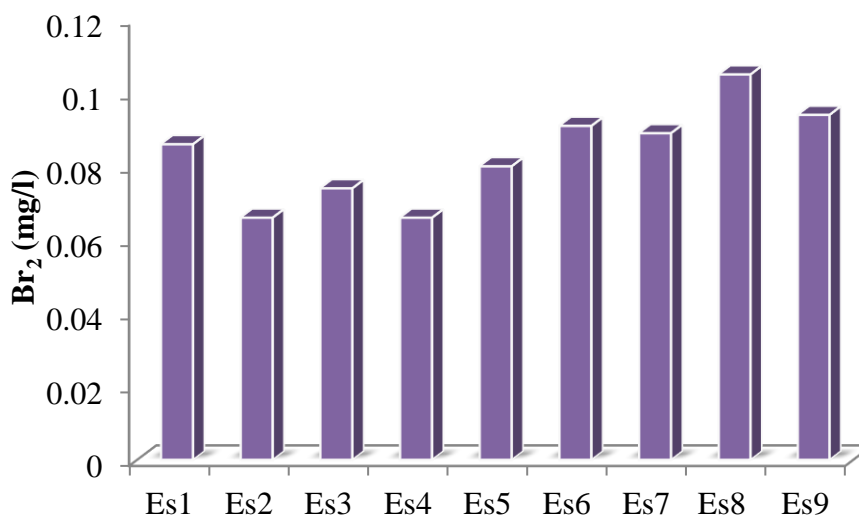


Fig.33: Histogramme de variation de Brome des eaux de Sebkhah (Février 2018)

Les analyses des échantillons à montrer que les teneurs varient entre 0.066mg/l et 0.105mg/l, les concentrations basses en brome aux niveaux des points (ES2, ES3, ES4), contrairement les concentrations les plus élevées enregistrées dans les points (ES6, ES8, ES9). Tous les résultats dépassent la norme (0.01 mg/l) (UE, 1998). (Fig.33)

II.2.9. Le Silicium (SiO₂)

Le silicium (Si) est un métalloïde, c'est le deuxième élément le plus abondant dans la croûte terrestre. Le dioxyde de silicium présent dans les eaux naturelles provient de la dégradation des roches. Le dioxyde de silicium, également appelé silice (du latin silex), est un composé chimique. C'est un oxyde de silicium dont la formule chimique est SiO₂. (Lenntech Water Treatment Solutions, 2017)

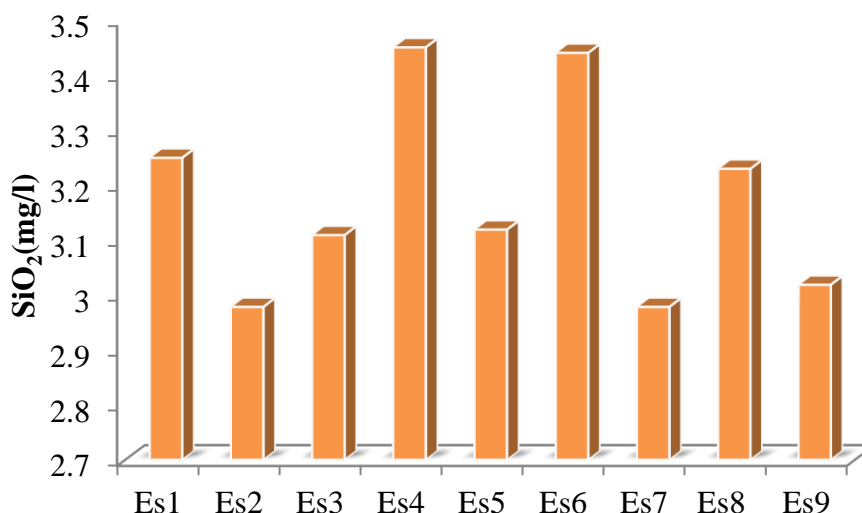


Fig.34: Histogramme de variation de Silicium des eaux de Sebka (Février 2018)

Les résultats d'analyses montrent que les teneurs en Silicium varient de 2,98mg/l à 3,45mg/l, les concentrations basses en brome aux niveaux des points (ES2, ES7), contrairement les concentrations les plus élevées enregistrées dans les points (ES4, ES6). Tous les résultats ne dépassent pas la norme (12 mg/l) (OMS, 2003). (Fig.34)

II.3. Les indicateurs de la pollution organique

II.3.1. L'Ammonium (NH_4^+)

C'est la forme d'azote la plus toxique, sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains, soit par réduction des formes azotées (Nitrates et Nitrites) en conditions réduites.

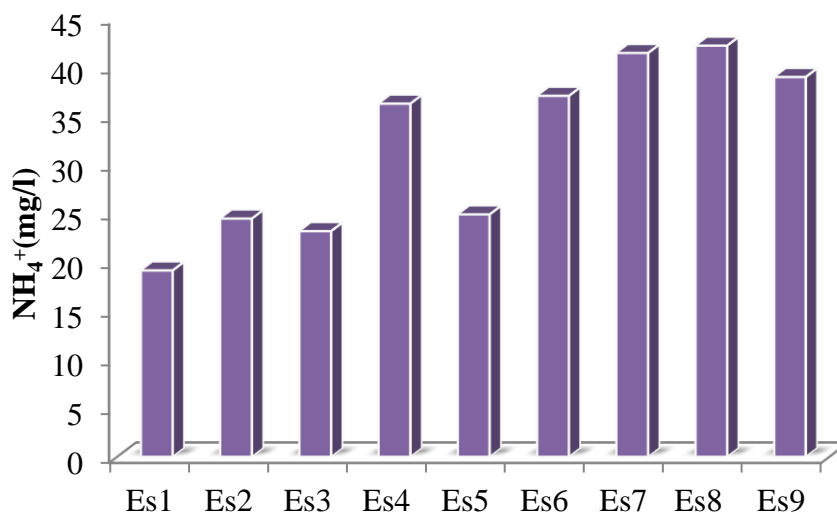


Fig.35: Histogramme de variation d'Ammonium des eaux de Sebkha (Février 2018)

L'analyse des échantillons à montre que les teneurs varient de 19,18 mg /l à 42,18 mg/l. Les teneurs basses en ammonium aux niveaux des points : ES1, ES2, ES3, ES5, contrairement les teneurs plus élevées enregistrés dans les points : ES4, ES6, ES7, ES8, ES9, cette dégradation à cause de temps de prélèvement (période humide). Ces résultats dépassent les normes (0,2 mg/l) (OMS, 2003). (Fig.35)

II.3.2. Les Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique, leur présence dans une eau polluée atteste que le processus d'autoépuration est déjà entamé. L'activité humaine accélère le processus d'enrichissement en cet élément sur les sols subissant l'érosion, ce qui provoque l'infiltration des eaux usées, par les rejets des industries minérales et d'engrais azoté (Bermond R et Perrdon C, 1979).

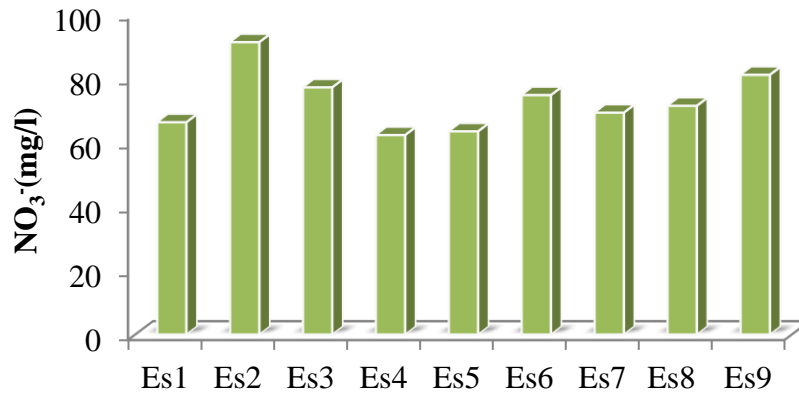


Fig.36: Histogramme de variation des Nitrates des eaux de Sebkhia (Février 2018)

Dans les points étudiés, les teneurs en nitrate variaient entre 62,32 mg/l et 91,24 mg/l. Les valeurs élevées sont enregistrées en Amont et en Aval de Sebkhia mais en différentes concentrations, cette dégradation semble être due essentiellement à l'activité humaine, la fertilisation azotée des terres agricoles et aussi les eaux usées non traitées et les déchets d'élevages. Ces résultats dépassent les normes (50 mg/l) (OMS, 2003). (Fig.36)

II.3.3. Les Nitrites (NO₂⁻)

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique. (Rodier, 2009).

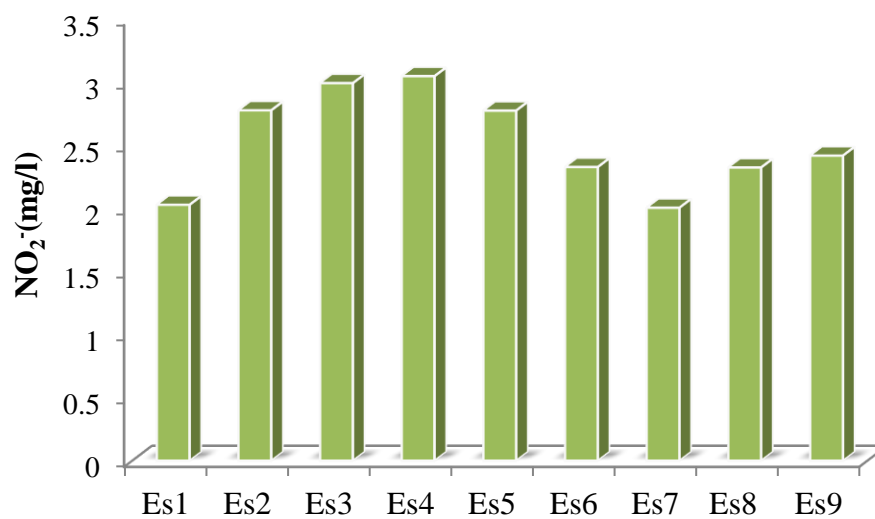


Fig.37: Histogramme de variation des Nitrites des eaux de Sebkhia (Février 2018)

Les résultats des échantillons contrôlés à montrent que les teneurs oscillaient entre 2 mg/l et 3 mg/l. Ces teneurs dépassent les normes (0,2 à 3 mg/l) (**OMS, 2003**), cela peut être dû rejets liquides domestiques non traité et aussi au lessivage des engrais azotés utilisé en domaine agricole. (Fig.37)

II.4. Détermination du faciès chimique

II.4.1. Digramme de Piper

La répartition relative des ions majeurs dans les eaux naturelles (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) peut alors être projetée sur un digramme tri linéaire (**Piper, 1994**).

Le diagramme de Piper utilise les ions et les cations majeurs pour représenter les différents faciès des eaux naturelles pour voire l'évolution spatio-temporelle du chimisme d'une eau ou d'un aquifère et présente l'avantage de regrouper un grand nombre d'analyses, passant d'un faciès à un autre, grâce à des analyses d'échantillons pris à des endroits différents.

Le diagramme de Piper est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations, respectivement et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs.

L'avantage de ce diagramme est de faire apparaitre les causes qui ont dirigé une modification de la composition chimique des eaux ainsi que la comparaison globale d'un grand nombre d'analyses ponctuelles (**Mahmoud et Morri, 2009**)

II.4.2. Diagramme de Scheller Berkalloff

Le diagramme de Schoeller : c'est une graphie en colonnes à l'échelle logarithmique, en utilisant les concentrations des éléments majeurs pour reconnaître les faciès chimiques des eaux.

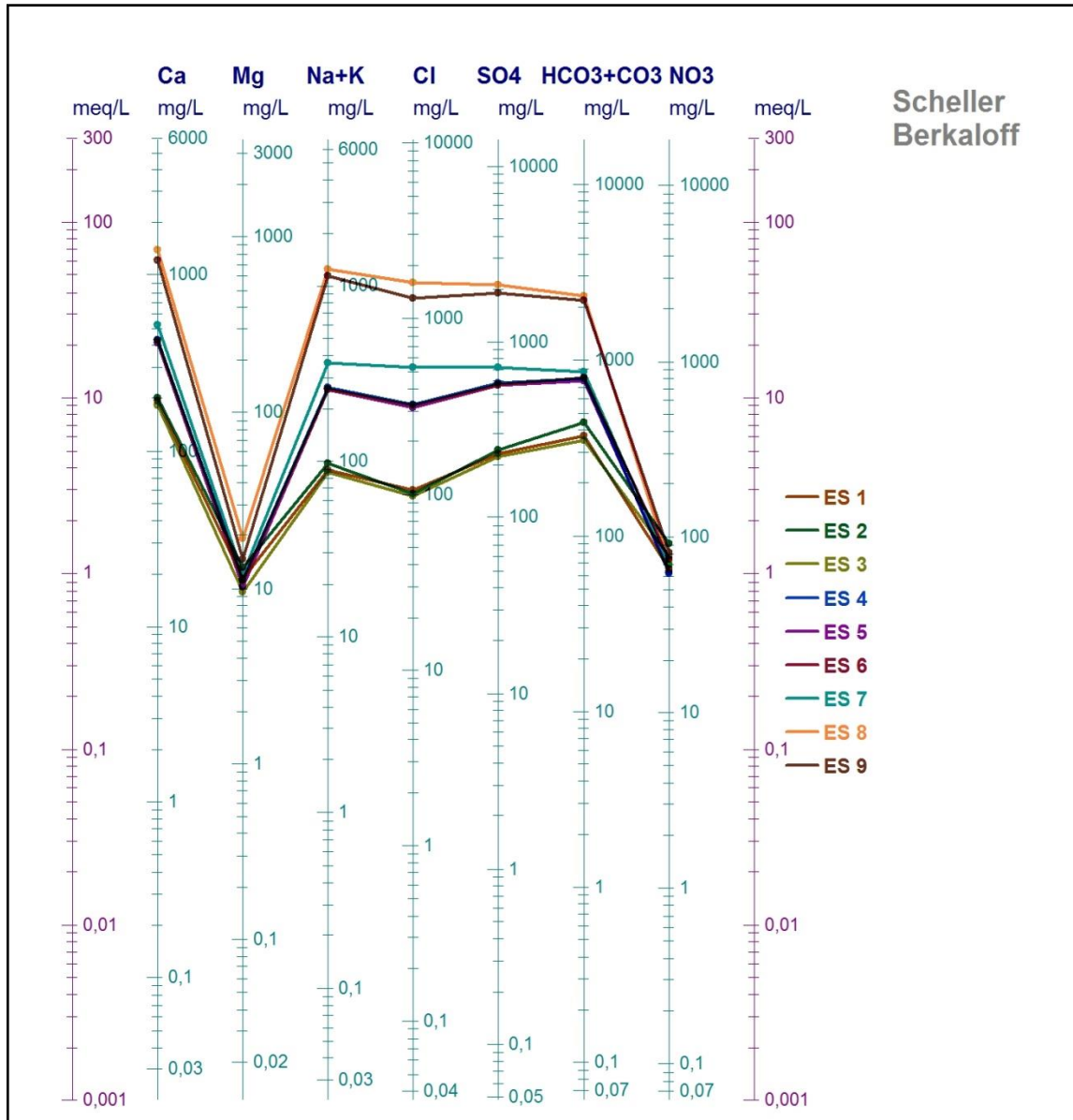


Fig.39: Diagramme de Berkalloff-Schoeller pour les eaux de sebkha

A partir du diagramme Sheller Berkalloff nous indique que la majorité des eaux analysées présentent des maxima au niveau des pôles Ca^{+2} et HCO_3^- , les eaux analysées présentent 3 faciès : Chlorurés Calciques (ES7, ES8), Sulfatés Calciques (ES9). En second ordre le faciès Bicarbonatés Calciques c'est le plus dominant (ES1, ES2, ES3, ES4, ES5, ES6).

II.5. Les eaux souterraines

II.5.1. Les paramètres physiques

II.5.1.1. La température T(C°)

La température varie entre un minimum de 11 °C (P2) et un maximum de 12,3 °C (P3). (Fig.40)

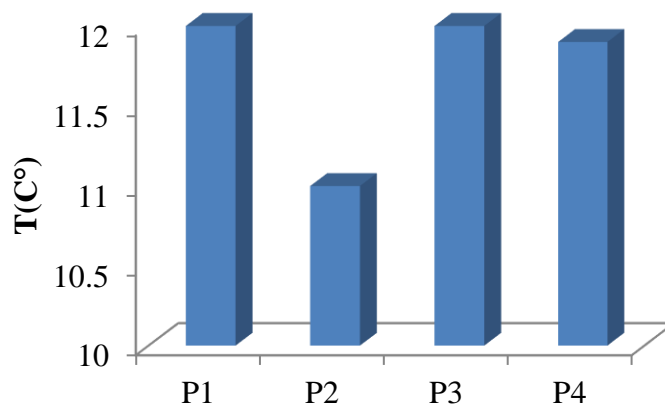


Fig.40: Histogramme de variation de température des eaux souterraines (Février 2018)

II.5.1.2. La conductivité électrique (CE)

La conductivité varie entre 955 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 4291 $\mu\text{s}/\text{cm}$, la valeur de conductivité des eaux souterraines augmente plus qu'on se rapproche de sebkha ce qui traduit un pompage intensifs. (Fig.41)

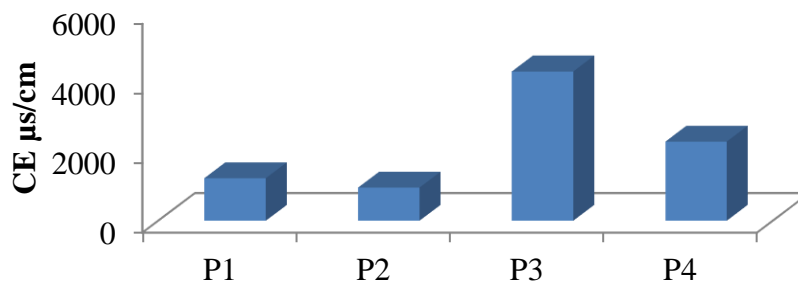


Fig.41: Histogramme de variation de la conductivité électrique (Février 2018)

II.5.2. Les paramètres chimiques

II.5.2.1. Le Potentielle d'hydrogène (PH)

Le pH des eaux analysées varie entre un minimum de 7,57 (P3) et un maximum de 7,97 (P4). La nature des terrains traversés par les eaux est la cause naturelle, provoquant des variations importantes du pH. Les valeurs ne dépassent pas la norme requise pour les eaux de consommation (6,5- 8,5) (OMS, 2003). (Fig.42)

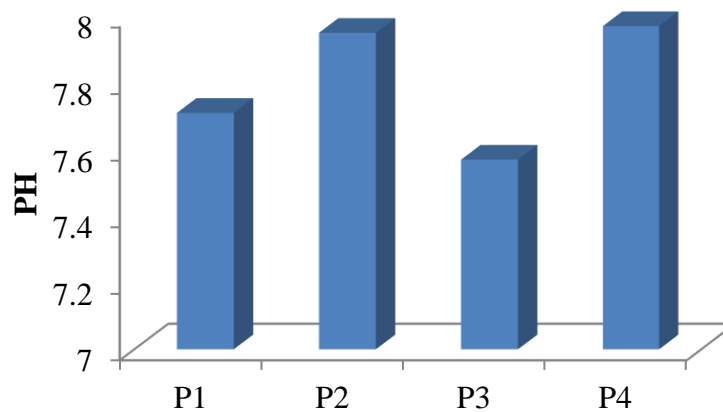


Fig.42: Histogramme de variations de PH des eaux souterraines (Février 2018)

II.5.2.2. Le Taux des Sels Dissous (TDS)

Comme pour la conductivité, les valeurs mesurées du TDS et de salinité indiquent un taux très élevée des sels dissous, les valeurs entre 519 mg/l et 2313 mg/l, la valeur basse sont au niveau de point P2 mais la valeur la plus élevé est enregistré au niveau du point P3. Cela est lié à la nature des terrains traversés riches en sels minéraux, induisant une forte minéralisation de l'eau. Ces valeurs indiquent que ces eaux sont minéralisées par dissolution des inclusions gypsifères et salifères contenues dans le remplissage plio-quaternaire. (Fig.43)

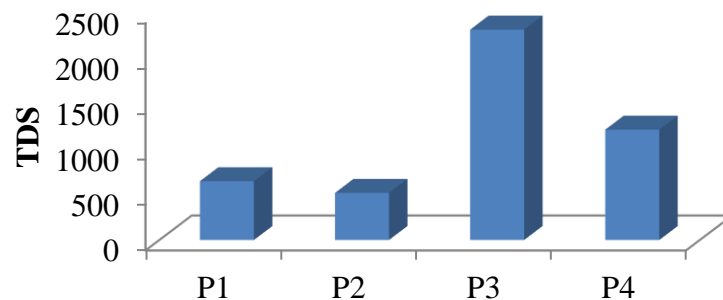


Fig.43: Histogramme de variation du taux des sels dissous des eaux souterraines (Février 2018)

II.5.3. Les cations et les anions majeurs des eaux souterraines

II.5.3.1. Les anions

II.5.3.1.1. Le Calcium (Ca^{+2})

Les eaux analysées montrent que les teneurs en Calcium oscillaient entre 80,79 mg/l et 418,32 mg/l.

Les teneurs basses sont aux niveaux des points : P1, P2, la valeur la plus élevée est enregistré au niveau du point : P3. À cause d'attribuées à la dissolution de la calcite ainsi que d'autres minéraux calciques tels que le gypse. Ces résultats d'analyses dépassent la norme (70 mg/l) (OMS, 2003). (Fig.44)

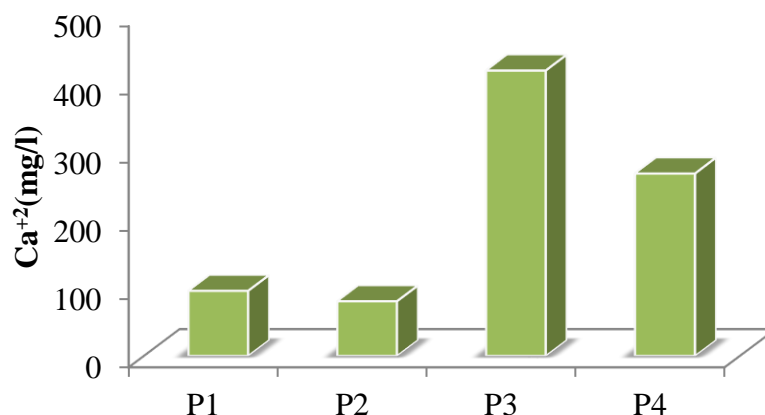


Fig.44: Histogramme de variation du Calcium des eaux souterraines (Février 2018)

II.5.3.1.2. Le magnésium (Mg^{+2})

Les teneurs en magnésium variaient entre 10,19 mg/l et 18,03mg/l.

Les teneurs basses sont aux niveaux des points : P1, P2, contrairement la teneur plus élevée au niveau de point : P3. Cette variation peut être liée au contact des eaux avec des roches calcaires et dolomitiques constituant le principal réservoir aquifère. Ces résultats ne dépassent pas la norme (50 mg/l) (OMS, 2003). (Fig.45)

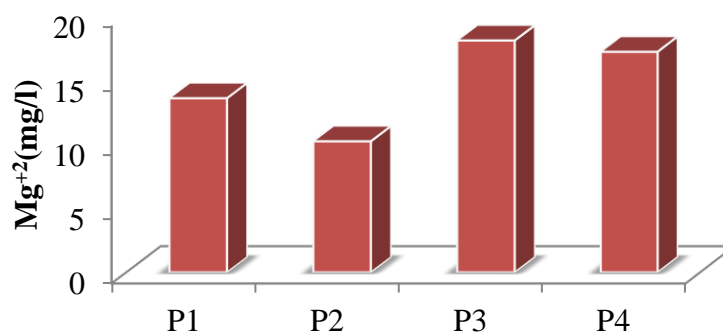


Fig.45: Histogramme de variation du Magnésium des eaux souterraines (Février 2018)

II.5.3.1.3. Le Sodium (Na⁺)

Les échantillons contrôlés montrent que les concentrations en Sodium varient entre 54,4mg/l et 270,2mg/l. Les concentrations basses sont enregistrées aux niveaux des points : P1, P2, contrairement la concentration la plus élevée est enregistrés au niveau du point : P3 dépasse la norme (150 à 200 mg/l) (OMS, 2003). A cause de la percolation à travers des terrains salés ou de l'infiltration d'eaux saumâtres. (Fig.46)

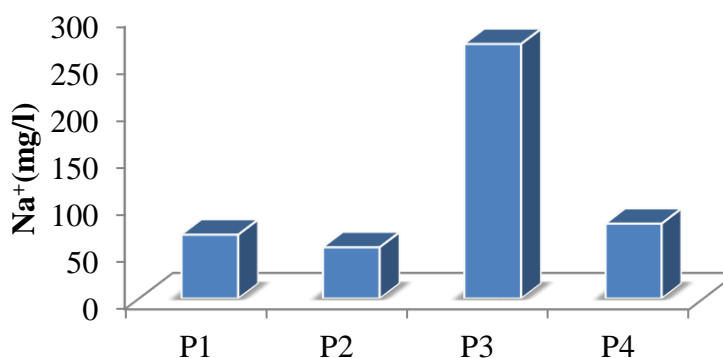


Fig.46: Histogramme de variation du Sodium des eaux souterraines (Février 2018)

II.5.3.1.4. Le Potassium (K⁺)

Les échantillons analysés montrent que les teneurs en Potassium varient entre 5,1mg/l et 9,2 mg/l.

Les teneurs basses sont aux niveaux des points P1, P2, contrairement la teneur la plus élevée est enregistrée au niveau du point P3. A cause de l'utilisation dans l'agriculture, comme engrais sous forme de sulfate de potassium, de chlorure de potassium, ou encore de nitrate de potassium. Ces résultats ne dépassent pas la norme (12 mg/l) (OMS, 2003). (Fig.47)

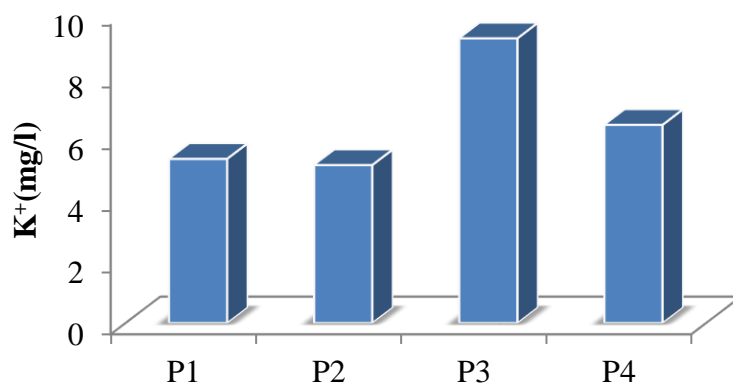


Fig.47: Histogramme de variation du Potassium des eaux souterraines (Février 2018)

II.5.3.2. Les anions

II.5.3.2.1. Le Chlorure (Cl⁻)

Les eaux analysées montrent que les teneurs en Chlorure oscillent entre 62,33mg/l et 391,11mg/l.

Les teneurs basses sont observées aux niveaux des points : P1 (73,56 mg/l), P2 (62,33 mg/l), contrairement la valeur plus élevée est enregistrée au niveau du point : P3 dépasse la norme (200 à 250 mg/l) (OMS, 2003). A cause de l'infiltration des eaux de Sebka vers la nappe phréatique et profonde. (Fig.48)

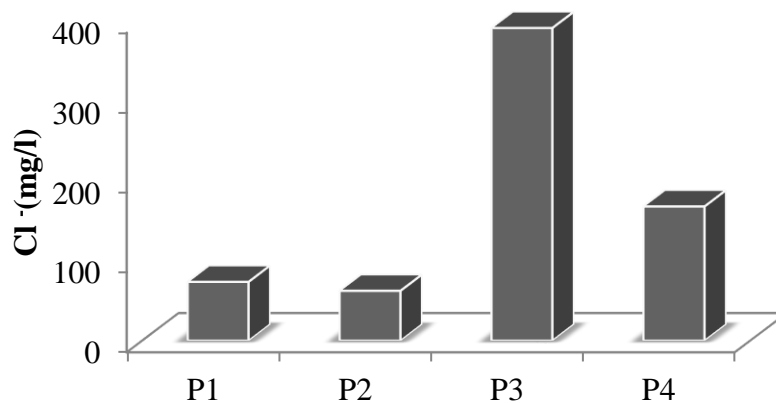


Fig.48: Histogramme de variation des Chlorures des eaux souterraines (Février 2018)

II.5.3.2.2. Les Sulfates (SO₄²⁻)

Les valeurs des sulfates dans les eaux étudiées sont très variables, elles oscillent entre 75,33mg/l et 566,36mg/l.

Les valeurs basses sont aux niveaux des points : P1, P2, contrairement la valeur le plus élevée est enregistrée au niveau du point : P3 dépasse la norme (250 à 500 mg/l) (OMS, 2003). Cela peut être dû à l'application d'engrais sulfatés dans le domaine agricole, et aussi liées à la formation triasique salifère mise en contact avec le réservoir aquifère ainsi qu'au contact du gypse, l'eau se charge en sulfates de calcium et devient dure et impropre à la consommation. (Fig.49)

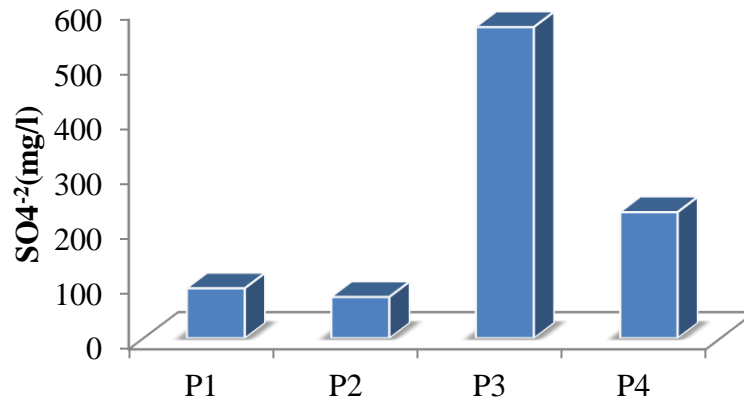


Fig.49: Histogramme de variation des Sulfates des eaux souterraines (Février 2018)

II.5.3.2.3. Les Bicarbonates (HCO₃⁻)

Les eaux analysées montrent que les teneurs en Bicarbonate varient entre 200,20mg/l et 583,22mg/l.

Les teneurs basses sont aux niveaux des points : P1, P2, contrairement les teneurs plus élevées enregistrées aux niveaux des points : P3, P4. Les valeurs élevées sont dues vraisemblablement à la circulation de ces eaux dans le réservoir aquifère de nature calcaro-dolomitique. (Fig.50)

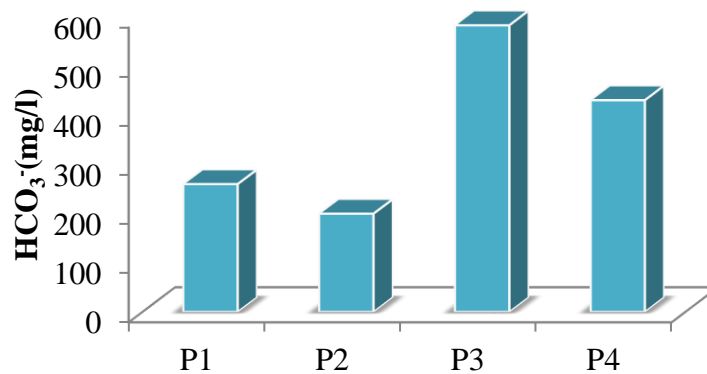


Fig.50: Histogramme des variations de Bicarbonate des eaux souterraines (Février 2018)

II.6. Les indicateurs de la pollution organique

II.6.1. L'Ammonium (NH_4^+)

Les échantillons analysés montrent que les concentrations d'Ammonium varient entre 0,08mg/l et 0,11mg/l. Une concentration basse au niveau de point : P3, contrairement les concentrations élevées sont observées aux niveaux des points : P2, P4. Cela peut être expliqué par l'utilisation des engrais chimiques. Ces résultats ne dépassent pas la norme (0,2 mg/l) (OMS, 2003). (Fig.51)

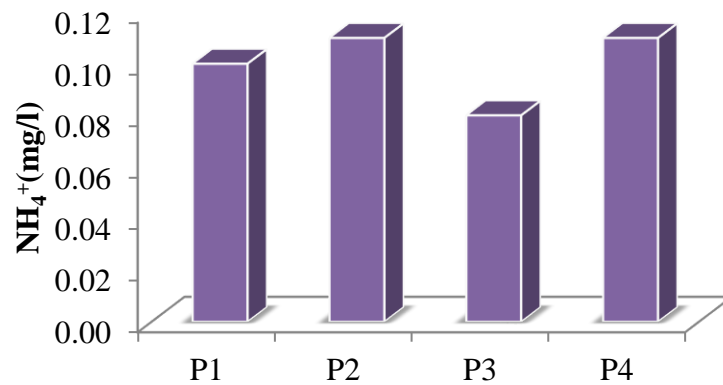


Fig.51: Histogramme de variations d'Ammonium des eaux souterraines (Février 2018)

II.6.2. Les Nitrates (NO_3^-)

Les eaux analysées montrent que les teneurs en Nitrate varient 29,63mg/l à 48,21mg/l. La teneur basse est observée au niveau du point : P2, contrairement les plus élevées sont enregistrées aux niveaux des points : P3, P4. A cause de l'activité humaine qui accélère le processus d'enrichissement en cet élément (engrais chimique), l'infiltration des eaux usées non traité riche en azote. Ces résultats ne dépassent pas la norme (50 mg/l) (OMS, 2003). (Fig.52)

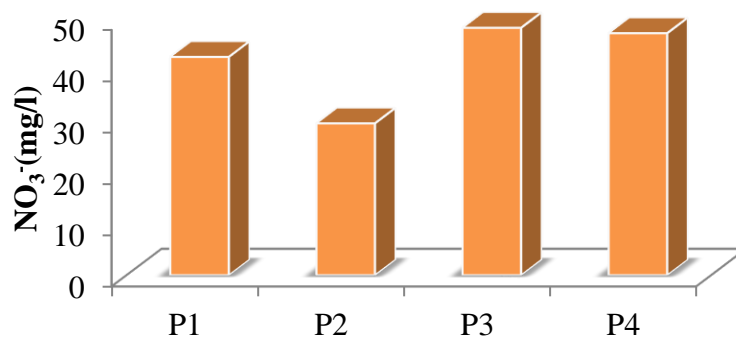


Fig.52: Histogramme de variation des Nitrates des eaux souterraines (Février 2018)

II.6.3. Les Nitrites (NO_2^-)

Les échantillons analysés montrent que les valeurs en nitrite oscillaient entre 0,010 mg/l et 0,026 mg/l.

Une valeur basse est au niveau de point : P2, et une valeur élevée enregistré au niveau du point : P1. Cela est dû à l'utilise des engrais chimiques azotés en domaine agricole, et aussi le diversement des eaux usées non traités. Ces résultats ne dépassent pas la norme (0,2 à 3 mg/l) (OMS, 2003). (Fig.53)

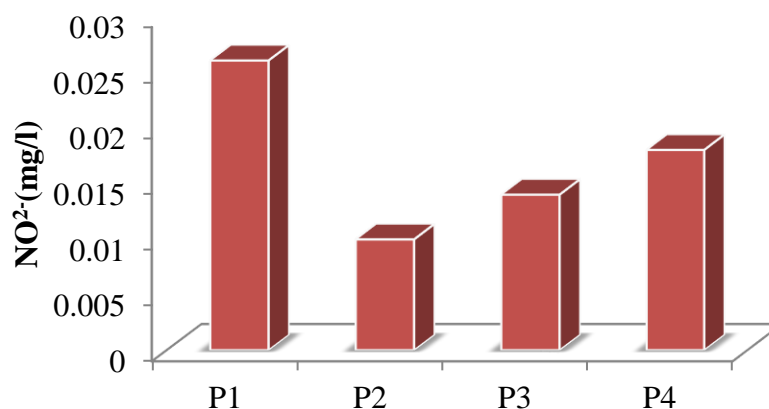


Fig.53: Histogramme de variation des Nitrites des eaux souterraines (Février 2018)

II.7. Détermination du faciès chimique des eaux

L'étude de la chimie des eaux souterraines, elle permet de suivre l'évolution spatiale des différents éléments dissous et d'estimer leur origine, pour connaître ça on utilise certain nombre de diagrammes (Piper, Schoeller...)

II.7.1. Diagramme de Piper

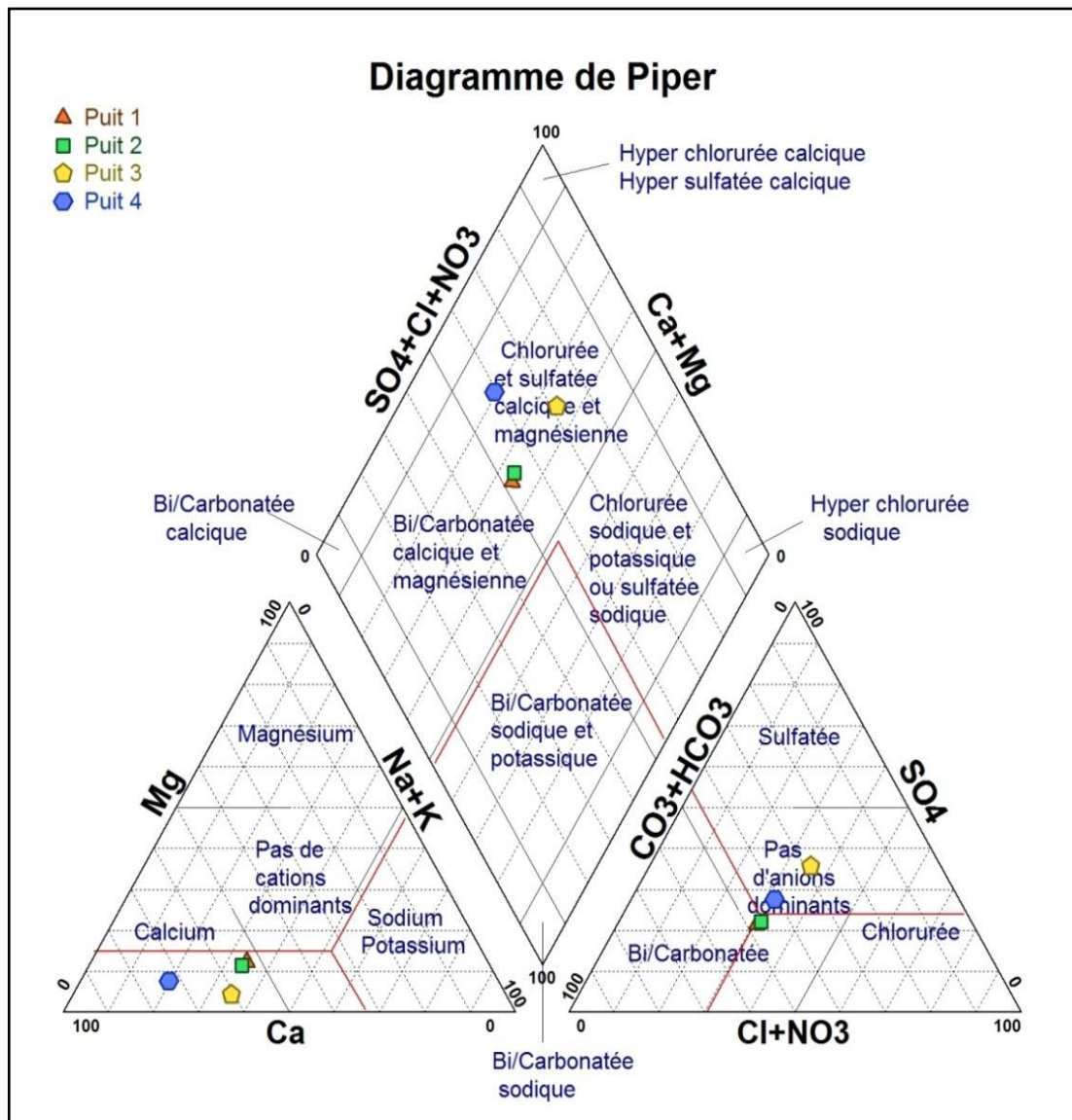


Fig.54: Diagramme de Piper pour la nappe souterraine

A partir du diagramme de Piper nous remarquons que la plus part des eaux analysées des puits ont un faciès chimique (chlorurée et sulfatée calcique), qui dépendent surtout de la nature du sol (géologie du terrain) et aussi à l'activité anthropique (Agriculture).

II.7.2. Diagramme de Scheller Berkaloff

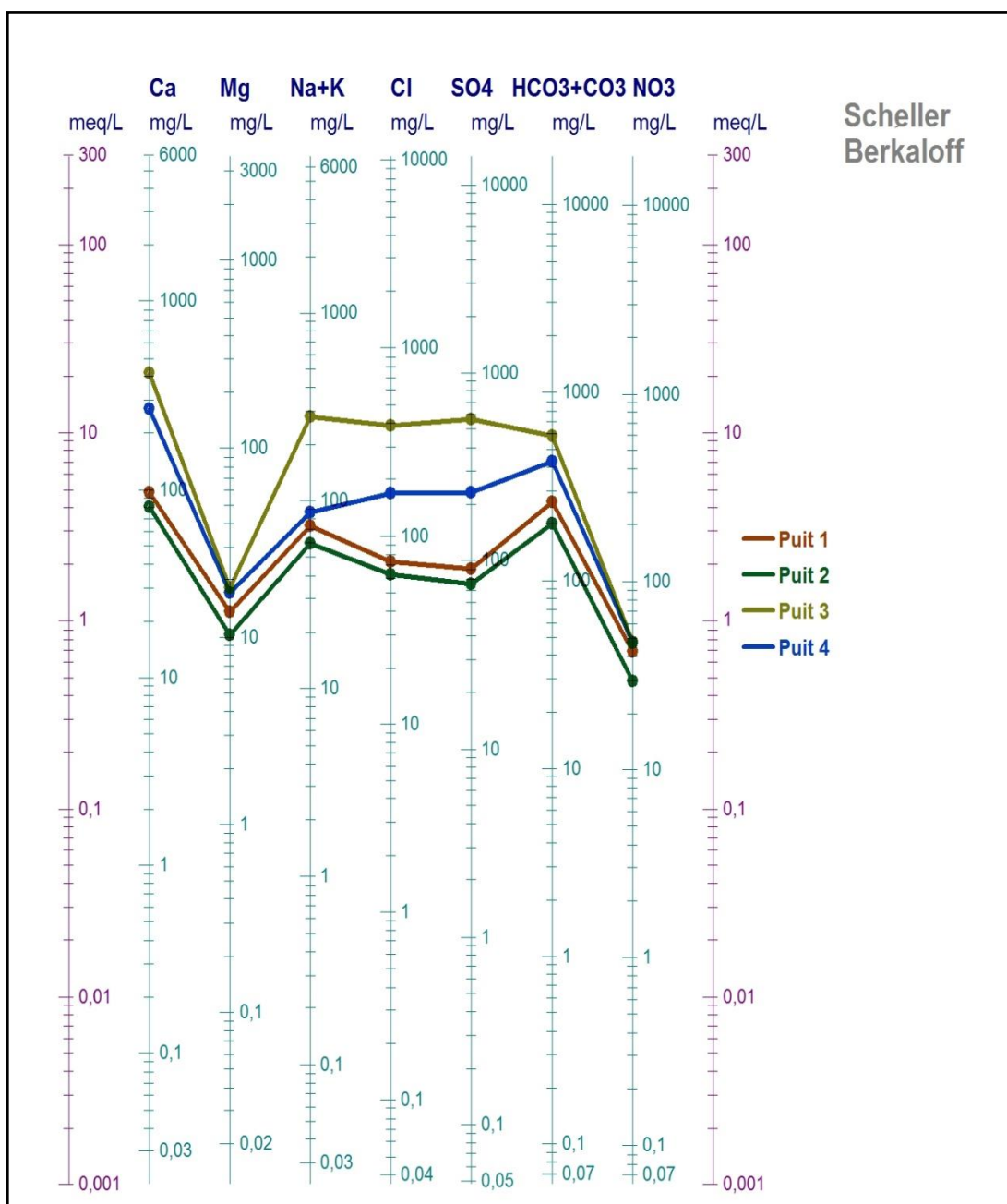


Fig.55: Diagramme de Berkaloff-Schoeller pour la nappe souterraine

A partir du diagramme Sheller Berkaloff (Fig.55) la majorité des eaux analysées présentent 2 faciès chimique : l'eau est Sulfatées Calciques (P3). Un second ordre le faciès Bicarbonaté Calcique c'est le plus dominant (P1, P2 et P4).

II.8. Les relations ioniques

Les espèces chimiques dissoutes et leurs relations avec eux peuvent révéler l'origine des éléments et les processus de la composition chimique des eaux souterraines.

II.8.1. Les eaux de surface

II.8.1.1. Relation Na^{+2} VS Cl^{-}

A partir de ces résultats on voit que le coefficient de corrélation $R^2 = 0,99$ donc c'est une bonne corrélation indiquant que le Cl^{-} et le Na^{+} , pour la plupart sont issus de la dissolution de sel gemme diffusés dans les sédiments. Si l'excès en chlorure est accompagné d'une carence en sodium, cela peut être expliqué par un échange de base associé à des minéraux argileux qui fixent l'ion Na^{+} , après la libération de Ca^{2+} . (Fig.56).

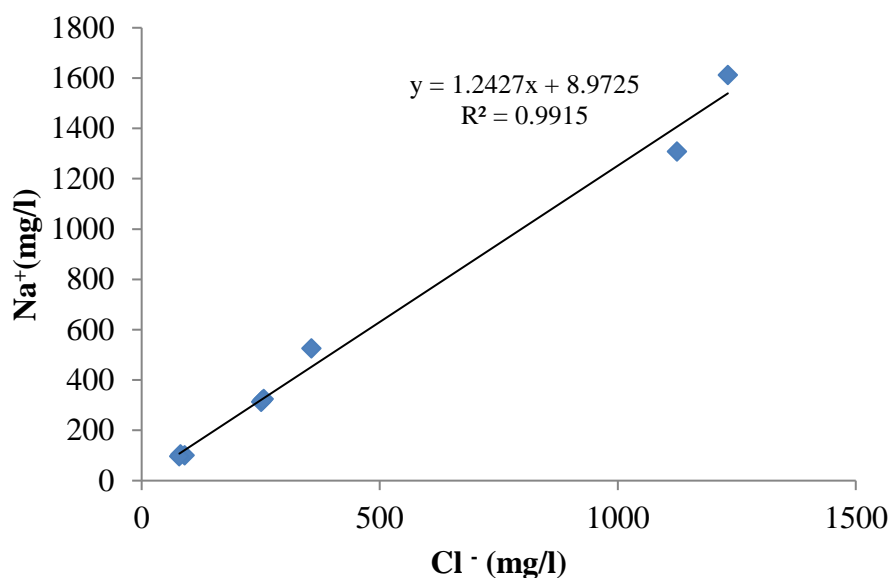


Fig.56: Courbe de corrélation Na^{+2} VS Cl^{-} des eaux de surface

II.8.1.2. Relation SO_4^{-2} VS Ca^{+2}

A partir de ces résultats le $R^2 = 0,99$ donc c'est une bonne corrélation principalement due à l'altération de sulfate de calcium et de magnésium (l'évaporite et la pyrite) d'une part et les activités humaines d'autre part (utilisation d'engrais chimiques). (Fig.57).

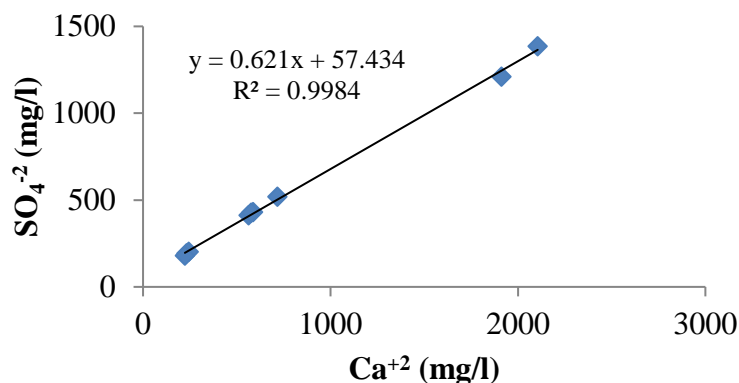


Fig.57: Courbe de corrélation SO_4^{2-} VS Ca^{+2} des eaux de surface

II.8.1.3. Relation HCO_3^- VS Ca^{+2}

Le coefficient de corrélation $R^2 = 0,99$ est mettre une bonne corrélation c'est-à-dire que les deux éléments dans l'eau sont en même origines qui peut être expliquée soit par l'alimentation par des eaux riches en carbonates ou le drainage de l'eau de l'aquifère profond (temps de séjour lent assure la dissolution de formations carbonatées). (Fig.58).

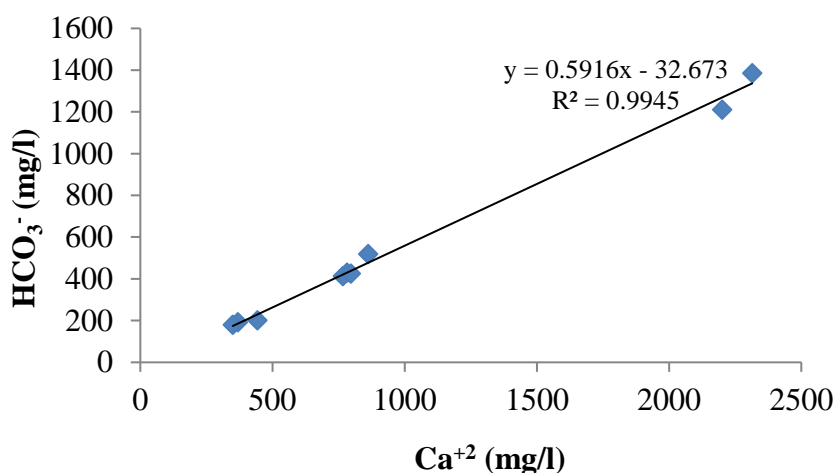


Fig.58: Courbe de corrélation HCO_3^- VS Ca^{+2} des eaux de surface

II.8.1.4. Relation $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ VS SO_4^{2-}

Avec un $R^2 = 0,99$ une bonne corrélation est claire en raison de l'altération de sulfate de calcium et de magnésium (l'évaporite et la pyrite) d'une part et les activités humaines d'autre part (Fig.59).

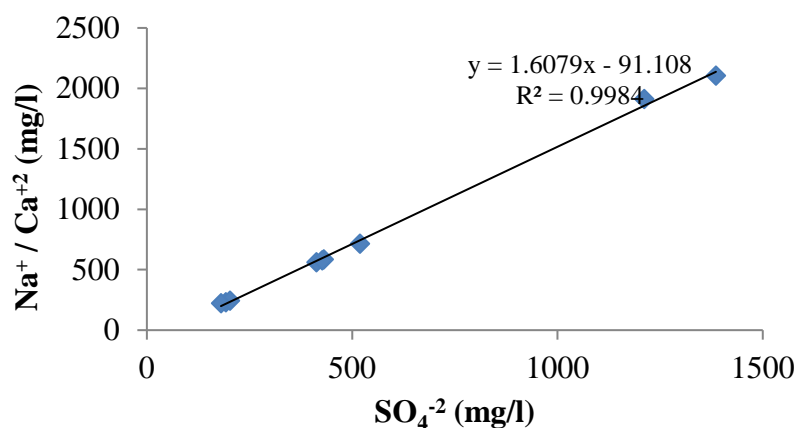


Fig.59: Courbe de corrélation Na⁺/Ca⁺² VS SO₄⁻² des eaux de surface

II.8.1.5. Relation Ca⁺²/Mg⁺² VS HCO₃⁻

A partir de ces résultats nous voir que $R^2 = 0,70$ donc c'est une bonne corrélation. Ces deux éléments donnent des composés chimiques ioniques Ca CO₃, Mg CO₃. (Fig.60)

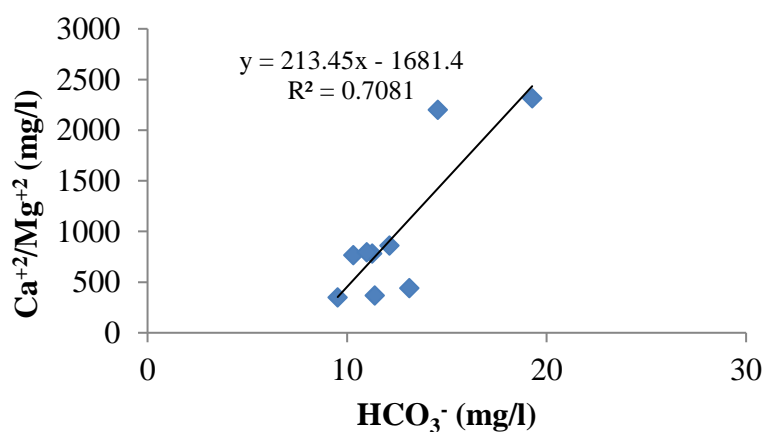


Fig.60: Courbe de corrélation Ca⁺²/Mg⁺² VS HCO₃⁻ des eaux de surface

II.8.2. Eaux souterraines

II.8.2.1. Couple Na^+ VS Cl^-

On voit que $R^2 = 0,94$ donc une bonne corrélation est claire entre les deux éléments, donc les deux éléments ont la même origine c'est la dissolution des roches évaporitiques (Fig.61).

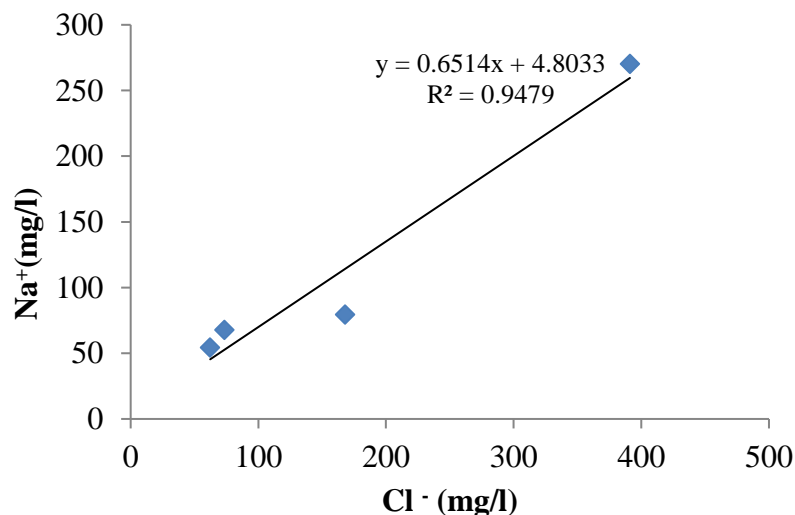


Fig.61: Courbe de corrélation Na^+ VS Cl^- des eaux souterraines

II.8.2.2. Couple SO_4^{2-} VS Ca^{+2}

Un coefficient de corrélation $R^2 = 0,93$ c'est-à-dire une bonne corrélation entre les deux éléments, donc les deux éléments ont la même origine. Ces deux éléments donnent un composé chimique ionique Ca SO_4 . (Fig.62).

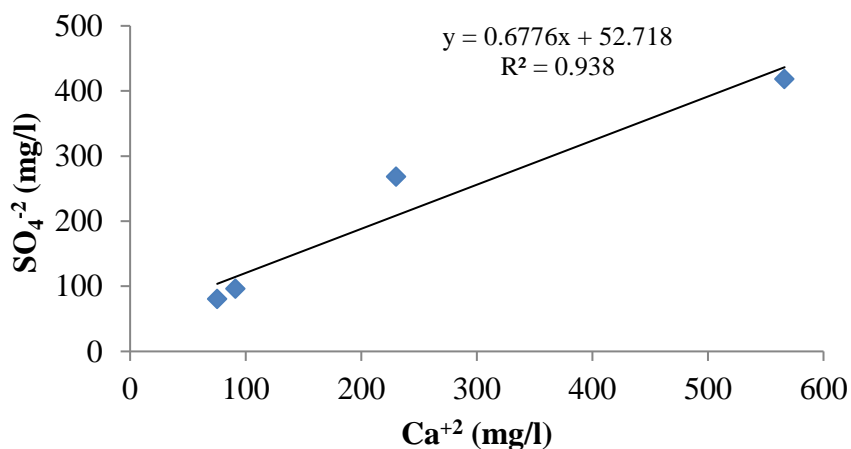


Fig.62: Courbe de corrélation SO_4^{2-} VS Ca^{+2} des eaux souterraines

II.8.2.3. Couple HCO_3^- VS Ca^{+2}

On remarque une bonne corrélation entre les deux éléments ($R^2 = 0,98$), donc les deux éléments ont la même origine. Un temps de séjour lent assure la dissolution de formations carbonatées. Ces deux éléments donnent un composé chimique ionique $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. (Fig.63)

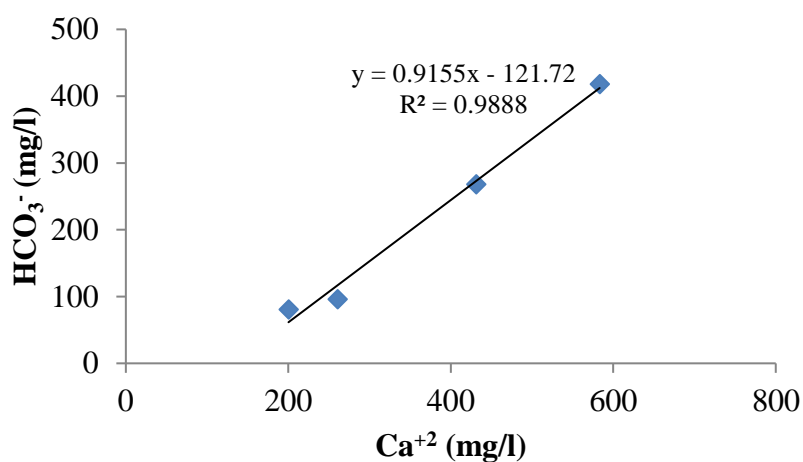


Fig.63: Courbe de corrélation HCO_3^- VS Ca^{+2} des eaux souterraines

II.8.2.4. Couple $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ VS SO_4^{-2}

A partir de cette figure (Fig.64) on voit une bonne corrélation entre les deux éléments ($R^2 = 0,93$), donc les deux éléments ont la même origine. Ces deux éléments donnent des composés chimiques ioniques : Na_2SO_4 et CaSO_4 .

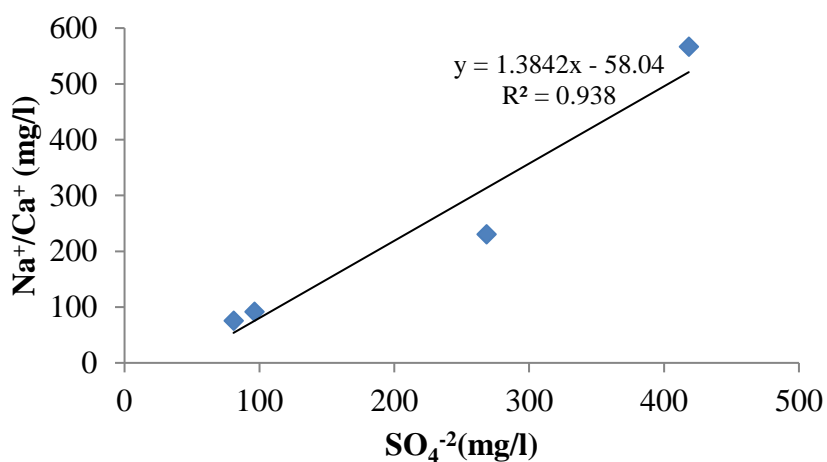
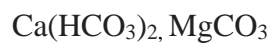


Fig.64: Courbe de corrélation $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ VS SO_4^{-2} des eaux souterraines

II.8.2.5. Couple $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ VS HCO_3^-

Une bonne corrélation est claire entre les deux éléments ($R^2=0,88$), donc les deux éléments ont la même origine. Ces deux éléments donnent un composé chimique ionique



(Fig.65)

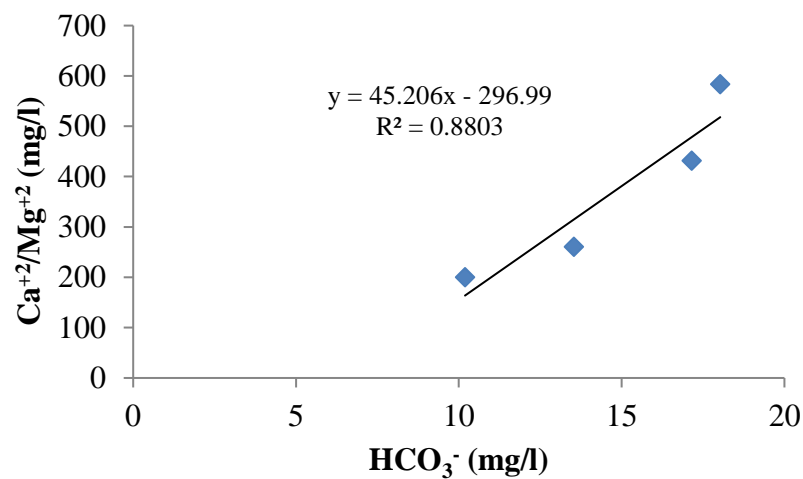


Fig.65: Courbe de corrélation $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ VS HCO_3^- des eaux souterraines

II.9. Aptitude des eaux à l'irrigation

II.9.1. Aptitude des eaux de la plaine d'El Mahmel à l'irrigation

Introduction

Les sels peuvent perturber le développement physique des plantes. Du fait de l'absorption de l'eau, on peut observer des effets sur les processus osmotiques, ou du point de vue chimique par des réactions métaboliques, telles que celles causées par les constituants toxiques.

En plus les sels causent des changements dans la structure du sol (sur sa perméabilité et son aération), affectant directement le développement de la plante (**Khadri S, 2009**).

Dans cette partie nous allons mettre en évidence l'utilisation à des fins agricoles des eaux de la région, et pris en compte dans les calculs la période de Mars 2018. Les méthodes de Richards et Wilcox, les plus fréquemment utilisées seront développées.

II.9.1.1. Risque de sodalité et de salinité

La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du sodium des sels de chlorures de sodium par les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. De part cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes (**Khadri S, 2009**).

Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent fréquemment les cations Ca^{2+} dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer cet effet.

Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable, « Sodium Absorption Ratio : SAR ». Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. L'aptitude de l'eau à l'irrigation peut être jugée non seulement à partir de la concentration totale en sels, mais aussi par le type de sels et les ions qui la constituent. Il est donc impératif d'étudier les paramètres qui définissent les caractéristiques des eaux destinées à l'irrigation (**Khadri S, 2009**).

II.9.1.1.1. Calcul des paramètres des eaux à usage agricole

Les principaux facteurs qui dégradent la qualité des eaux pour l'irrigation se résument donc à la concentration en sels dissous exprimés par le résidu sec ou la conductivité électrique, la salinité potentielle, la concentration relative en sodium et la quantité des éléments toxiques (Bore et Chlore) présents dans l'eau. Quand les sels sont concentrés dans les solutions de sol, chacun des facteurs dégradant la qualité, à un effet sur la croissance de la

plante et par conséquent sur sa production d'une part, et d'autre part sur les propriétés physiques et chimiques (Fig.66).

L'effet primordial de la salinité totale est de réduire la croissance des cultures et leur production, elle est généralement exprimée par la minéralisation globale ou par la conductivité électrique (CE). Cette dernière est liée au résidu sec (RS) et à la pression osmotique par les formules suivantes :

$$\begin{aligned} \text{RS (mg/l)} &= 0.7 \text{ CE } (\mu \text{ s/cm}) \\ \pi(\text{atm.}) &= 0.00036 \cdot \text{CE} \end{aligned}$$

La salinité du sol est constituée par tous les sels de chlorures, de sodium et des sulfates de magnésium, par conséquent la salinité potentielle (Sp) pourrait être estimée par la formule qui se suit (Tous les termes sont exprimés en méq/l):

$$\text{SP} = \text{Cl} + \frac{1}{2} \text{SO}_4^{2-}$$

Pour le sodium, il a été reconnu que sa concentration dans les eaux d'irrigation a une influence sur la perméabilité et l'infiltration des sols. La présence de Na^+ a des effets néfastes sur la structure des sols par défloculation de l'argile. Cet effet est interprété par différents auteurs en calculant plusieurs paramètres tels que le SAR déjà signalé :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2}}$$

Le pourcentage en sodium est donné par

$$\% \text{Na} = \frac{(\text{Na}^+ + \text{K})}{(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K})} \times 100$$

Le pourcentage d'échange de sodium :

$$\text{ESP} = 100 \frac{[-a + b(\text{SAR})]}{1 + [-a + b(\text{SAR})]} \quad \text{Où } a = 0,0126 \text{ et } b = 0,01475$$

Dans les formules ci-dessus, tous les éléments sont exprimés en méq/l. De plus, des études récentes ont indiqué que la perméabilité du sol dépend de plusieurs autres facteurs tels que la concentration totale de l'eau, la quantité de sodium, la concentration en bicarbonates et la nature du sol lui-même. Les trois premiers termes ont été combinés dans une seule formule donnant ce qu'on appelle l'indice de perméabilité (IP) défini par (Doneen, 1961) :

$$\text{IP}(\%) = \frac{\text{Na}^+ + \sqrt{\text{HCO}_3}}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+} \times 100$$

Parmi les éléments reconnus toxiques, ont noté les concentrations en bore et en chlore. Le bore est généralement présent dans certaines eaux d'irrigation en quantité indésirables mais pas tellement toxiques. Quant au chlore, sa présence excessive dans le sol exerce des effets

défavorables sur la végétation et la qualité de certaines cultures. Ces différents paramètres peuvent agir séparément ou de façon combinée dans la classification des eaux à usage agricole.

II.9.1.1.2. Résultats et discussions

Le diagramme de Wilcox 1948 est une représentation graphique du pourcentage de sodium en fonction de la conductivité électrique qui nous donne une idée sur le degré de la salinité des eaux. La classification définie cinq classes d'eau (Tableau.12).

D'après la figure, la répartition des eaux de la zone d'étude est comme suit :

- 30.77 % de la totalité des points d'eau sont de qualité bonne à l'irrigation
- 15.38 % sont de qualité médiocre
- 53.84 % sont de qualité mauvaise

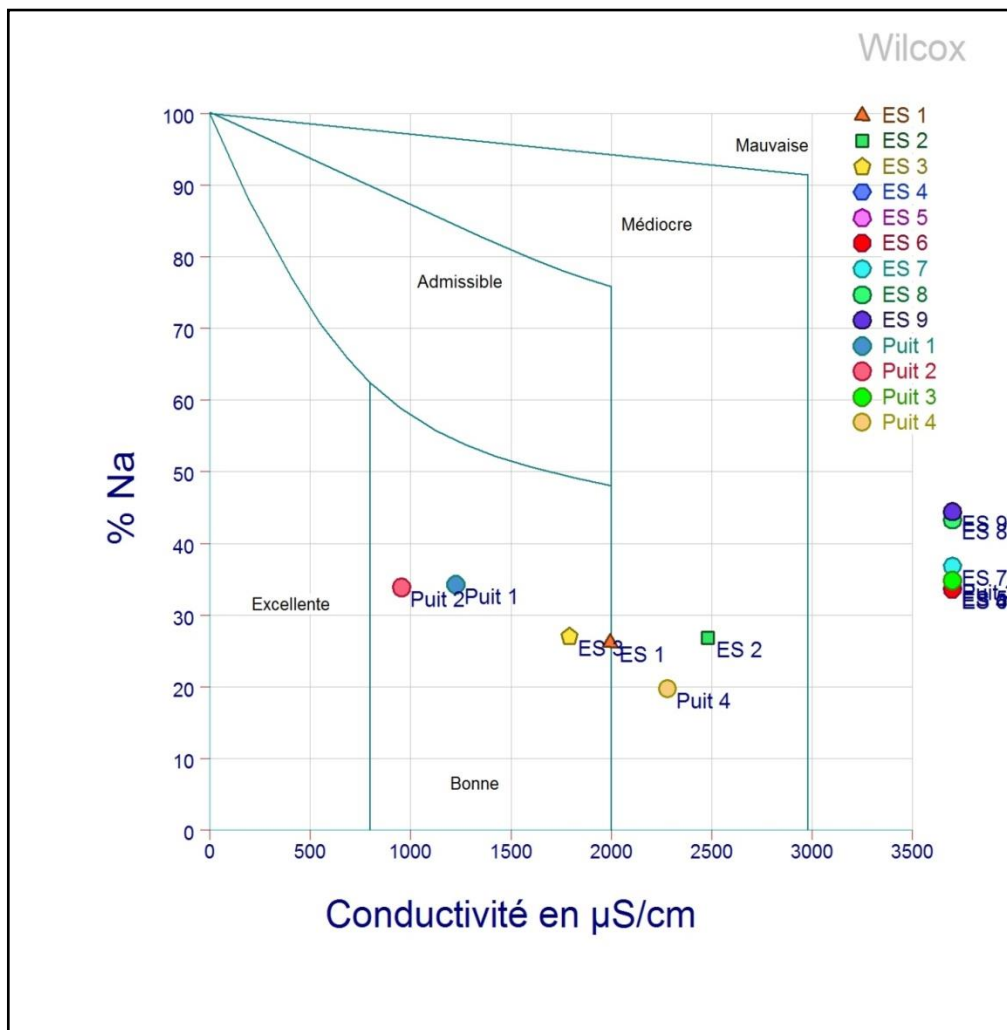


Fig.66: Représentation des eaux sur Diagramme de Wilcox

Selon le diagramme du SAR en fonction de la conductivité électrique, il existe trois classes d'eau :

- **C₃S₁** où La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérable aux sels sur des sols bien drainés représente 30.77 % de l'effectif total
- **C₄S₁** Eau fortement minéralisée, utilisée seulement pour des plantes très résistantes aux sels (sols de bonne perméabilité) représente 15.38 % d'échantillon
- **C₄S₂** ces eaux sont de mauvaise qualité et Inutilisable pour l'irrigation, représente 53.84 % des points d'eau.

Tableau N°13: Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation
(Méthode de SAR)

Degrés	Qualité	Classes	Etat d'utilisation
1	Excellente	C ₁ -S ₁ , C ₁ -S ₂	Utilisation sans danger pour l'irrigation des cultures et même pour les sols
2	Bonne	C ₂ -S ₁ , C ₂ -S ₂	Convenable pour des plantes qui ont une tolérance aux sels (générer des problèmes pour les argiles)
3	Admissible	C ₃ -S ₁ , C ₂ -S ₃ , C ₃ -S ₂	La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérable aux sels sur des sols bien drainés
4	Médiocre	C ₄ -S ₁ , C ₂ -S ₁ , C ₃ -S ₃	Eau fortement minéralisée, utilisée seulement pour des plantes très résistantes aux sels (sols de bonne perméabilité)
5	Mauvaise	C ₄ S ₂	Inutilisable

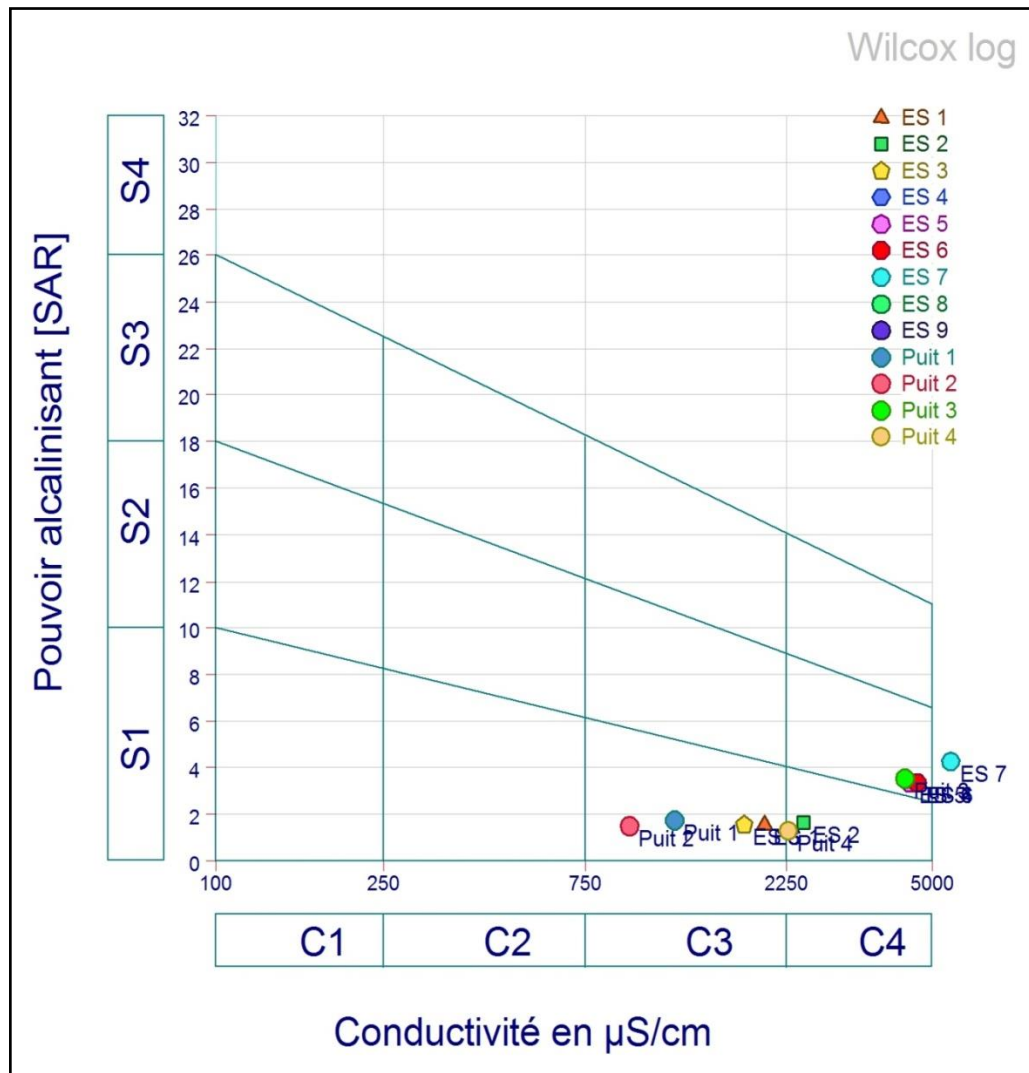


Fig.67: Représentation des eaux sur Diagramme du SAR

II.10. Analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode statistique essentiellement descriptive; son objectif est de présenter, sous une forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données. Ce tableau doit être constitué, en lignes, par des individus sur lesquels sont mesurées des variables quantitatives (**Khadri S, 2009**).

Pour faciliter la visualisation des individus, l'ACP réduit les dimensions des espaces. Les espaces retenus seront donc à une dimension (c'est-à-dire des droites) ou, et c'est le cas le plus fréquent, à deux dimensions (c'est à dire des plans).

Les droites et les plans issus d'une ACP ne seront pas réalisés avec les variables initiales mais avec des indices synthétiques obtenus par combinaison linéaire de variables initiales. La méthode cherche d'abord l'indice pour lequel la variation des individus est maximale: cet indice est appelé première composante principale ou premier axe principal.

Dans cette étude, nous avons effectué une analyse statistique (ACP) des eaux de la plaine d'El Mahmel sur la période des hautes eaux. Le but de cette analyse statistique est de faire ressortir:

- Les différentes corrélations significatives entre éléments chimiques afin de comprendre le mécanisme du chimisme des eaux.
- Les points d'eau qui possèdent des concentrations élevées en éléments chimiques par rapport à l'ensemble de la plaine.

Cela nous permet de donner une idée préalable sur les éléments et les sites de pollution.

Ces résultats d'analyse caractérisant les eaux de surface et souterraine de la plaine d'El Mahmel ont permis la réalisation d'une analyse en composantes principales (hautes eaux).

II.10.1. Résultats et interprétations

La matrice des données comporte 14 variables et 13 individus, le traitement réalisé a donné une inertie totale de 90.34 % pour les deux axes F1 et F2. (Fig.68)

- Le facteur F2 avec 24.16% montre une opposition entre deux familles, la première regroupant l'ammonium, les nitrites et les nitrates provenant de l'utilisation des engrais. La deuxième comporte les éléments majeurs caractérisant la minéralisation des eaux comme le Na, le Ca, le Mg, le SO_4 et le Cl, HCO_3 ces éléments semblent avoir la même origine.

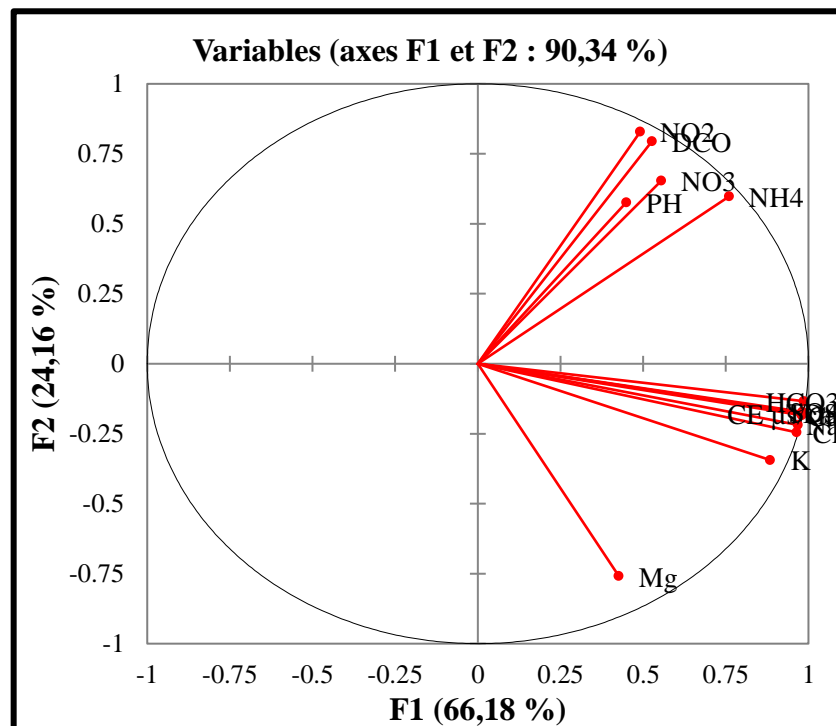


Fig.68 : Cercle de l'ACP

La projection des individus (Fig.69) montre l'existence de trois groupes:

A / Le groupe de minéralisation traduit les eaux de surface ES8, ES9

B / Le deuxième celui des eaux souterraines P1, P2, P3 et P4

C / Le dernier groupe concerne les eaux de surface: ES1, ES2, ES3, ES4, ES5, ES6, ES7 qui sont riches en nitrate (pollution agricole).

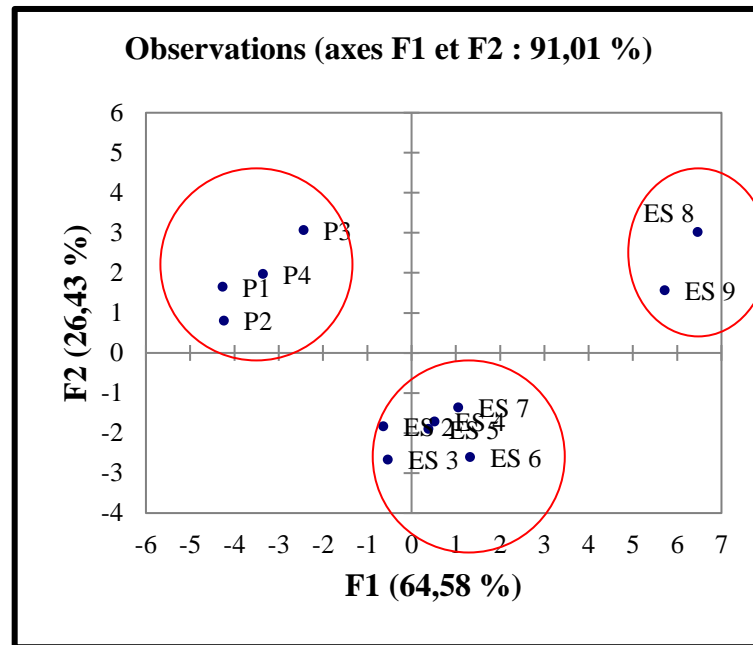


Fig.69: Répartition des individus

Conclusion

L'étude hydro chimique des eaux de la région d'Sbikha (zone semi-aride), montre que cette étude a permis une évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de Sebka et des eaux souterraines des hauts plateaux constantinois. L'analyse des résultats a révélé que les eaux des points contrôlés sont affectées par une pollution d'origine géologique et anthropique, dans la zone d'étude la dégradation de la qualité des eaux est due essentiellement à la présence des nitrates qui semblent être liés aux eaux usées rejetées sans traitement et à l'utilisation des engrais en agriculture. Les eaux de la partie aval sont caractérisées par des valeurs élevées de la conductivité électrique et des chlorures associées au sédiment évaporitique.

Conclusion Générale

Les différents chapitres de notre étude ont fait l'objet de connaître les paramètres physico- chimiques des eaux de Sebkhet El Mahmel, résumons-nous brièvement les résultats obtenus :

- Sebkhet El Mahmel située dans la commune d' El Mahmel, daïra d'Ouled Rechache wilaya de Khenchela (Est Algérien) couvrant une superficie de 1.290 hectares, elle se trouve entourée par Djebel Chattaia (1455 m d'altitude) à l'Ouest, Djebel Tafrennt (1406 m) au nord, Djebel Tadinart (1408m) et Djebel Tadelist (1410 m) au sud, alors qu'à l'Est, elle s'ouvre sur la plaine de Dhalaal, alimenté continuellement par Oued Ounrhal et Oued Gueuntis qui déversent dans Oued Meskiana via Oued El-Melah.
- L'étude géologique montre que la zone d'étude, fait apparaître des terrains du Quaternaire et du Crétacé

Sebkhet El Mahmel est soumise à un climat méditerranéen de type semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec, avec des précipitations annuelles de l'ordre de 470.16mm, la température moyenne annuelle est de 15.87°C.

- L'étude hydrogéochimique a été réalisée afin de caractériser la qualité des eaux, les analyses physico chimiques effectuée au niveau de Sebkhet EL Mahmel (eau de surface et souterraine) montrent que sont des eaux polluée et ne rentrent pas dans les normes de l'OMS. D'autre part ces analyses montrent que la plus part des eaux analysées à l'échelle de notre zone d'étude présentent un faciès chlorurée calcique et magnésienne, qui dépendent de la nature géologique.
- La semi aridité de la région caractérisée par une forte évapotranspiration favorise la précipitation du gypse (CaSO_4) donc l'agressivité de ces eaux.
- L'analyse en composantes principale montrée qu'il y'a une corrélation entre les éléments, l'observation du cercle indique que les chlorures sont accompagnés par le sodium et le magnésium, lorsque il y'a une bonne corrélation c'est-à-dire les éléments appartient à la même origine.

Classification des zones humides (Classification RAMSAR)

L'actuelle classification adoptée par la convention RAMSAR couvre les types des zones humides du monde entier. Elle est basée sur la classification développée aux Etats-Unis (Cowardin et al, 1979). Cette classification se divise en 3 classes principales et chaque classe est subdivisée en types.

Tableau N°01: Classification des zones humides de RAMSAR (Frazier, 1999)

	Code	Types RAMSAR
Zones humides marines/côtières	A	Eaux marines peu profondes et permanentes, dans la plupart des cas d'une profondeur inférieure à six mètres à marée basse; y compris baies marines et détroits.
	B	Lits marins aquatiques subtidaux; y compris lits de varech, herbiers marins, prairies marines tropicales.
	C	Récifs coralliens.
	D	Rivages marins rocheux; y compris îles rocheuses, falaises marines.
	E	Rivages de sable fin, grossier ou de galets; y compris bancs et langues de sable, îlots sableux, systèmes dunaires et dépressions intra dunales humides.
	F	Eaux d'estuaires; eaux permanentes des estuaires et systèmes deltaïques estuariens.
	G	Vasières, bancs de sable ou de terre salée intertidaux.
	H	Marais intertidaux; y compris prés salés, schorres, marais salés levés, marais cotidaux saumâtres et d'eau douce.
	I	Zones humides boisées intertidales; y compris marécages à mangroves, marécages à palmiers nipa et forêts marécageuses cotidales d'eau douce.
	J	Lagunes côtières saumâtres/salées; y compris lagunes saumâtres à salées reliées à la mer par un chenal relativement étroit au moins.
	K	Lagunes côtières d'eau douce; y compris lagunes deltaïques d'eau douce.
	Zk(a)	Systèmes karstiques et autres systèmes hydrologiques souterrains, marins/côtiers.
Zones Humides intérieures	L	Deltas intérieurs permanents.
	M	Rivières/cours d'eau/ruisseaux permanents; y compris cascades.
	N	Rivières/cours d'eau/ruisseaux saisonniers/intermittents/irréguliers.
	O	Lacs d'eau douce permanents (plus de 8 hectares); y compris grands lacs de méandres.
	P	Lacs d'eau douce saisonniers/intermittents (plus de 8 hectares); y compris lacs des plaines d'inondation).
	Q	Lacs salés/saumâtres/alcalins permanents.
	R	Lacs salés et étendues/saumâtres/alcalins saisonniers/intermittents.

	Sp	Mares/marais salins/saumâtres/alcalins permanents.
	Ss	Mares/marais salins/saumâtres/alcalins saisonniers/intermittents.
	Tp	Mares/marais d'eau douce permanents; étangs (moins de 8 hectares), marais et marécages sur sols inorganiques; avec végétation émergente détrempée durant la majeure partie de la saison de croissance au moins.
	Ts	Mares/marais d'eau douce saisonniers/intermittents sur sols inorganiques; y compris fondrières, marmites torrentielles, prairies inondées de manière saisonnière, marais à lâches.
	U	Tourbières non boisées; y compris tourbières ouvertes ou couvertes de buissons, marécages, fagnes.
	Va	Zones humides alpines; y compris prairies alpines, eaux temporaires de la fonte des neiges.
	Vt	Zones humides de toundra; y compris mares de la toundra, eaux temporaires de la fonte des neiges.
	W	Zones humides dominées par des buissons; marécages à buissons, marécages d'eau douce dominés par des buissons, saulaies, aulnaies; sur sols inorganiques.
	Xf	Zones humides d'eau douce dominées par des arbres; y compris forêts marécageuses d'eau douce, forêts inondées de manière saisonnière, marais boisés; sur sols inorganiques.
	Xp	Tourbières boisées; forêts marécageuses sur tourbière.
	Y	Sources d'eau douce; oasis.
	Zg	Zones humides géothermiques.
	Zk(b)	Systèmes karstiques et autres systèmes hydrologiques souterrains, continentaux.
Zones humides artificielles	1	Étangs d'aquaculture (par ex. poissons, crevettes).
	2	Étangs; y compris étangs agricoles, étangs pour le bétail, petits réservoirs; (généralement moins de 8 hectares).
	3	Terres irriguées; y compris canaux d'irrigation et rizières.
	4	Terres agricoles inondées de manière saisonnière.
	5	Sites d'exploitation du sel; marais salants, salines, etc.
	6	Zones de stockage de l'eau; réservoirs/barrages/retenues de barrages/retenues d'eau; (généralement plus de 8 hectares).
	7	Excavations; gravières/ballastières/glaisières; sablières, puits de mine.
	8	Sites de traitement des eaux usées; y compris champs d'épandage, étangs de sédimentation, bassins d'oxydation, etc.
	9	Canaux et fossés de drainage, rigoles.
	Zk(c)	Systèmes karstiques et autres systèmes hydrologiques souterrains, artificiels.

Les Références

A

Abdoulaye Demba N'diaye, Khadijettou Mint Mohamed Salem, et al :

Contribution à l'étude de l'évolution Spatio-temporelle de la qualité physicochimique de l'Eau de la Rive droite du fleuve Sénégal, J. Mater. Environ. Sci. 5 (1) (2014) 320-329.

Algerie terre d'afrique : Les Zones humides en Algérie 29 Juin 2012.

Ammouche F (2013) : Etude de la qualité des eaux souterraines, Université de Tlemcen.

Anonyme (2007) : Les zones humides : valeurs et fonctions. Document interne, Ramsar, Suisse.

B

Barnaud (1991) : Qu'est-ce qu'une zone humide ? Compte rendu des avis d'experts, définitions scientifiques et juridiques. Laboratoire ESNM-MNHM. Rapport inédit, 10 p.

Bermond R, et Perrdon C : Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement Paris, (1979) 259.

Ben Azouz M T (1986) : Recherche géomorphologiques dans les hautes plaines de l'Est algérien.

Bendjoudi H, et De Marsily G (2000) : Le fonctionnement hydrologique des zones humides.

Bouchereau J M (1992) : Estimation des émissions atmosphériques de métaux lourds en France pour le Cr, le Cu, Le Ni, Le Pb et le Zn, Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (CITEPA), Paris.

Bouchecker A (2005) : Ecologie de la reproduction de l'Avocette élégante *Recurvirostra avosetta* dans les hautes plaines du Constantinois. Mémoire de Magister en Ecologie et Environnement. C.U. d'Oum El-Bouaghi.

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

Bouakkaz A (2017) : Ecologie du peuplement avien de la sebkha De Ouled Amara (El-Mahmel, wilaya de Khenchela), Thèse de Doctorats, Université de Annaba, 119 p.

Bremond R, et Vuichard.R : Paramètres de la qualité des eaux, Ministère de la protection de la nature et de l'environnement, SPEPE, Paris, (1973) 179.

C

Callender E (2003) : Heavy Metals in the Environment-Historical Trends. In: B.S. Lollar (Ed.), Environmental Geochemistry. Treatise on Geochemistry. Elsevier-Pergamon, Oxford, pp. 67-105.

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.

Cowardin L M, Carter V, Golet F C et Laroe E T (1979) : Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. US Fish and Wildlife service.

Cretinon (1994) : Définition des principaux paramètres utilisés en hygrométrie, Bulletin du Bureau National de Métrologie, 25 (98), 3-6 (1994).

D

Dajoz R (1985) : Précis d'écologie, édit, Dunod, paris, 505 p.

Dajoz R (2006) : Précis d'écologie. 8^{éd}, Dunod, Paris, 621 p.

De Groot R S, Stuij M A M, Finlayson C M et Davidson N (2006) : Valuing wetlands: guidance for valuing the benefits derived from wetlands ecosystem services. Ramsar Technical Report No. 3/ CBD Technical Series No. 27. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland et Secretariat of the convention on biological diversity, Montreal, Canada.

Deliste C E, et Schmidt J W : The effects of sulphur on water and aquatic life in Canada. Dans: Sulphur and its inorganic derivatives in the Canadian environment, NRCC No. 15015, comité associé sur les critères scientifique concernant l'état de l'environnement, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (1977).

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

Djazair : Les zones humides en Algérie Publié dans Info Soir le 11 - 11 – 2010.

E

Enageo (1988) : document interne. Étude géophysique dans le synclinal d'El Mahmel. 11p.

F

Fergusson J E (1990) : The heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects, 1. Pergamon Press, Oxford, 614 pp.

Frazier (1999) : Classification des zones humides de Ramsar, Manuel pratique d'identification et de délimitation des zones humides du sud-est de la France.

Fustec E, Lefeuvre J C (2000) : Fonctions et valeurs des zones humides, Dunod, Paris, 426p.

G

Gaagai (2009) : Etude hydrologique et hydro chimique du Bassin versant du barrage de Babar sur Oued El Arabe région Est de l'Algérie. Mémoire Magister, université de Batna Faculté des sciences de l'Ingénieurs, Département d'Hydraulique. 130 p.

Gouga H (2014) : Biodiversité faunistique à Sebket Bazer (Sud de Sétif) connaissance et conservation, 174p.

Grillas P, Gautier P, Yavercoski N et Pernnou C (2004) : Les mares temporaires méditerranéennes, Enjeux de conservation, fonctionnement et gestion. Station biologique de la tour du valat, vol 1, 118p.

H

Hem J D (1976) : Geochemical controls on lead concentrations in stream water and sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40(6): 599-609.

Horowitz A (1985) : A prime on Trace Metal Sediment Chemistry, United States Geological Survey.

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.

Hurlbut Jr, C S et Klein C (1982) : Manual de Mineraloga de Dana. Editorial Reverté, Barcelona, 564 pp.

J

JORA (2003) : JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

K

Khadri Samira (2009) : Qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie aval : Impacts des néo-facteurs de pollution. Mémoire de magister, université Annaba. 134 p.

Khabthane Abdelhamid (2010) : Actes du Séminaire International sur la Biodiversité Faunistique en Zones Arides et Semi-arides Université Kasdi Merbah Ouargla AVIFAUNE DE CHOTT SBIKHA (KHENCHELA) 1 INVENTAIRE DE L'AVIFAUNE DE LA ZONE HUMIDE DE SBIKHA DANS LA REGION SEMI-ARIDE DE KHENCHELA, 4p.

Khabthane Abdelhamid (2015) : Etude sur la zone humide « Sebkhath El Mahmel », PHASE 03 : Menaces écologiques sur Sebkhath El Mahmel « Chott Sbkha ».

L

Lantzy R J, et Mc Kenzie F T (1979) : Atmospheric trace metals: global cycles and assessment of man's impact. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43: 511-523.

Le Maghreb dz : Environnement : L'Algérie Journée mondiale des zones humides « Skikda: 03-02-2016 »

Lenntech Water Treatment Solutions (2017) : Mechanical and Industrial Engineering 30 november 2017, Lenntech was the Winner of the Innovation Award in category Water Treatment.

M

Mahan B H (1987) : Química. Curso Universitario. Fondo Educativo Interamericano S. A.

Matthess.G. Geol. Mijinbouw : 53, 194. -In Forstner U ETWittmann GTW Metal pollution in the Aquatic Environment, (1994) 355-359.

Maltby.E, Mockler. N, Et Mcinnes. R (1996) : Denitrification rates in river marginal wetlands and buffer zone management. In Merot et Jigorel, eds. Les colloques. Hydrologie dans les pays celtiques. INRA, Paris, pp. 293–303.

Mc Cartney.M.P, et Acreman.M.C (2009) : Wetlands and water resources. In Wiebe K. et Gollehon Ne., eds. Quality Assurance. Wiley-Blackwell, Oxford, pp. 344–376.

MEA (2005) : Ecosystems and human wellbeing: Wetlands and water Synthesis. Millennium Ecosystem Assessment (MEA), World Resources Institute, Washington, DC. Available at: [http://www. Millenniumassessment.org/document.358.aspx.pdf](http://www.Millenniumassessment.org/document.358.aspx.pdf).

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

N

Nedjah R (2005) : Ecologie de la reproduction de l'Echasse blanche *Himantopus himantopus* dans le site d'Ouled M'Barek (Khenchela, Algérie). Mémoire de Magister en Ecologie et Environnement. Centre Universitaire d'Oum El-Bouaghi.

Nisbet E G, et Verneau O : Composantes chimiques des eaux courantes, discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. Ann. Limn, 6(2) (1970) 161-190.

Nouayti N, Khattach D, Hilali M (2015) : Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc) Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz (Central High Atlas, Morocco)

Nriagu J O (1978) : The biogeochemistry of lead in the environment. Elsevier, Amsterdam, 1011 pp.

Nriagu J O (1979) : Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. Nature, 279: 404-411.

Nriagu J O (1991) : Human influence on the global cycling of trace metals. In: J.D. Farmer (Ed.), Heavy Metals in the Environment. CEP Consultants, Edinburgh, pp. 15.

Nriagu J O (1996) : A History of Global metal Pollution. Science, 272(april): 223-224.

O

Olivier M J (2009) : Chimie de l'environnement, 6ème édition, Québec, Les productions Jacques Bernier, 368 p.

P

Pesson P : Pollution des eaux continentales, incidences sur les biocénoses aquatiques (1979) 97-101.

Phelan J M, Finnegan D L, Ballantine D S, Zoller W H, Hart M A et Moyers J (1982) : Airborne aerosols measurements in the quiescent plume of Mount St. Helen in September, 1980. Journal of Geophysical Research, 90(1093-1096).

Pinay G, et Trémolières M (2000) : La rétention et l'élimination de l'azote. In Fustec E. et Lefeuvre J.C Fonctions et valeurs des zones humides", Dunod, Paris.

R

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

Ramade F (2003) : Éléments d'écologie fondamentale. éd. Dunod, Paris, 690 p.

Ramsar (1971) : Le Manuel de la Convention de RAMSAR: Guide de la Convention sur les zones humides, 120 p.

Ramsar (1971) : Convention sur les zones humides, 2p.

Ramsar (2000) : Background papers on Wetland Values and Functions. Document d'information Ramsar, Secrétariat de la Convention Ramsar, Gland, Suisse, Disponible au : <http://www.ramsar.org/cda/Ramsar/display/main/main.jsp/>

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

Rodier J : L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 7ème édition, Dunod, Paris, (1984) 1353.

Rodier J, et al : L'analyse de l'eau, 9e édition. DUNOD (éditeur), Paris, France. (2009) 1579.

Rodier (2009) : l'analyse de l'eau, 9^{ème} édition, Dunod ; 1526

S

Skinner J et Zalewski S (1995) : Fonctions et valeurs des zones humides méditerranéennes. Booklet Medwet/Tour du valat, N°2. France, 80p.

T

Thabti R, Reghis A (2016) : Contribution à l'étude des causes de la salinité des eaux Souterraines De la commune d'El Mahmel. Mémoire de Master 2 en Ecologie et Environnement. Université de Khenchela Abbes Laghrour, 74 p.

V

Vitamine dz : les-zones-humides-en-algerie 28-01-2013.

W

Wedepohl H K (1995) : The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(7): 1217-1232.

Z

Zedam Abdelghani (2015) : Etude de la flore endémique de la zone humide de Chott El Hodna Inventaire - Préservation, Thèse de Doctorat en Sciences, Université Ferhat Abbas Sétif1, 197 p.

Chapitre I : Généralité sur les Zones Humides

I.1. Définition scientifique des zones humides

Les zones humides se caractérisent par la présence, permanente ou temporaire, en surface ou à faible profondeur dans le sol, d'eau disponible douce, saumâtre ou salée. Souvent en position d'interface, de transition entre milieux terrestres et milieux aquatiques proprement dits, elles se distinguent par des sols hydro morphes ou non évolués, et/ou une végétation dominante composée de plantes hygrophiles au moins pendant une partie de l'année. Enfin elles nourrissent et/ou abritent de façon continue ou momentanée des espèces animales inféodées à ces espaces. **(Barnaud, 1991).**

I.2. Définition des zones humides selon RAMSAR

Une définition a été établie pour les zones humides par la convention de RAMSAR du 2 février 1971, relative aux zones humides d'importance internationale, en tant que qu'habitats des oiseaux d'eau « les zones humides sont des étendues de marais, de fagne, de tourbière ou d'eau 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 ». **(RAMSAR, 1971).**

I.3. La convention de RAMSAR

La Convention sur les zones humides est un traité inter gouvernemental qui a été adopté le 2 février 1971 dans la ville iranienne de RAMSAR, sur les berges méridionales de la mer Caspienne.

Il s'agit du premier traité inter gouvernemental moderne, d'envergure mondiale, sur la conservation et l'utilisation durable des ressources naturelles mais, si on compare son texte avec celui d'instruments plus récents, on constate que ses dispositions sont relativement simples et générales. Au fil des ans, la Conférence des Parties contractantes a élaboré et interprété les principes de base du texte du traité, réussissant ainsi à maintenir les travaux de la Convention en résonance avec l'évolution des perceptions, priorités et tendances mondiales de la pensée de l'environnement. **(RAMSAR, 1971).**

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)**

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).

L'Algérie, ayant ratifié dès 1982 la convention de RAMSAR a adopté une démarche volontariste pour le classement, la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources.

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).

I.4. Critères d'identification des zones humides d'importance internationale

« RAMSAR »

Une zone humide est identifiée comme étant d'importance internationale si elle remplit l'un ou l'autre des critères présents ci-dessous :

I.4.1. Groupe A des Critères (Sites contenant des types de zones humides représentatifs, rares ou uniques)

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. (RAMSAR, 2013).

I.4.2. Groupe B des Critères. Sites d'importance internationale pour la conservation de la diversité biologique

I.4.2.1. Critères tenant compte des espèces ou des communautés écologiques

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. (RAMSAR, 2013).

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. (RAMSAR, 2013).

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. **(RAMSAR, 2013).**

I.4.2.2. Critères spécifiques tenant compte des oiseaux d'eau

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. **(RAMSAR, 2013).**

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. **(RAMSAR, 2013).**

I.4.2.3. Critères spécifiques tenant compte des poissons

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 inter spécifiques et/ou de populations représentatives des avantages et/ou des valeurs des zones humides et contribue ainsi à la diversité biologique mondiale. **(RAMSAR, 2013).**

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.

I.4.2.4. Critère spécifique tenant compte d'autres espèces

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. **(RAMSAR, 2013).**

I.5. Les fonctions et les valeurs des zones humides

Les milieux humides ont de nombreuses fonctions et valeurs qui leur donnent un intérêt particulier, et qui permettent de participer à la gestion de la ressource en eau et des milieux aquatiques sur le territoire, ce sont donc des services rendus aux sociétés. **(Anonyme, 2007).**

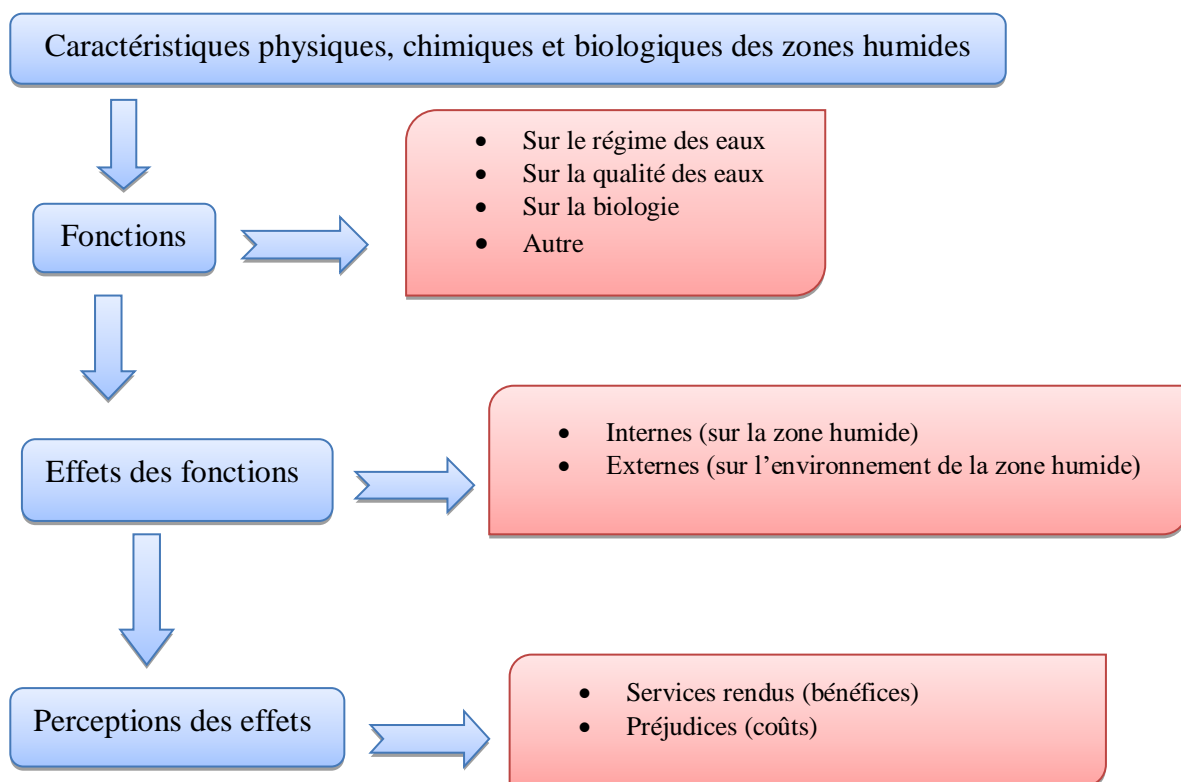


Fig.01 : Fonctions des zones humides, effets et perceptions (Barnaud et Fustec, 2007)

I.5.1. Les fonctions des zones humides

I.5.1.1. La fonction climatique

Les zones humides participent à la régulation des microclimats. Les précipitations et la température atmosphériques peuvent être influencées localement, elle peut aussi tamponner les effets des sécheresses des certains activités agricoles.

I.5.1.2. La fonction hydrologique

A travers les échanges de flux avec le cours d'eau, la nappe et le versant, les zones humides déterminent de nombreuses fonctions hydrologiques. Les zones humides assurent un stockage latéral (eaux en provenance du versant) et un stockage longitudinal (eaux en provenance du réseau hydrographique). Elles jouent un rôle tampon : en période de hautes eaux, elles ralentissent l'écoulement des eaux réduisant ainsi le risque de crue (**Fustec E, Lefeuvre J C, 2000**) ; à l'inverse, en période de basses eaux, elles libèrent une quantité d'eau permettant de limiter un étiage trop sévère (**Bendjoudi H et de Marsily G, 2000**). La modélisation des fonctions hydrologiques des zones humides est complexe car elle nécessite une série de mesures très approfondies. Les quelques modèles hydrologiques spécifiquement dédiés aux zones humides n'évaluent qu'une fonction et ne sont pas transférables à d'autres

sites en raison de la variabilité spatio-temporelle de ces milieux (**Mc Cartney, M P. et Acreman, M C, 2009**).

I.5.1.3. La fonction biogéochimique

L'eau, en provenance de la zone contributive et qui transite via la zone humide subite, selon les cas, des transformations physico-chimiques. Elle peut être épurée, dénitrifiée, débarrassée d'une partie des pesticides, s'acidifier.... Par exemple, l'élimination de l'azote s'effectue selon deux processus : une absorption par la végétation et une dénitrification microbienne au niveau du sol. Ces processus dépendent des conditions géomorphologiques, du régime des eaux, et du type d'occupation des sols... (**Pinay G et Trémolières M, 2000**). Les fonctions de dénitrification sont principalement efficaces dans les zones de contact entre la zone source ou contributive et la zone humide ainsi que dans les secteurs de transit lent au sein de la zone humide, là où il y a des apports de nitrates et des conditions anaérobies (**Maltby E et al, 1996**). Les activités maximales d'absorption et de dénitrification peuvent être séparées dans le temps (**Pinay G et Trémolières M, 2000**) : l'absorption par la végétation est maximale au printemps, alors que la dénitrification bactérienne prend le relais au cours des autres saisons.

I.5.1.4. La fonction diversité d'habitats floristique et faunistique

Le terme biodiversité regroupe plusieurs notions telles que le nombre d'espèces et d'habitats observés mais aussi leur rareté et la diversité génétique des populations. Ce sont c'est à dire leur localisation à l'interface entre des écotones et (**Ramade F, 2003, Dajoz R, 2006**) milieux aquatiques et terrestres leur confère des conditions favorables à la diversité spécifique où la vie de nombreux organismes y dépend.

I.5.2. Les valeurs des zones humides

I.5.2.1. La valeur économique

Les zones humides offrent un rôle économique par ses nombreux services et fonctions rendus et qui possède une valeur économique avérée (**MEA, 2005**). Toutefois, l'évaluation économique d'une zone humide est difficile à réaliser car il faut attribuer à cette évaluation une quantification chiffré des ressources, des bénéfices et des qualités du système (**De Groot, 2006**). Pour rendre ces valeurs explicites, les économistes ont décomposé la valeur monétaire des zones humides en trois composantes principales, dont la plus facile à intégrer dans les systèmes économiques courants : c'est la valeur de l'utilisation directe qui englobe tous les bénéfices issus de la vente des produits des zones humides comme, par exemple, les poissons ou les roseaux ainsi que l'exploitation touristique (**Skinner et Zalewski, 1995**).

I.5.2.2. La valeur biologique

Les zones humides abritent une très riche collection de plantes et d'animaux. Seule une toute petite proportion de leurs vastes ressources génétiques a pu être étudiée et une part plus modeste encore se trouve dans la consommation humaine. Par ailleurs de nombreuses espèces rares et en danger vivent dans les zones humides ou en dépendent particulièrement. Tandis que d'autre n'y passent qu'une partie de leur cycle vital, ou les visitent à des fins particulières, afin de s'y reposer, frayer ou se nourrir (**Skinner et Zalewski, 1995**).

I.5.2.3. La valeur touristique et récréatives

Les zones humides, par leur beauté naturelle ainsi que par la diversité de la vie animale et végétale que l'on y trouve, sont des destinations touristiques idéales. Les sites les plus beaux sont protégés dans des parcs nationaux ou des biens du patrimoine mondial et peuvent générer un revenu considérable du tourisme et des utilisations pour les loisirs. Dans certains pays, ce revenu est un poste non négligeable de l'économie nationale. (**De Groot, 2006 ; MEA, 2005**). Aux activités récréatives telles que la pêche, la chasse et la navigation participent des millions de personnes qui dépensent des milliards de dollars. (**RAMSAR, 2000**).

De nombreux visiteurs de zones humides viennent y chercher la tranquillité, ou une source d'inspiration pour l'écriture, la peinture ou la photographie. (**Skinner et Zalewski, 1995**).

I.5.2.4. La valeur socioculturelle

L'utilisation des sociétés humaines des zones humides leur confère une vocation sociale conviviale où l'activité cynégétique est souvent associée à ces rencontres. Parfois ces milieux recèlent une valeur spirituelle. (**Zedam A, 2015**).

I.6. 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. Pourtant, de nombreuses menaces pèsent sur elles. Tout comme les forêts tropicales, les zones humides sont détruites à un rythme sans précédent. Privées parfois de leur eau par des pompes excessifs ou par la construction irréfléchie de barrages, elles sont même complètement drainées au profit de l'agriculture. (**Djazair, 2010**).

En Algérie, il existe environ trente espèces de poissons d'eau douce, 784 espèces végétales aquatiques connues. Et là, il faut, tout de même remarquer que les zones humides siège d'une biodiversité sans pareil, groupée sur de petites étendues, n'échappent pas à une dynamique de destruction qui remet en cause l'existence d'un nombre élevé d'espèces floristiques et

faunistiques. L'impact le plus important est celui de la disparition de certaines plantes rares ou rarissimes. (**Vitamine dz, 2013**).

Actuellement, on constate une réelle volonté de renverser cette tendance et l'Algérie en tant que partie contractante à la Convention de RAMSAR sur les zones humides se préoccupe de la sauvegarde et la gestion rationnelle de ces milieux, elle cherche à en connaître leurs aspects socio-économiques. (**Le Maghreb dz, 2016**).

L'Autorité de la Convention de RAMSAR en Algérie, la Direction générale des Forêts, a classé 42 sites sur la Liste de la Convention de RAMSAR des zones humides d'importance internationale, avec une superficie de plus de 3 millions d'hectares, soit 50% de la superficie totale estimée des zones humides en Algérie. (**Algérie terre d'Afrique, 2012**)

Le dernier recensement effectué en 2006, a dénombré 1451 zones humides en Algérie, dont 762 sont naturelles. Aujourd'hui, avec les nouvelles connaissances, le nombre de zones humides dépasse le millier si l'on inclut oueds, grottes, oasis, daya, et zones côtières. En Algérie, il reste encore à sensibiliser tous les utilisateurs de l'eau et des zones humides et aussi à réfléchir sur la gestion des écosystèmes aquatiques, car leur devenir à long terme dépend de leur gestion. (**Le Maghreb dz, 2016**).

En Algérie, il existe plusieurs appellations des zones humides :

- **Chott** : Lac salé, c'est une cuvette endoréique fermée de faible profondeur, située à l'intérieur de terre, il comprend une ceinture de végétation à base de plantes supportant différent taux de salinité (salsolacées), et au centre, un plan d'eau de forte à très forte salinité appelé Sebkha.
- **Sebkha** : Ce sont des dépressions peu profondes, renfermant de l'eau salée pendant de longues périodes, ne s'asséchant qu'aux plus fortes températures de l'été, certaines d'entre elles peuvent même rester humides toute l'année, les Sebkhas se différencient en fonction de la présence et de la nature de la végétation. (**DGF, 2002**).
- **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** : Petit plan d'eau « au sud » 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** : grande étendue d'eau douce plus rarement d'eau salée, située à l'intérieur des terres, il possède un point central plus bas, reliée ou non à un réseau hydrologique l'origine peut être naturelle "Tectonique, Volcanique, Karstique, Glaciaire", ou artificielle, résultant de l'aménagement et de la régulation du réseau hydrographique à des fins diverses.
- **Daya** : plan d'eau généralement salée de faible profondeur, pourvu d'une végétation aux alentours de ses rives seulement, elle est alimentée par la remontée de la nappe et par les eaux des pluies.
- **Mares** : Les mares sont des milieux singuliers, ni vraiment aquatique ni complètement terrestres. Les mares sont définie comme étant des zones humides de petite taille « habituellement inférieur à 10 ha » et peu profondes caractérisées par des alternances des phases sèches et inondées et par un fonctionnement hydrologique très autonome.
- **Les mares temporaires méditerranéennes** : planes d'eaux temporaires très peu profondes
« Quelques centimètres » existant seulement en hiver ou à la fin du printemps, avec une végétation amphibie méditerranéenne. (Grillas P *et al*, 2004).

I.6.1. Les zones humides de l'Est Algérien

L'éco-complexe des zones humides des hautes plaines de l'est de l'Algérie « Constantinois » couvrent une vaste région entre Sétif « 1,200 m » et à Ain Beida « 800 m ». Il s'étale sur à peu près 300 Km et comprend une quinzaine de milieux humides plus ou moins étendus. La plupart s'assèchent en été et les autres ne se remplissent d'eau que durant les années de forte pluviosité (Ben Azouz, 1986). Les milieux les plus spacieux sont inclus dans la région dite des Sebkhass qui est enclavée entre les wilayas d'Oum El Bouaghi, Batna, Khenchela.

Ces zones humides, encore mal connues, sont dans leurs majorités très salines et difficilement accessibles, elles sont occupées principalement par des plantes halophytes et autres crucifères et constituent des zones d'hivernages pour de nombreux oiseaux d'eau en particulier les Flamants Roses et les Grues cendrées. (Hivernage des Grues cendrées (*Grus grus*) dans le complexe de zones humides des hautes plaines de l'est de l'Algérie. (Houhamdi M, *et al* 2008).

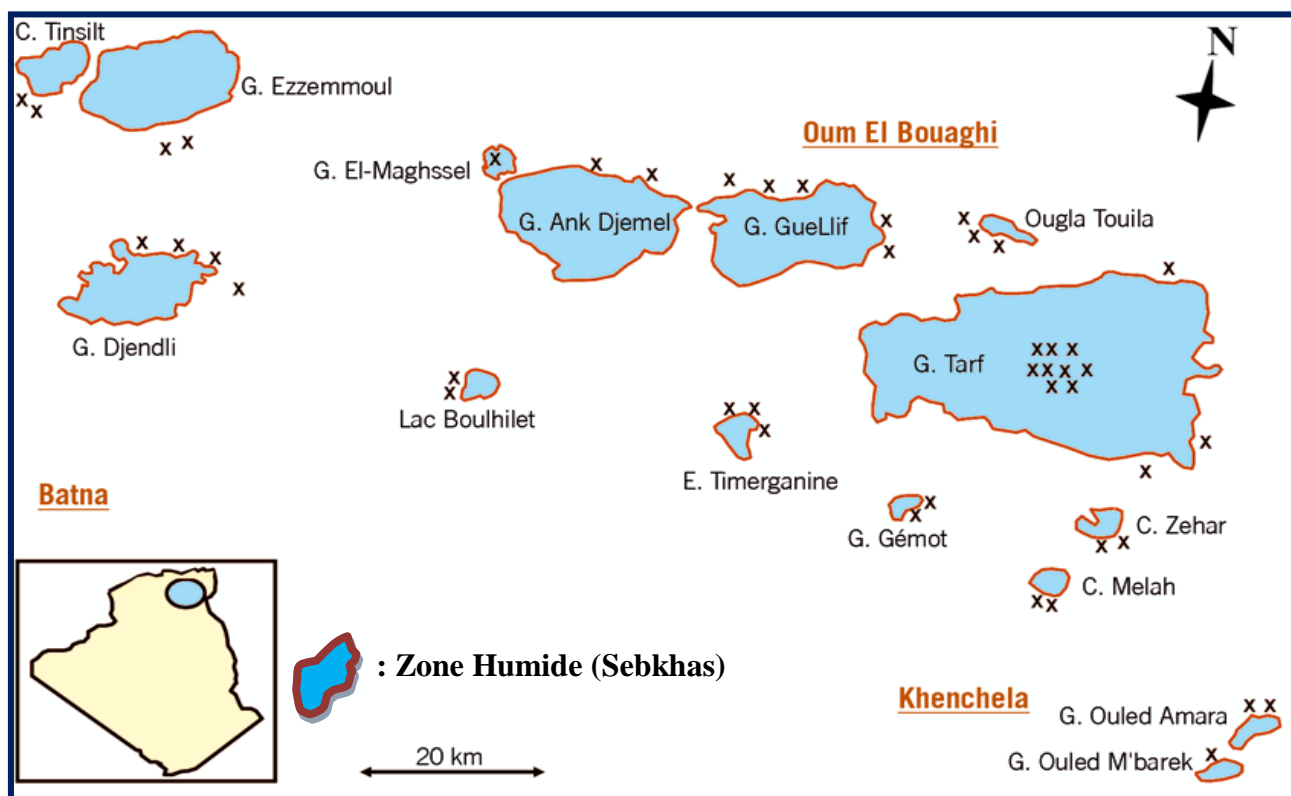


Fig.02: Situation géographique de l'éco-complexe de zones humides des hautes plaines de l'Est algérien (Direction Général des Forets Khenchela, 2018)

I.7. Généralité sur les sebkhas

I.7.1. Définition de la sebkha

Sebkha en arabe, mot qui désigne les plaines soumises à des inondations périodiques. Dans les milieux désertique, les dépressions ne sont occupées que temporairement par de l'eau. Une forte évaporation conduit à la formation caractéristique d'une croûte d'évaporites qui tapissent le fond de ces dépressions. (Yves, 2003).

Une sebkha désigne un bassin occupant le fond d'une dépression à forte salinité plus ou moins séparé d'un milieu marin, dans des régions arides (milieu supra tidal). Néanmoins, il peut être toujours en contact par un très faible filet d'eau (bassin d'eau profond), ou au contraire par des infiltrations (bassin d'eau peu profond) dans ce cas il peut se produire des débordements, d'eau vers le bassin. Dans les deux cas il va y avoir une augmentation de la salinité, une évaporation importante, l'apparition d'une saumure et la précipitation d'évaporites au fond du bassin si la profondeur est faible, ou à une extrémité si la profondeur est importante sont surtout situés au Nord de l'Afrique et dans le Moyen Orient. (Yves, 2003).

I.7.2. Les systèmes de sebkhas

Les sebkhas sont des écosystèmes naturels, qui présentent des intérêts très diversifiés, ces systèmes sont utilisés comme des indicateurs de révolutions géochimiques naturelles, le suivi de cette évolution est non disponible dans les autres systèmes (lac éternels, chambre magmatique) sur le plan écologique. Les sebkhas sont des biotopes très importants, qui ont contribué 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).

I.7.3. Classification des Sebkhas

I.7.3.1. Classification selon le bilan hydrologique

L'étude qui a été 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 hydrologiques à savoir :

A. 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 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.

B. 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 contrepartie, 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.

C. 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.7.3.2. 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 Med H, 2012).

I.8. 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.

I.8.1. Les facteurs et les menaces d'origines naturelles

I.8.1.1. Le dessèchement du plan d'eau

Les périodes de sécheresse prolongées 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 totale de des oiseaux migrateurs pendant les années de sècheresse, dont la présence se base sur l'existence d'un plan d'eau . 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. (Khabthane A, 2015)



Photo.01: Avant l'assèchement de Sebkhet

El Mahmel (2018)



Photo.02: Assèchement de Sebkhet El Mahmel

(2018)

I.8.1.2. 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'intérieur ,ce qui favorise les deux types de l'érosion qui conduit à l'envasement de la cuvette du plan d'eau ,ce qui réduit le temps de son séjour et son dessèchement rapide. (**Khabthane A, 2015**).



Photo.03: L'érosion dans le site Sebkhet El Mahmel (2018)

I.8.2. Les facteurs de pression et de menaces d'origine anthropique

La zone humide de Sebkhet 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'autres activités dont nous décrivons ci-après les plus contraignantes qui touchent la zone sont:

I.8.2.1. 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. 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.

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. **(Khabthane A, 2015), (Bouakkaz A, 2017).**



Photo.04: Pollution de Sebkhet El Mahmel par les rejets solides (2018) **Photo.05:** Pollution de Sebkhet El Mahmel par les rejets liquides (2018)

I.8.2.2. Exploitation croissante des ressources hydriques

L'exploitation croissante des ressources hydriques (superficielles et souterraines) pour les besoins de l'agriculture et d'eau potable 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. **(Khabthane A, 2015), (Bouakkaz A, 2017).**

I.8.2.3. 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 entoure Sebkheth El Mahmel. (Khabthane A, 2015), (Bouakkaz A, 2017).



Photo.06: L'Activité agricole dans la région d'étude (2018)

I.8.2.4. 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 *Phaenicopterus 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.

De plus, les enfants des riverains qui trouvent dans la sebkha un lieu de jeu, ont pris l'habitude de prendre les œufs 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 œufs qui arrivent à éclore car les poussins finiront d'une manière ou d'une autre dans les mains de ces enfants. (Khabthane A, 2015), (Bouakkaz A, 2017).

I.9. Localisation de Sebkhet El Mahmel

I.9.1. Cadre général de la région d'AL Mahmel

La commune d'El Mahmel fait partie de la Wilaya de Khenchela, située à l'ouest elle s'étend sur une superficie de 371Km². La commune d'El Mahmel compte deux agglomérations secondaires (Ouled Azzedine et Icherthithéne).

La commune d'El Mahmel fait partie de la Daïra, 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 la Daïra (Ouled Rechache). Elle occupe un site relativement plat en légère déclivité d'Ouest en Est.



Fig.03: Vue aérienne de la commune d'EL Mahmel (Google Earth, 2018)

I.9.2. Cadre administrative

Avant le découpage administratif de Février 1985, la commune d'El Mahmel faisait partie du territoire de la wilaya de Tébessa, elle a été, donc rattachée à la wilaya de Khenchela en 1985:

- **Au Nord:** la commune de Ain Touila par le Chott Esbikha
- **Au Nord-ouest:** la commune de N'Sigha
- **A L'Ouest et Sud-ouest :** la commune de Babar
- **A L'Est:** la commune d'Ouled Rechache
- **Au Sud :** la wilaya de Tébessa

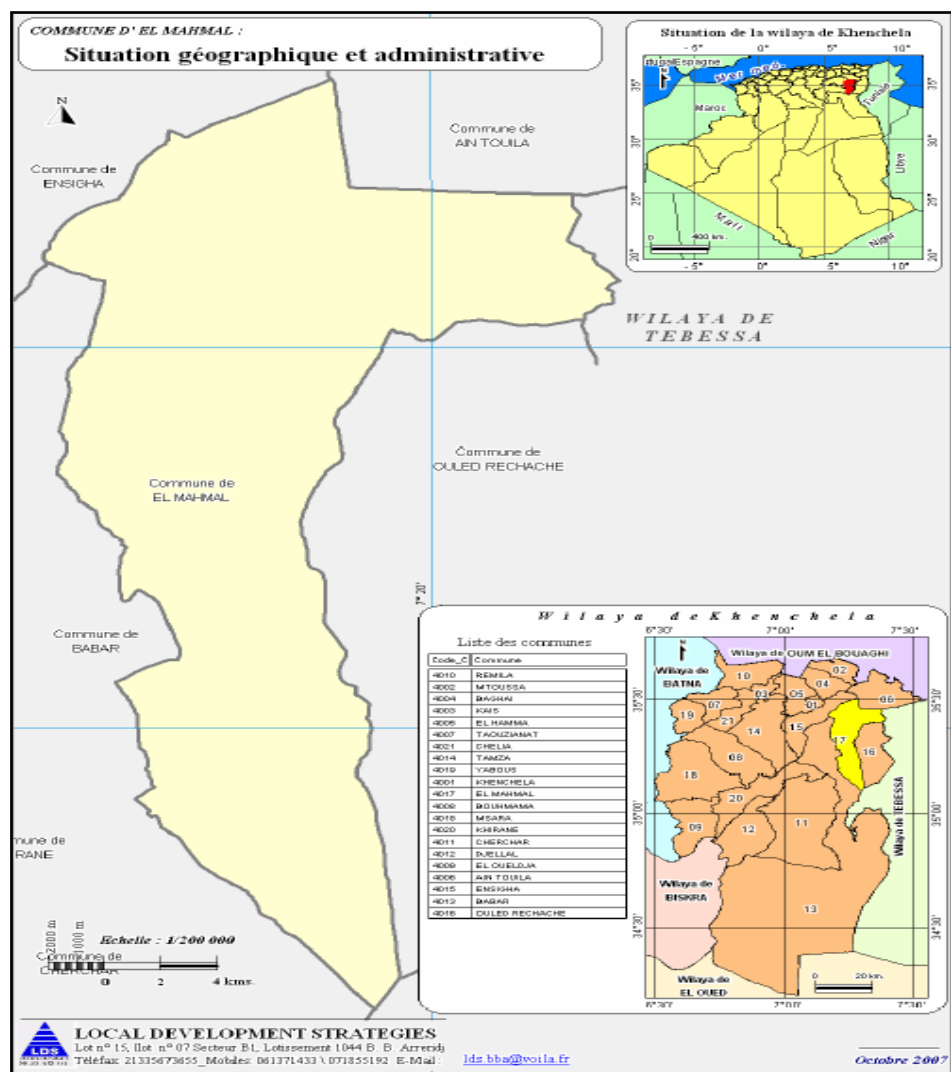


Fig.04: Carte de situation géographique et administrative de la zone d'étude (Direction de l'hydraulique de Khenchela, 2018)

I.9.3. Le cadre géographique

La Sebkhia El Mahmel se situe dans la commune d' El Mahmel, daïra d'Ouled Rechache wilaya de Khenchela (Est Algérien) couvrant une superficie de 1.290 hectares, elle se trouve entourée par Djebel Chattaia (1455 m d'altitude) à l'Ouest, Djebel Tafrennt (1406 m) au nord, Djebel Tadinart (1408m) et Djebel Tadelist (1410 m) au sud, alors qu'à l'Est, elle s'ouvre sur la plaine de Dhalaal, alimenté continuellement par Oued Ounrhal et Oued Gueuntis qui déversent dans Oued Meskiana via Oued El-Melah. (Nedjah R, 2005), (Bouchecker A, 2005).

Avec les Coordonnées géographiques suivantes :

- **Longitude:** 914 km (5°, 49'), 924 km (5°, 25')
- **Latitude:** 236 km (39°, 25'), 244 km (39°, 33')
- **Altitude:** 1070 m

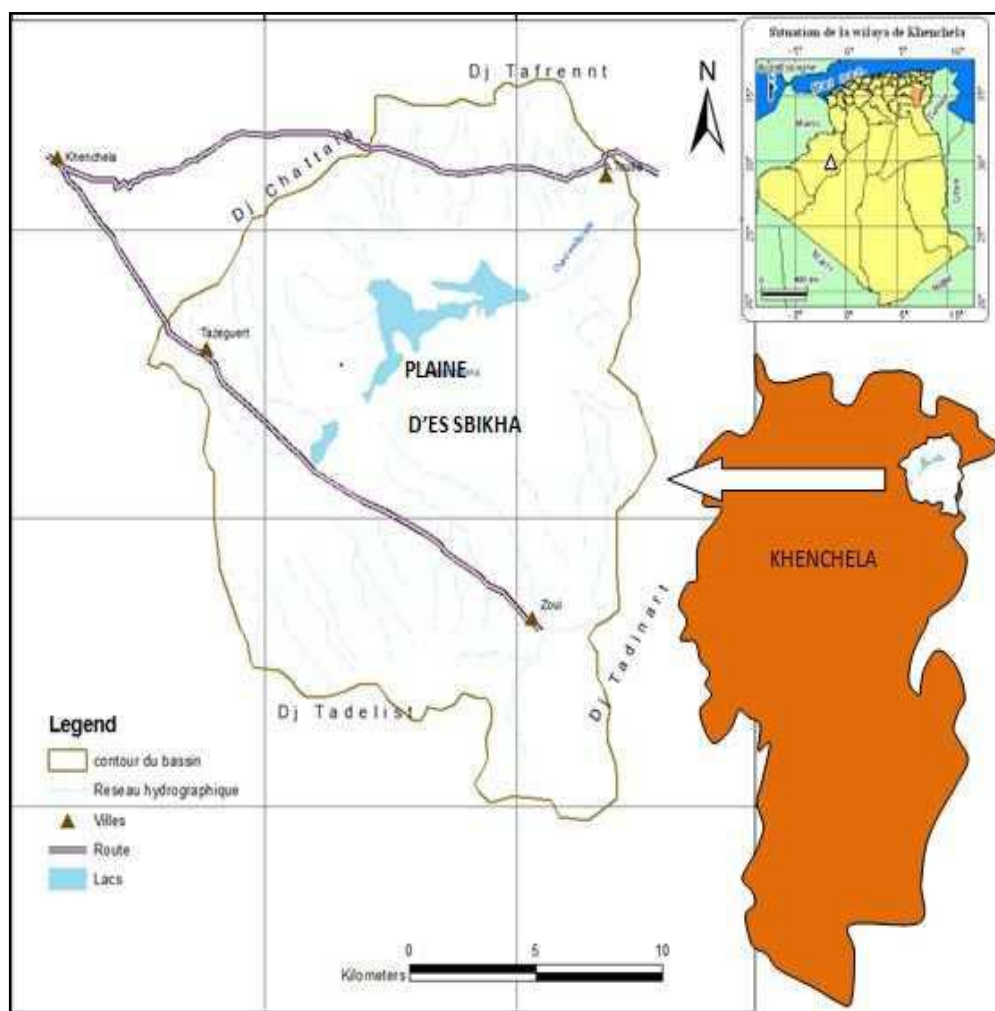


Fig.05: Situation géographique du bassin versant de l'El Mahmel
(Direction de l'hydraulique de Khenchela, 2018)



Fig.06: Vue aérienne de Chott Sbikha (Google Earth, 2018)

I.9.4. Le cadre géologique

I.9.4.1. Cadre géologique de la zone d'étude

Stratigraphie :

La zone d'étude, fait apparaitre des terrains du Quaternaire et du Crétacé (**Enageo, 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 marno-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

➤ **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 glacis 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.

A- 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

B- 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 diapirique 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 ce 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. (J M Villa 1973)



Fig.07 : Carte géologique du plain D'el Mahmel

I.9.5. Les unités morphologiques

La caractérisation physique de la commune 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.

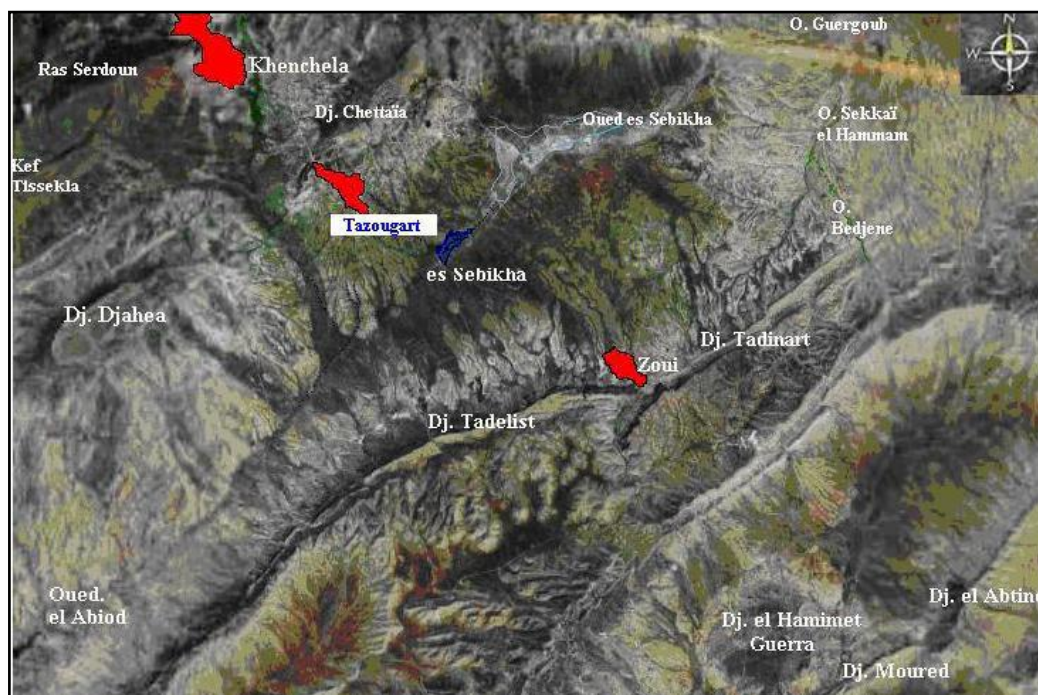


Fig.08: Principaux unités morphologiques de la région d'El Mahmel à partir de l'image satellitaire (Direction de l'Hydraulique de Khenchela, 2018)

I.9.6. Le cadre hydrographique

La région d'étude comme la plupart des zones arides et semi-aride, est caractérisée par un ruissellement de type endoréique. (Thabti.R, Reghis.A, 2016).

I.9.6.1. Les principaux cours d'eau drainant la zone (Chott Sbikha)

- . **Oued Zoui:** dont l'embouchure est à El Mahmel; se dirige au nord de la Commune de Ouled Rechache
- . **Oud Guergoube:** dont l'embouchure se trouve à Guentils se dirige vers le Sud et se disperse au lieu-dit El MEITA et sert à l'irrigation des épandages appelées N'Fidha
- . **Oued Meloul:** prend son embouchure à la commune d'El Mahmel et se Jette à Oued Guergoube
- . **Oued Es Bikha**
- . **Oued El Htiba**
- . **Oued Bou**

I.10. Aspect socioéconomique de Sebkhet El Mahmel

I.10.1. Population

La population de la commune d'El Mahmel dépasse les 41500 habitants (41683 habitants) en 2010 et s'augmente à 42725 habitants en 2012 d'après le recensement général de la population de l'habitat (RGPH) avec un taux d'accroissement de 2,50 %.

I.10.1.1. La structure de la population selon groupe d'âge

L'analyse de la structure d'âge de la population permet de mettre en évidence ses composants, de connaître ses caractéristiques démographiques et de comprendre les interactions entre ses différents groupes d'âge, à travers le temps (Fig.09)

Tab N°01 : La répartition de la population d'El Mahmel (APC d'El Mahmel)

POPULATION	EXISTANT 2011	EXISTANT 2012
Population totale	41 683	42 725
Population urbaine	32 641	33 457
population rurale	9 042	9 268
Enfants de moins de 06 ans	5 055	5 181
Enfants de 6-15 ans	8 686	8 903
Population de 15-29ans	13 568	13 907
Population de 29-59 ans	26 772	27 441
Population 60 ans et plus	2 976	3 050

- ❖ **Le groupe d'âge 15-29 ans** : S'accapare d'une grande proportion par rapport à la population totale.
- ❖ **Le groupe d'âge 29-60 ans** : C'est le groupe le plus important .ce groupe indique la population en travailler .il reflète le potentiel d'actifs apte à participer à la production des biens et des services.
- ❖ **Le groupe d'âge des plus de 60ans** : est le groupe le plus moins représentatif et ne représente un peu plus 7 %.

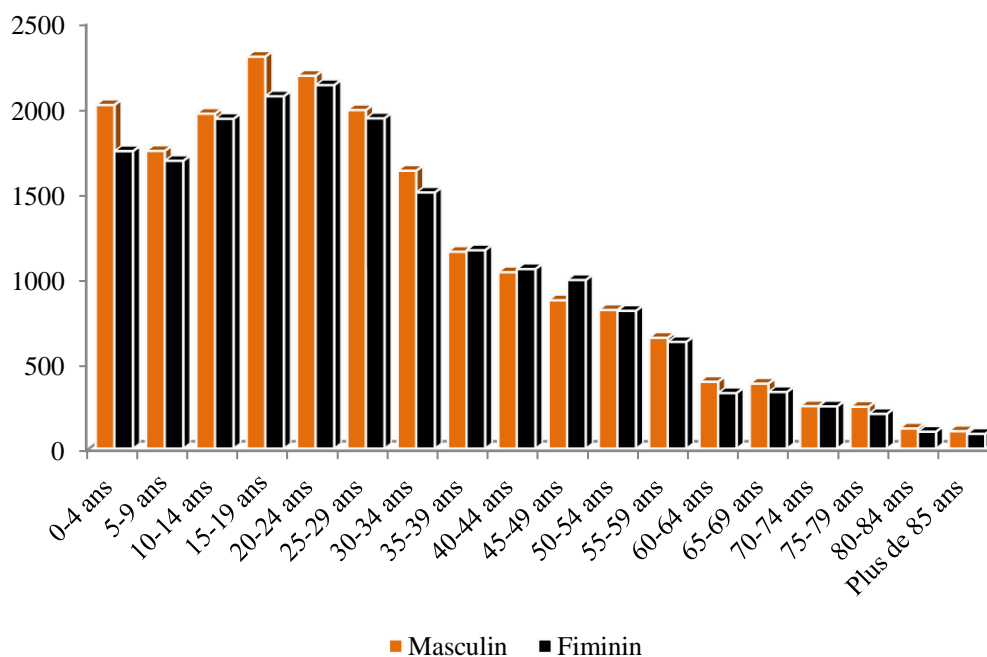


Fig.09: Classe d'Age de la population de la commune d'El Mahmel

(Bureau de statistique d'El Mahmel)

Le croisement de nombre sexe hommes est identique par rapport à nombre sexe femmes. (Fig.10)

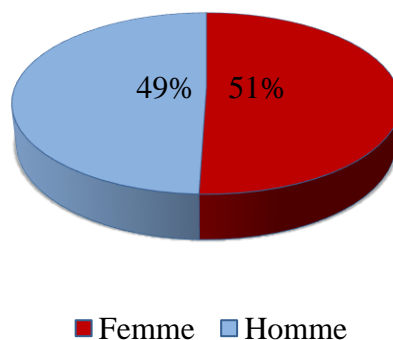


Fig.10: Répartition de population de la commune d'El Mahmel selon le sexe

(Bureau de Statistique d'El Mahmel)

I.10.2. L'Agriculture

L'occupation du sol est un autre facteur dont il faut tenir compte. On peut distinguer, en dehors des zones urbanisées, des zones occupées par la végétation naturelle ou par les reboisements, et des zones de mise en valeur culturale.

Tab N°02: Répartition Générale des Terres de la Commune d'El Mahmel (DSASI, 2018)

TERRES UTILISEES PAR L'AGRICULTURE		EXPLOITATIONS FORESTIERES		TERRAINS IMPRODUCTIFS NON AFFECTES A L'AGRICULTURE		SUPERFICIE TOTALE DE LA COMMUNE
		Forets, Bois, Maquis, Broussailles	Terre alfatières	Y compris le domaine public et le domaine maritime	Terrains urbains, terrains industriels et divers	
TOTAL des Exploitation	Dont : Fermes Pilotes			5	6	
1	2	3	4			7
33 885,00		2 454,00			745,00	37 084,00

Tab N°03: Superficies des cultures irriguées de la Commune d'El Mahmel (DSASI, 2018)

	CEREALES D'HIVER	CEREALES D'ÉTÉ	CULTURES FRUITIERS	CULTURES MARAICHES	CULTURES INDUSTRIELLES	VIGNOBLES	DIVERS
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
TOTAL des Exploitation	850,00	-	1 708,00	206,00	-	-	-

Tab N°04: Mode d'irrigation des terres de la Commune d'El Mahmel (DSASI, 2018)

	ASPERSION	GRAVITAIRE	GOUTTE A GOUTTE	PIVOTS	AUTRES MODES	TOTAL	SUPERFICIES TOTALES DES CULTURES IRRIGUEES
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	
TOTAL des Exploitation	901,00	1 683,00	180,00	-	-	2 764,00	8
							2 764,00

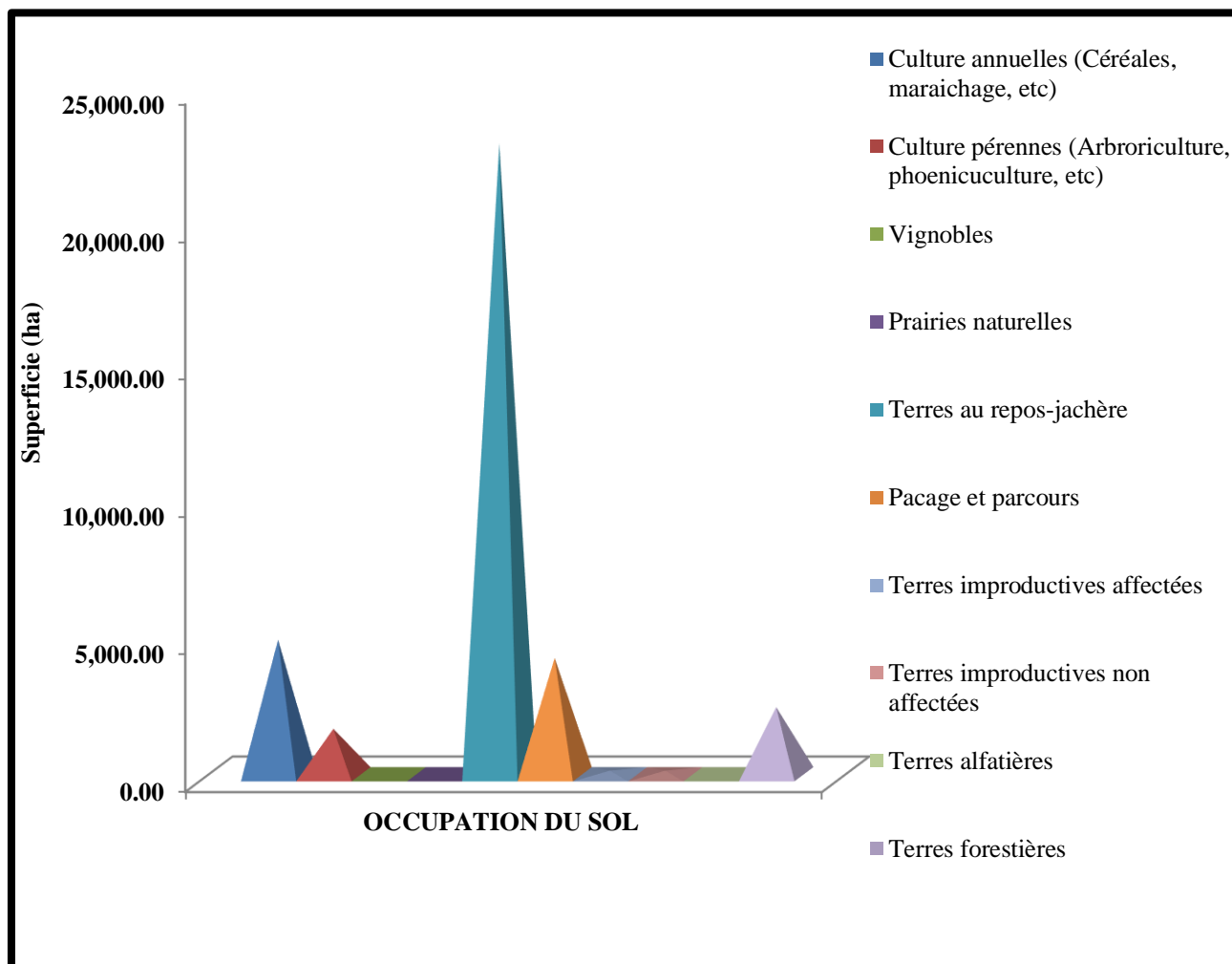


Fig.11: Répartition générale des terres de la commune d'El Mahmel Wilaya de Khenchela- Est Algérie (DSASI, 2018)

I.10.3. L'Industrie

Dans la commune d'El Mahmel de 1973 jusqu'au 2015 il Ya avait une usine (Eva) des boissons qui dégage toutes les rejets liquides non traité dans l'environnement à cause de l'absence d'une station d'épuration, et aussi les rejets solides (Vers, Plastique.....etc), 8648 Tonne/an en 2015, 8997 Tonne/an en 2017.



Photo.07: Usine de boisson (2018)

Résumé :

Ce travail a pour objectif de caractériser la qualité des eaux de surface souterraine et de Sebkheth d'El Mahmel qui se situe à l'Est de la Wilaya de Khenchela et la détermination de l'origine de la pollution.

Des prélèvements ont été faits sur 13 point d'eau. L'évolution des éléments chimiques dans l'espace, fait ressortir que les eaux de la plaine à un faciès dominant : Chlorurée et sulfate calcique et magnésienne.

L'interprétation des résultats montre que la pollution est liée principalement à l'utilisation intensive des engrais chimiques pour améliorer le rendement, on peut ajouter les rejets des eaux usées urbaines des agglomérations dans la nature sans aucun traitement préalable ainsi que la dissolution des formations évaporitiques de la cuvette, et que la variation spatiale de la concentration des éléments chimiques est liée à l'effet de la distance par rapport à la sebkha

Mots clés : Sebkheth d'El Mahmel, faciès, pollution, traitement, formations évaporitiques.

Abstract:

This work has for objective to characterize the quality of waters of subterranean surface and of Sebkheth d'El Mahmel which is situated at the east of the Wilaya of Khenchela and the determination of the origin of the pollution.

Samples were made on 13 water sources. The evolution of the chemical elements in the space highlighted that water of the plain in a dominant facies: Chloride sulphate calcium and magnesium.

The interpretation of the results shows that the pollution is mainly connected to the intensive use of artificial fertilizers to improve the yield, we can add disposals of urban waste water of the urban areas in the nature without any preliminary treatment as well as the dissolution of the evaporitic trainings of the bowl, and that the spatial variation of the concentration of the chemical elements connected to the effect of the distance with regard to Sebkheth.

Keywords: Sebkheth d'El Mahmel, facies, pollution, treatment, evaporitic trainings.

ملخص :

الغرض من هذا العمل هو وصف نوعية المياه الجوفية و سبخة المحمل الواقعة شرق ولاية خنشلة و تحديد أصل التلوث.

تم أخذ عينات من 13 مصدر مياه يظهر تطور العناصر الكيميائية في الفضاء أن مياه المنطقة ذات الصفة السائدة هي: كلوريد وكبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم يوضح تفسير النتائج أن التلوث مرتبط بشكل أساسي بالاستخدام المكثف للأسمدة الكيماوية لتحسين المحصول ، ويمكننا إضافة تصريف مياه الصرف الصحي الحضري للتكتلات في الطبيعة دون أي معالجة سابقة ، وأن الاختلاف المكاني في تركيز العناصر الكيميائية له علاقة بتأثير المسافة من السبخة.

الكلمات المفتاحية : سبخة المحمل ، الصفة ، التلوث ، العلاج ، التكوينات البخارية.