



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire



مخبر الرياضيات و العلوم التطبيقية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa

/...../...../.....

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم هندسة الطرائق

Département de génie des procédés

THÈSE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat 3^{ème} cycle LMD

Domaine: sciences et technologie

Filière: Génie des procédés

Spécialité: Gestion et valorisation des ressources naturelles dans les régions sahariennes

Etude de la ressource hydraulique de lac d'El-Menia :

Caractéristiques physico-chimiques et essai d'élimination du Plomb

et du cadmium par adsorption sur un charbon actif préparé

à base des noyaux de dattes.

Soutenue publiquement le: 02 / 06/ 2020

Par

BENBITOUR Selma

Devant le jury composé de:

BECHKI Lazhar	Professeur	Etablissement	Président
BABAAMER Zohra	MCA	Etablissement	Directeur de thèse
BELFAR Mohamed Lakhdar	MCA	Etablissement	Examineur
KEMASSI Abdallah	MCA	Etablissement	Examineur
DJEDID Mabrouk	MCA	Etablissement	Examineur
HADJSAID Abdelkader	MCA	Etablissement	Examineur

Année universitaire:2020 /2021

REMERCIEMENT

Avant tout, je dois remercier Dieu le tout puissant qui m'a donné la force pour mener à terme ce long et dur travail ;

En premier lieu je tiens à remercier vivement mon directeur de thèse Mdm Babaamer Zohra maitre de conférence à l'université de Ghardaïa - pour : sa disponibilité, D'avoir consacré une partie de son temps à la direction de ce travail ainsi qu'à la confiance qu'il m'a accordée pendant la réalisation de cette thèse.

Je tiens aussi à remercier Monsieur Bechki Lazhar professeur à l'université de Ghardaïa pour m'avoir fait un grand honneur et plaisir en acceptant de présider le jury.

Je remercie aussi Messieurs Kemassi abdallah ,hadj said abdelkader ; djedid mebrouk , belfar mohamed lakhdar ,pour m'avoir fait honneur et plaisir en acceptant d'examiner ce travail .

Je remercie également Monsieur guerradi hocine maitre en université kasdi-merbah ouargla pour leur aide.

Enfin, je remercie, toutes les personnes qui m'ont encouragé et soutenu de près ou de loin durant la réalisation de ce travail.

DEDICACE

Je dédie cette thèse à :

Mon Père, qui m'a vraiment encouragé et soutenu tout le long de ma vie

Ma Mère, qui était toujours présent pour moi

Mes frères et sœurs

Mon mari

Tous mes amis

Résumé

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité, à travers le suivi de différents paramètres physico-chimiques des eaux de lac d'el-menia situé au niveau de la wilaya de Ghardaïa au sud de l'Algérie.

Les résultats trouvés ont permis de définir la pollution des différents paramètres analysés selon les normes des eaux de surface. Aussi, nous avons établi les faciès hydro-chimiques, la variabilité spatiotemporelle, les concentrations en métaux lourds, qui dépassent quelque fois les normes dans certains points surtout le plomb et le cadmium.

Cette étude aussi porte sur la valorisation d'une ressource naturelle très abondante dans notre pays « les noyaux des dattes de variété d'el-Ghars de la région d'el-menia » dans le domaine du traitement des effluents liquides. un charbon actifs a été préparés par activation chimique des noyaux des dattes puis caractérisés par différentes méthodes tels que : MEB, FTIR, DRX, IR. Une étude d'élimination des métaux lourds (plomb et cadmium) par adsorption sur le charbon actif préparé a été réalisée.

Le rendement d'adsorption est atteint au bout de quelques minutes de contact 97,6% pour le plomb et 98,3% pour le cadmium. Les données expérimentales ont été bien décrits par l'équation d'équilibre isotherme de Langmuir par apport les modèles de Freundlich et Temkin. Le modèle de pseudo seconde ordre décrit parfaitement la cinétique d'adsorption pour le charbon actif utilisé.

Mots clés: analyse physico-chimique, métaux lourds, noyaux des dattes, charbon actif, adsorption, plomb.

Abstract

The objective of this study is to evaluate the quality through monitoring of different physicochemical of el-menia lake water located at the wilaya of Ghardaïa in the south of algeria .

The results found were used to define the compliance of various parameters analyzed by surface water standards. Also, we have established the hydro-chemical facies, spatiotemporel variability, the concentrations of heavy metals, which sometimes exceed the standards in some points especially lead and cadmium.

This study also concerns to valorize a local lingo-cellulosic abundant natural residue in our country, “an activated carbon was prepared by chemical activation based by dates stones(Ghars) from 'El-Menia in the soud of Algeria” in the treatment of effluent.

an activated carbon was prepared by chemical activation based by dates stones and caracterzied by various methods such as: SEM, FTIR, DRX, IR. A study for the elimination of heavy metals (lead and cadmium) by adsorption on prepared activated carbon was carried out.

The adsorption efficiency was reached in few contact minutes 97.6% for lead and 98.3% for cadmium. The modelling of the adsorption isotherms with the Langmuir, Freundlich, and Timkin models shows that the Langmuir model describes better the heavy metals adsorption process

The pseudo-second order model describes perfectly the adsorption kinetic for the studied activated carbon.

Key words: physico-chemical analysis, heavy metals, datte stone, activated carbon, adsorption, lead.

ملخص :

الهدف من هذا العمل هو تقييم الجودة ، من خلال رصد المعايير الفيزيائية والكيميائية المختلفة لمياه بحيرة المنيا الواقعة في ولاية غرداية جنوب الجزائر .

أتاحت النتائج التي تم العثور عليها تحديد تلوث العوامل المختلفة التي تم تحليلها وفقاً لمعايير المياه السطحية. كما قمنا بتأسيس الجوانب المائية الكيميائية ، والتنوع الزمني المكاني ، وتركيزات المعادن الثقيلة التي تتجاوز أحياناً المعايير في بعض النقاط ، خاصة الرصاص والكاديوم.

تركز هذه الدراسة أيضاً على استغلال احدى الموارد الطبيعية الوفيرة في بلدنا "نوى التمر الغرس" من مدينة المنية في جنوب الجزائر في مجال معالجة النفايات السائلة تم اعداد الكربون المنشط من نوى التمر و تمييزه بأساليب مختلفة قمنا بإجراء دراسة ازالة معدنين ثقيلين الرصاص و الكاديوم عن طريق الامتزاز على الكربون المنشط. مردود الامتزاز يصل بعد بضع دقائق الى 97.6% بالنسبة الى الرصاص و الى 98.3% بالنسبة للكاديوم.

كما قمنا بنمذجة بيانات الامتزاز باستخدام طريقة كل من لانجموير و فروندليش و تيمكا و تبين لنا ان طريقة لانجموير تعطي افضل النتائج , كما وجدنا ان امتزاز المعادن المرصوة يتبع نموذج حركية ثنائي الرتبة .

كلمات مفتاحية : تحاليل فيزيائية و كيميائية , المعادن الثقيلة , نوى التمر , الكربون النشط , الامتزاز , الرصاص .

Table des Figures

Figure 1.1. carte hydrographique de la zone d'étude	9
Figure 1.2. variation des precipitations moyennes	10
Figure 1.3. variation des temperatures moyennes mensuelles maximales et minimales, a la station d'el-menia (2000-2017).....	11
Figure 1.4. variation d'evaporation, a la station d'el-menia (2000-2017).....	12
Figure 1.5. variation de vitesse du vent dans la zone d'étude (station d'el-menia 2000-2017).	12
Figure 1.6. l'humidite moyenne d'el-menia 2000-2017.....	13
Figure 1.7. l'insolation moyenne d'el-menia 2000-2017	13
Figure 1.8. diagramme ombrothermique de la zone d'étude (station d'el-menia 2000-2017).....	15
Figure 1.9. climagramme d'emberger	17
Figure 1.10. abaque de wundt.....	19
Figure 1.11. log lithologique a partir d'un Forage d'eau d'el-menia	22
Figure 1.12. coupe schematique du cenomanien inferieur au sud-est du lac d'el-menia	23
Figure 1.13. coupe schematique du cenomanien superieur d'el-menia.....	24
Figure 1.14. coupe schematique du turonien au nord d'el-menia	25
Figure 1.15. coupe hydrogéologique a travers le bassin de reggan a la tunisie	26
Figure 3.1. positionnement des points de prelevement pour l'annee 2015	43
Figure 3.2. positionnement des points de prelevement pour l'annee 2017	43
Figure 3.3. positionnement des points de prelevement pour l'annee 2018	44
Figure 3.4. carte de potentiel d'hydrogene (ph) des eaux de lac d'el-menia.....	45
Figure 3.5. carte de conductivite des eaux de lac d'el-menia.....	46
Figure 3.6. carte de salinite des eaux de lac d'el-menia.....	47
Figure 3.7. carte de distribution de calcium des eaux de lac d'el-menia.....	48
Figure 3.8. carte de magnesium des eaux de lac d'el-menia.....	49
Figure 3.9. carte de durete totale des eaux de lac d'el-menia.....	50
Figure 3.11. carte de distribution de potassium des eaux de lac d'el-menia	52
Figure 3.12 : Carte de distribution de sodium dans le lac d'El-Menia.....	53
Figure 3.13. carte de distribution des chlorures des eaux de lac d'el-menia.....	54
Figure 3.14. carte des sulfates des eaux de lac d'el-menia.....	55
Figure 3.16. carte des concentrations des nitrites des eaux de lac d'el-menia	57
Figure 3.18. carte des concentrations des nitrates des eaux de lac d'el-menia.....	59
Figure 3.19. carte des concentrations des ortho phosphates des eaux de lac d'el-menia	60

Table des figures

Figure 3.20. carte des concentrations des dbo5 des eaux de lac d'el-menia	61
Figure 3.21. carte des concentrations des DCO des eaux de lac d'el-menia	62
Figure 3.22. carte de biodegradabilite des eaux de lac d'el-menia	63
Figure 3.23. carte des concentrations de Fer des eaux de lac d'el-menia	64
Figure 3.24. carte des concentrations de plomb des eaux de lac d'el-menia.....	65
Figure 3.25. carte des concentrations de cadmium des eaux de lac d'el-menia	66
Figure 3.26. carte des concentrations de cobalt des eaux de lac d'el-menia	67
Figure 3.28. carte des concentrations de cuivre des eaux de lac d'el-menia	68
Figure 3.30. carte des concentrations de nickel des eaux de lac d'el-menia	69
Figure 3.31. repartition des variables dans le plan Factoriel Forme par les cp 1 et 2.....	71
Figure 3.32. répartition des variables dans le plan Factoriel Formé par les CP1 et CP2.....	72
Figure 3.33. répartition des variables dans le plan Factoriel Formé par les CP1 et CP2.....	73
Figure 3.34. diagramme de piper.....	75
Figure 3.35 : variation de température des eaux de lac d'El-Menia.....	78
Figure 3.36. variation de ph des eaux de lac d'el-menia	78
Figure 3.37 : variation de conductivité des eaux de lac d'El-Menia	78
Figure 3.38. variation des concentrations de salinite des eaux de lac d'el-menia	79
Figure 3.39 : variation de titre hydrométrique saisonnières des eaux de lac d'El-Menia.....	80
Figure 3.40 : variation des concentrations de nitrite saisonnières des eaux de lac d'El-Menia	80
Figure 3.41 : variation des concentrations d'ammonium saisonnières des eaux de lac d'El-Menia	81
Figure 3.42 : variation des concentrations des ortho-phosphates saisonnières des eaux de lac d'El-Menia.....	81
Figure 3.43: variation des concentrations de fer saisonnières des eaux de lac d'El-Menia	82
Figure 3.44 : variation spatiotemporelle de pH	83
Figure 3.45 : variation spatiotemporelle de conductivité	84
Figure 3.46 : variation spatiotemporelle de salinité	84
Figure 3.47: variation spatiotemporelle de TH.....	85
Figure 3.48 : Variation spatiotemporelle des nitrites	85
Figure 3.49. variation spatiotemporelle des ortho phosphates	86
Figure 3.50 : Variation spatiotemporelle d'ammonium	86
Figure 4.1. schema de mecanisme de transport de l'adsorbat au sein d'un grain.....	95
Figure 4.2. la variete Ghars	96
Figure 4.3.image meb de charbon actiF a partir des noyaux des dattes d'el-menia a 100 µM	101
Figure 4.4.image meb de charbon actiF a partir des noyaux des dattes d'el-menia a 50 µM	101
Figure 4.5.spectre DRX de charbon	102

Table des figures

Figure 5.1. influence de la masse de charbons actif sur l'adsorption de plomb.....	107
Figure 5.2.influence de la masse de charbon actif sur l'adsorption de cadmium.	107
Figure 5.3. influence de temps de contact sur l'adsorption de plomb.	108
Figure 5 .4. influence de temps de contact sur l'adsorption de cadmium.	109
Figure 5.5. influence de la temperature sur l'adsorption de plomb.	110
Figure 5.6. influence de la temperature sur l'adsorption de cadmium.	110
Figure 5.7. influence de ph sur l'adsorption de plomb.	111
Figure 5.8. influence de ph sur l'adsorption de cadmium	112
Figure 5.9. influence de la vitesse d'agitation sur l'adsorption de plomb.....	112
Figure 5.10. influence de la vitesse d'agitation sur l'adsorption de cadmium	113
Figure 5.11. comparaison entre la capacite adsorbant de plomb et de cadmium entre un charbon actif commercial et un charbon actif issu des noyaux des dattes	113
Figure5.11. application du modele de langmuir-1 a l'adsorption des deux metaux sur le charbon actif prepare.....	114
Figure5.12 application du modele de langmuir-2 a l'adsorption des deux metaux sur le charbon actif prepare.....	115
Figure 5.15. application du modele de langmuir-5 a l'adsorption des deux metaux sur le charbon actif prepare.....	116
Figure5.16. application du modele de Freundlich a l'adsorption de plomb sur le charbon actif prepare.	118
Figure 5. 17 .application du modele de Freundlich a l'adsorption des cadmium sur le charbon actif prepare.....	118
Figure 5.18 application du modele de temkin a l'adsorption de plomb sur le charbon actif prepare..	119
Figure5.19.application du modele de temkin a l'adsorption de cadmium sur le charbon actif prepare.	119
Figure 5.20.pseudo premier ordre pour le plomb et le cadmium.....	122
Figure 5.21. Pseudo seconde ordre pour le plomb et le cadmium.....	122

Liste des tableaux

Tableau 1.1 les coordonnees gheographique de la region et de lac d'el-menia.	8
Tableau 1.2. Moyenne de pluie de la region d'el-menia 2000-2017	9
Tableau 1.3 : temperature moyenne de temperature de la region d'el-menia 2000-2017	10
Tableau 1.4. Evaporation moyennes a la station d'el-menia (2000-2017)	11
Tableau 1.5.precipitations et temperatures moyennes a la station d'el-menia (2000-2017)	14
Tableau 1.6.classification des climats en fonction de l'indice de martone	16
Tableau 1.7. Le rapport entre precipitation et temperature dans la region d'el-menia.....	17
Tableau 1.8. Etp calculee pour la periode (2000-2017) a la station d'el-menia.	19
Tableau 1.9 calcul de paramètre λ	20
Tableau 1.10. Bilan d'eau selon thornthwaite	22
Tableau 1.11: recapitulation des valeurs de l'etr, etp et deficit d'ecoulement de la station d'el-menia (2000-2017)	22
Tableau 4.1 : caracterisations physicochimiques de charbon actif.....	100
Tableau 5.1: influence de la masse de charbon actif sur l'adsorption de plomb.	106
Tableau 5.2: influence de la masse des charbon actif sur l'adsorption de cadmium.	106
Tableau 5.3: resultats de la modelisation des isothermes d'adsorption du plomb, cadmium sur le charbon actif par le modele de langmuir.	116
Tableau 5.4: resultats de la modelisation des isothermes d'adsorption du plomb, cadmium sur le charbon actif par le modele de freundlich.	118
Tableau 5.5: resultats de la modelisation des isothermes d'adsorption du plomb, cadmium sur le charbon actif par le modele de temkin.	119
Tableau 5.6: resultats de la modelisation des cinetiques d'adsorption du plomb, cadmium sur le charbon actif par le modele pseudo premier ordre et pseudo seconde ordre.....	122

SOMMAIRE

Remerciement	
Dedicace	
Resumé	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Sommaire	
Liste des abreviations	
Introduction.....	3
Chapitre 1 :Présentation de la zone d'étude	
1.1. Introduction.....	8
1.2. Situation et limites géographiques de la région	8
1.3. Etude des précipitations.....	9
1.4.1. Etude de La température	10
1.5. L'évaporation	11
1.6. Le vent.....	12
1.6.1. L'humidité.....	13
1.6.2. L'ensoleillement	13
1.7. Etude du climat	14
1.7.1. Méthode graphique	14
1.7.2. Méthode des indices climatiques généraux.....	15
1.7.3. Indice de martonne	15
1.7.4. Méthode d'EUVERTÉ	16
1.7.5. Indice d'Emberger.....	16
1.7.6. Evapotranspiration et le déficit d'écoulement	17
1.8. Géologie et hydrologie de la région d'El-Menia.....	22
1.8.1 . Géologie de la région	22
1.8.2. Hydrogéologie	25

Chapitre 02 :Généralités sur la pollution des zones humides	26
2.1. Introduction	27
2.2. Définition des zones humides	27
2.3. Importance des zones humides en Algérie	27
2.4. Considérations générales sur le suivi de la qualité de l'eau	27
2.5 . Choix des paramètres.....	28
2.6. Choix des stations et fréquence d'échantillonnage.....	28
2.6.1. Représentativité de l'échantillon	29
2.7. Origine de la pollution des zones humides	29
2.8. Les types de pollution	30
2.9. Les types de polluants	30
2.10. Les métaux lourds dans les zones humides.....	31
2.11. Les paramètres analysées	32
2.11.1.Couleur, odeur	32
2.11.2.La température	32
2.11.3.Le potentiel hydrique	32
2.11.4.La Conductivité	33
2.11.5.La Turbidité	33
2.11.6.Détermination de résidu sec	33
2.11.7.Oxygène Dissous.....	33
2.11.8.Le titre alcalimétrique complet.....	34
2.11.9.Dureté totale.....	34
2.11.10.Dosage des chlorures	34
2.11.11.Dosage de calcium et de magnésium.....	34
2.11.12.Les sulfates	34
2.11.13.Dosage du sodium et du potassium	35
2.11.14.Détermination de l'azote ammoniacal (NH ₄ ⁺)	35
2.11.15.Dosage des nitrates.....	35
2.11.16.Dosage de nitrite	35
2.11.17.Dosage de fer	35
2.11.18.Phosphate	36
2.11.19.Demande chimique en oxygène (DCO).....	36
2.11.21.Rapport DCO/DBO ₅ comme indice de biodegradabilité.....	36
2.11.22.Dosage des métaux lourds	37

2.11.23. Les éléments traces étudiés	37
2.11.23.1. Le cuivre	37
2.11.23.2. Le plomb	37
2.11.23.3. Le cadmium	38
2.11.23.4. Le zinc	38
2.11.23.5. Le manganèse.....	39
2.11.23.6. Le nickel	39
2.11.23.7. Le chrome.....	40
2.11.23.8. Le cobalt	40

Chapitre03 : Resultats et discussion

3.1. Introduction.....	42
3.2. Matériels et méthode	42
3.2.1. Mode de prélèvement.....	42
3.2.2. Positionnement des points de prélèvements.....	43
3.3. Les analyses prélevé en 2018	44
3.3.1. Paramètres physiques.....	44
3.3.1.1. La carte de potentiel d'Hydrogène pH.....	44
3.3.1.2. La conductivité	45
3.3.1.3. La salinité	46
3.3.2. Évolution du chimisme des eaux de lac d'El-Menia	47
3.3.2.1. Carte de Calcium (Ca^{2+}).....	47
3.3.2.2. Carte de magnésium (Mg^{2+}).....	48
3.3.2.3. Carte de dureté totale (TH)	49
3.3.2.4. Carte de titre alcalimétrique complet (TAC).....	50
3.3.2.5. Carte de potassium (k^+).....	51
3.3.2.6. Carte de sodium (Na^+)	52
3.3.2.7. Carte des chlorures (Cl^-).....	53
3.3.3. Les paramètres gravimétriques	54
3.3.3.1. Carte des sulfates.....	54
3.3.3.2. Le résidu sec	55
3.3.4. Les paramètres de pollution :	57
3.3.4.1. Le nitrite.....	57
3.3.4.2. L'ammonium.....	58
3.3.4.3. Les nitrates.....	59

3.3.4.4. Les Ortho phosphates	60
3.3.4.5. DBO ₅	61
3.3.4.6. Demande chimique en oxygène (DCO)	62
3.3.4.7. Le rapport DCO/DBO ₅	63
3.4. Le fer	63
3.5. Les métaux lourds	64
3.5.1. Plomb	64
3.5.2. Le cadmium	65
3.5.3. Le cobalt	66
3.6. Les autres métaux	67
3.7. Analyse en composantes principales (relation entre les différents paramètres physique-chimique)	70
3.8. Analyse en composantes principales (relation entre la conductivité et salinité avec les métaux lourds).	70
3.9. Analyse en composantes principales (relation entre le pH et la conductivité et la salinité avec les Paramètres de pollution)	72
3.10. Analyse en composantes principales (relation entre le pH et la conductivité et la salinité avec les Paramètres chimiques)	73
3.11. Les faciès chimiques	75
3.4. Les analyses prelever en 2017	76
3.4.1. Variation de ph	76
3.4.2. Variation de TDS (le total des sels dissous)	76
3.4.3. Variation de la conductivité	76
3.4.4. Variation de concentration de salinité (g/l)	76
3.4.5. Variation de concentration de dureté totale	76
3.4.6. Variation de concentration de calcium	76
3.4.7. Teneurs en magnésium	77
3.4.8. Teneurs en concentration de fer	77
3.4.9. Teneurs en concentration de nitrite	77
3.4.10. Variation de concentration d'ammonium	77
3.4.11. Variation de concentration des ortho phosphates	77
3.5. Variation spatiotemporelle des analyses prelever en 2015/2016	77
3.1. Variation de température	78
3.5.1. Variation de pH	78
3.5.2. Variation de conductivité	78
3.5.3. Variation de salinité	79
3.5.4. Variation de concentration de TH	80

3.5.5. Variation de nitrite	80
3.5.6. Variation de concentration d'ammonium	81
3.5.7. Variation de concentration des ortho phosphates	81
3.5.8. Variation de concentration de Fer	82
3.6. Comparaison des résultats 2016/2017/2018	83
3.6.1. Variation spatio-temporelle de pH	83
3.6.2. Variation spatio-temporelle de la conductivité :	83
3.6.3. Variation spatio-temporelle de la salinité	84
3.6.4. Variation spatio-temporelle de Titre hydrométrique	84
3.6.5. Variation spatiotemporelle de nitrite	85
3.6.6. Variation spatiotemporelle des orthophosphates	85
3.6.7. Variation spatiotemporelle d'ammonium	86
3.6.8. Variation spatiotemporelle de concentration de fer	86

Chapitre 04 :essais d'adsorption

4.1. Introduction	89
4.1.1. Le charbon actif	89
4.1.2. La matière première de préparation de charbon actif	89
4.1.3. Les processus de préparation de charbon actif	90
4.1.3.1. Activation physique	90
4.1.3.2. L'activation chimique	90
4.1.4. Adsorption par le charbon actif en système batch	90
4.1.5. Les principales équations des isothermes d'adsorption	91
4.1.6. Le phénomène d'adsorption	93
4.1.6. les facteurs influençant sur l'adsorption	93
4.1.6.3. Cinétique d'adsorption	94
4.2. Préparation de charbon actif	96
4.2.6. Les étapes de préparation de charbon actif	96
4.2.7. Méthodes de caractérisation de charbon actif	97
4.2.8. Microscopie électronique à balayage	98
4.2.9. La diffraction des rayons X (DRX)	99
4.2.10. La fluorescence x (frx)	99
4.2.11. La spectroscopie infrarouge	99
4.3. Caractérisation de charbon actif préparé	100
4.3.6. Les caractéristiques physico- chimiques	100

4.3.7. Caractérisation de la texture de charbon actif	100
CHAPITRE 05 : Les essais d'adsorption.....	105
5.1. Introduction	106
5.1.1. Influence de la masse de l'adsorbant	106
5.1.2. Influence de temps de contact.....	108
5.1.3. Influence de la température	109
5.1.4. Influence de PH	111
5.1.5. Influence de la vitesse d'agitation	112
5.1.6. Etude comparative entre la capacité adsorbant du charbon actif issu de noyaux des dattes et d'un charbon actif commercial	113
5.2. Modélisation des isothermes d'adsorption	114
5.2.1. Isotherme de Langmuir	114
5.2.2. Le modèle de Freundlich.....	117
5.2.3. Modèle de temkin.....	119
5.3. Modélisation de la cinétique d'adsorption	120
5.3.1. Pseudo premier ordre	120
5.3.2. Pseudo second ordre	121
Conclusion	124
Reference bibliographique.	127
ANNEXE	

Abreviation

ANRH	Agence Nationale Des Ressources Hydriques.
°C	Degré Celsius.
ETR	L'évapotranspiration réelle
ETP	L'évapotranspiration potentielle
RFU	réserve facilement utilisable
DA	déficit agricole
CI	Continental Intercalaire
CT	Complexe Terminal
ONM	Office National de la Météorologie
OMS	Organisation Mondiale de la Sante
ADE	Algérienne des eaux
μS	Micro Siemens
°F	Degré Français
TDS	total dissolved solids.
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
DCO	demande chimique en oxygène
DBO ₅	demande biochimique en oxygène après 5 jours
ACP	analyse en composante principale
CP	cercle de Pearson
CA	Le charbon actif
H	Taux d'humidité (%)
D	La densité apparente (%)
C	Le teneur de cendre (%)
MEB	Microscopie électronique à balayage

Abréviations

FRX	fluorescence des rayons X
DRX	diffractomètre des rayons X
C_0	La concentration initial de métaux mg/l
C_e	Concentration a l'équilibre de métaux
Q_{max}	Quantité adsorbé maximale de métaux par le charbon actif mg/g
Q_t	Quantité adsorbé a l'instant t mg/g
T	la température absolue (K)
IRTF	infrarouge a transformé fourrier

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le lac est défini comme une zone humide et un plan d'eau continental (séparé de la mer, dominé par son bassin d'alimentation et développant une personnalité propre), dont la profondeur, la superficie ou le volume sont suffisants pour provoquer un étagement [1].

Les zones humides représentent les meilleurs exemples d'écosystème du point de vue de leurs fonctions biologique : productivité biologique, habitat et richesse écologique pour les espèces animales et végétales, leurs fonctions écologique et hydrologique et de leurs importance socio-économique [2].

En Algérie, la qualité des eaux superficielles se dégrade de jour en jour sous l'effet des rejets urbains et industriels. en général, les zones humides s'ensavent et perdent leur capacité utile suite aux activités anthropiques (rejets d'effluents dans ces zones), ou par des phénomènes naturel ce qui pose d'énormes problèmes écologiques et environnementaux [3].

Le lac d'el Menia est une zone humide qui joue un rôle important pour le maintien de la diversité biologique et celle du Sahara Central, c'est un site d'importance internationale parce qu'il abrite une importante population animale [4].

En date du : 12/12/2004 le lac El-Menia a été classé comme étant zone RAMSAR (La convention RAMSAR signé en 1971 en Iran a pour but de protéger les zones humides au niveau international), caractérisé par sa grande étendue, et sa diversité biologique méditerranéenne et saharienne [4].

Les entrées d'eaux proviennent de la pluviométrie, de la remontée de la nappe phréatique, des excès d'eaux d'irrigation et des rejets d'eaux du village de Hassi El Gara et d'émergence de sources.

Le lac d'El-Menia a une superficie d'environ 7000 ha et une hauteur d'eau comprise entre 0,3 et 2 mètres, était une zone de détente et de loisirs fréquentés par un grand nombre de touriste.

Aujourd'hui, avec regret, il reçoit les rejets qui menacé la dégradation de lac de jours en jours par l'effet de pollution physique, chimique et microbiologique.

La pollution des zones humides par les métaux lourds affectent directement la vie des organismes végétaux et animaux dans ce dernier, Les métaux lourds peuvent provenir de deux principales sources ; une origine naturelle et une origine anthropogéniques (générées par les activités humaine) [5].

INTRODUCTION GENERALE

Plusieurs volets ont été débattus dans ce manuscrit, pour pouvoir déterminer la qualité des eaux et pour essayer de connaître les origines de pollution des eaux de lac d'El-Menia et proposer une solution acceptable est adéquate pour le traitement de ces eaux pour protéger et valoriser cette source naturel.

Quand il s'agit de protéger le lac et l'écosystème voisinant, il est nécessaire de faire une étude hydrologique et hydrochimique des eaux de lac pour améliorer la gestion des ressources en eau et en même temps des impératifs de développement socioéconomique d'écosystème avoisinant.

Pour cela cette thèse est réparti sur cinq chapitres,

Le premier chapitre, on a donné un aperçu sur le cadre général de la zone d'étude, sa situation géographique, une étude climatique, hydrogéologique et géologique, l'étude hydrologique et géologique a été réalisée sous forme de synthèse des travaux effectués au niveau de cette zone.

Un deuxième chapitre présente une généralité sur la pollution des zones humides ou on définit les principaux types et mode de pollution et on a présenté ainsi les différents paramètres analysés pour définir l'état de pollution de Lac d' El-Menia.

le troisième chapitre est consacré a l'interprétation des résultats physico chimiques des eaux de lac pendant les trois années 2015/2017/2018 utilisant différents logiciels (global mapper, mapinfo ,origin ,diagramme) pour bien définit la distribution des éléments le long de lac, suivant par une étude spatio-temporelle entre l'année 2015,2017,2018 .

les métaux lourds entraine et joue un rôle principale dans la dégradation de la qualité de lac et bien sûr sur la vie des organismes végétaux et animaux.

sa présence est en grande partie générée par l'homme, en effet les rejets urbains et industriels, pour cela on a proposé une méthode de traitement pour la dépollution des eaux de rejets, cette méthode consacré a la valorisation des déchets végétaux ou on a préparé un charbon actif a base des noyaux des dattes de la même région étudié (région d'El-Menia).

Dans Le quatrième chapitre on a donné une définition sur le charbon et le phénomène d'adsorption, ensuite on a présenté les étapes de préparation de charbon actif à base des noyaux des dattes et les différents paramètres de caractérisation de charbon actif préparer , la caractérisation de charbon actif préparé et réalisé par différentes techniques comme

INTRODUCTION GENERALE

microscopie électronique à balayage (MEB), l'analyse de DRX pour la caractérisation des différentes phases minéralogiques qui constituent l'adsorbant étudié, l'analyse Infra rouge pour l'identification des constituants des charbons actifs préparés, l'analyse par FRX pour identifier et déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent notre charbon préparé, ainsi que les propriétés physicochimique ; le pH, le taux de cendre, le taux d'humidité.

les essais d'adsorption de plomb et de cadmium par le charbon actif préparé et les résultats expérimentaux ainsi que leur discussion sont présentés dans le cinquième chapitre, ou Nous exposons les résultats obtenus par l'influence des paramètres (la masse d'adsorbant, le temps de contact, la température, le pH et la vitesse d'agitation) sur l'adsorption de plomb et de cadmium par le charbon actif préparé et comparé le rendement de résultat optimale avec le rendement d'adsorption avec un charbon actif commerciale, ainsi que donnons les isothermes d'adsorptions ajustés selon les modèles de Freundlich et de Langmuir et on termine notre travail par une étude cinétique.

Chapitre 01

Présentation de la zone d'étude

1.1. Introduction

L'étude climatologique constitue la base de l'interprétation du bilan géochimique, la chimie des eaux est étroitement dépendante des conditions hydrologiques (dilution, infiltration, lessivage, précipitations, évaporation) etc.

La connaissance de l'hydrogéologie et la géologie de la région permet d'envisager les processus d'alimentation des aquifères, la détermination du sens d'écoulement.

Cette étude porte sur une période de 17 ans, allant de 2000 à 2017 Les données obtenues par la station météorologique d'El-Menia, en utilisant des méthodes qui s'adaptent à notre zone d'étude et aux données disponibles.

Nous allons aussi définir les caractéristiques géologiques et hydrologiques de la zone d'étude qui sont obtenue par l'ANRH.

1.2. Situation et limites géographiques de la région

La région d'El-Menia se trouve au centre du Sahara Algérien, située entre les deux Sahara, septentrional et méridional (figure 1.1).

El-Menia est située à 870 km de la mer méditerranée, elle appartient au bassin versant saharien, elle se trouve à 270 Km chef-lieu de la wilaya de Ghardaïa et 360 Km de Ain Saleh.

El-Menia est une daïra de wilaya de Ghardaïa, elle est limitée au nord par la commune de Hassi lefhel, a l'Est on trouve wilaya de Ouargla, au Sud on a wilaya de Tamanrasset et à l'Ouest le wilaya d'Adrar (voir Tableau 1.1, figure 1.2).

Tableau 1.1 les coordonnées gheographique de la région et de lac d'EL-Menia.

	latitude au nord	Longitude a l'EST	Altitude
EL-MENIA	30°34'	2°52'	397 m
Le lac	30°25'	2°75'	364 m

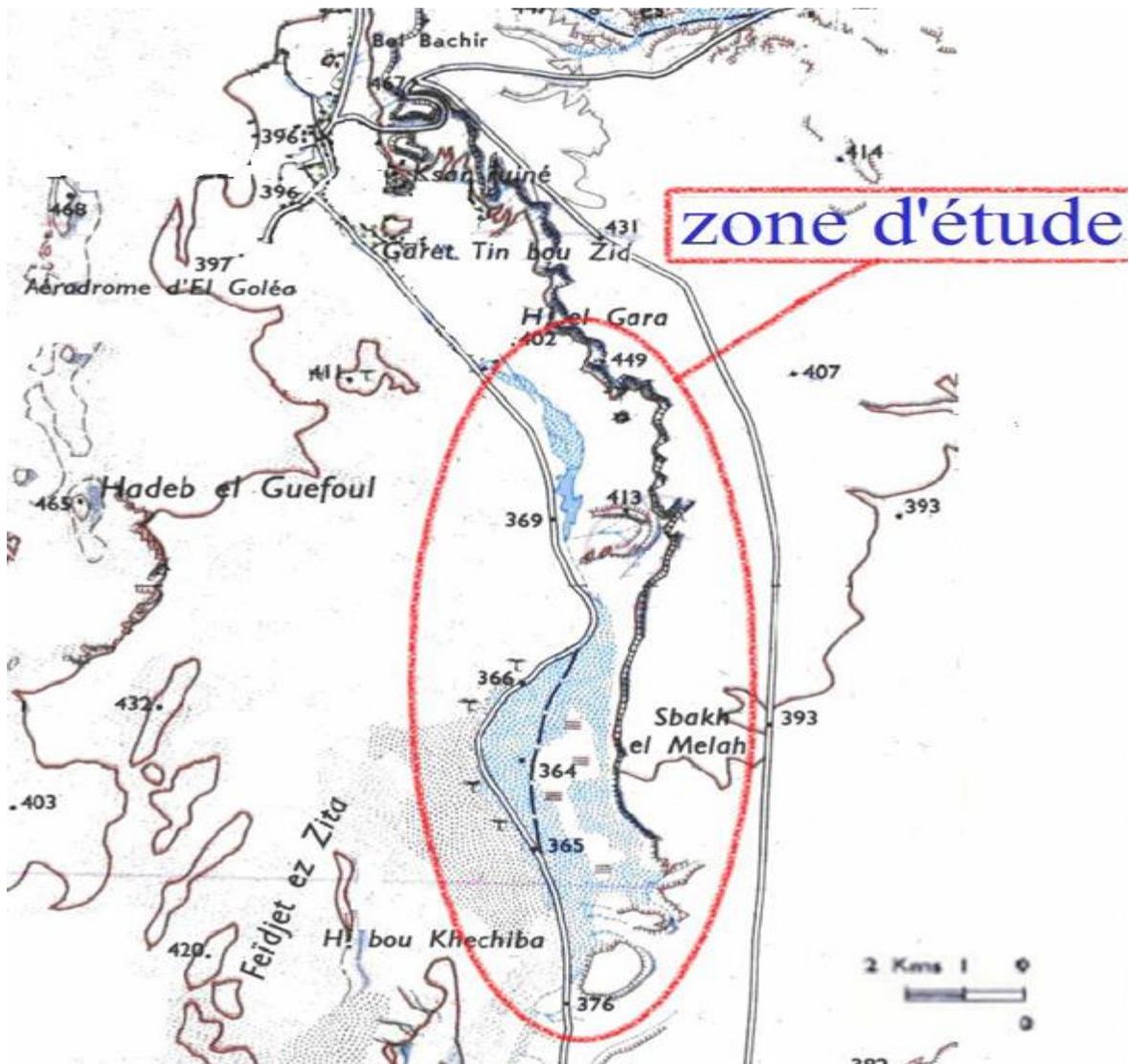


Figure 1.1. Carte hydrographique de la zone d'étude[6]

1.3. Etude des précipitations

Le Sahara Algérien caractérisé par des faibles précipitations [7] reçoit partout moins de 200 mm de pluies annuelles [8]. La région d'El-Menia reçoit à la moyenne une valeur de 117,08 mm de pluie annuelles au cours de la période 2000-2017 (Tableau 1.2).

L'étude des variations des précipitations en fonction du temps pour la station d'El-Menia montre une grande différence entre le mois le plus pluvial septembre avec 22,64 mm/mois, et le plus sec février avec 0,41 mm/mois.

Tableau 1.2. Moyenne de pluie de la région d'El-Menia 2000-2017

année/mois	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
précipitation (mm)	15,56	0,41	13,98	8,6	10,36	2,45	3,18	9,54	22,64	9,6	7,64	13,12

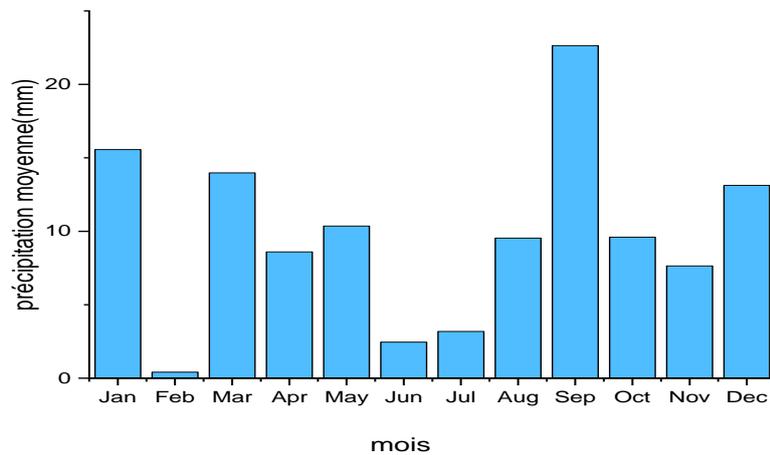


Figure 1.2. Variation des précipitations moyennes

1.4. Résultats et discussion

1.4.1. Etude de La température

Ce paramètre est un facteur écologique très important, il joue un rôle, d'une part dans l'établissement du bilan hydrologique et d'autre part, il contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition des espèces animales et végétales[9].

La température varie selon l'altitude, la force et la direction du vent, l'amplitude de leur variation, tant annuelle que journalière, est caractéristique de la région connue pour Le Sahara est un milieu très chaud en été et très froid en hiver,

Selon les données enregistrées par la station météorologique d'El-Menia, le tableau 1.3 présente la température moyenne, minimum et maximum.

Tableau 1.3 : température moyenne de température de la région d'El-Menia 2000-2017

Mois	jan	fév	mar	avr	mai	jun	jui	aou	sep	oct	nov	déc
Températures min (°c)	-4,1	-2,2	7,8	12,9	12	16,8	21,64	21,28	17,88	9,88	0,64	-0,1
Températures moy (°c)	10,82	13,4	17,36	22,07	26,9	31,5	34,87	33,65	30,11	24,2	16,2	11,82
Températures max (°c)	23,42	27,02	32,04	39,46	41	43,5	46,58	39,98	43,76	37,7	30,7	21,84

a) Température maximale

Le minimum est enregistré en décembre. Le maximum est prélevé au mois de juillet.

b) Températures minimale

La valeur minimale est enregistrée en janvier et la valeur maximale est enregistrée en juillet.

a) Températures moyenne

On constate que décembre est le mois le plus froid et juillet le plus chaud.

La température moyenne de la zone d'étude est de **22.74°C**.

Les températures moyennes mensuelles (Figure 1.4) montrent une nette diminution pendant le mois de Décembre et Janvier, La température moyenne des deux mois les plus chauds, Juillet et Août, est de l'ordre 34.3°C. Celle du mois le plus froid «Janvier» est de 10.82°C.

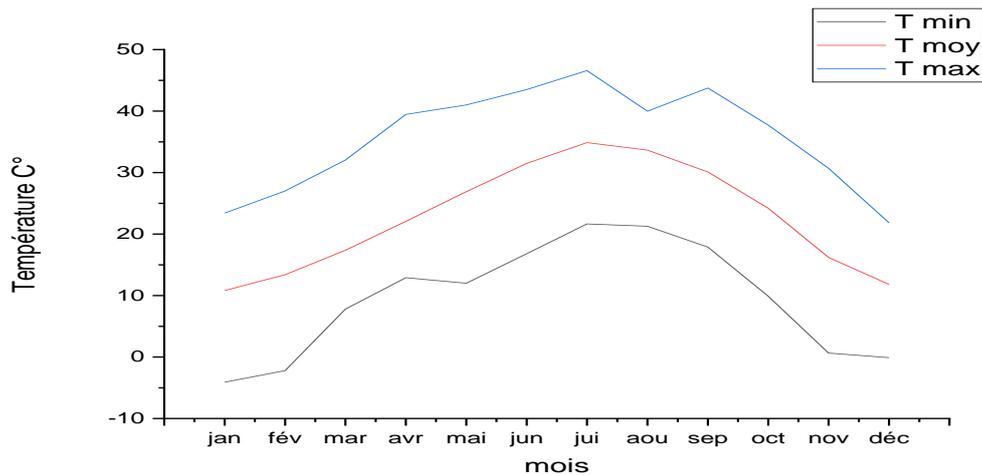


Figure 1.3 : Variation des températures moyennes mensuelles maximales et minimales, à la station d'El-Menia (2000-2017)

1.5. L'évaporation

L'évaporation est un phénomène indispensable dans le cycle de la vie sur Terre [10].

Les mesures de l'évaporation ont été effectuées sous abri à l'aide d'un évaporomètre «Piche » à la station d'El-Menia. Le tableau 1.4 résume les moyennes mensuelles de l'évaporation en millimètre au niveau de la station d'El-Menia à la période de 2000-2017.

Tableau 1.4. Evaporation moyennes à la station d'El-Menia(2000-2017)

mois	jan	fev	mar	avr	mai	jun	jui	aou	sep	oct	nov	dec
Evaporation (mm)	196,8	139	205,8	271,6	324,7	215,3	406,9	375	297,6	215	135,5	100,3

Le taux d'évaporation montre une importance valeur au mois juillet d'environ 394 mm et une faible valeur aux mois de décembre d'ordre 93.7 mm (figure 1.5).

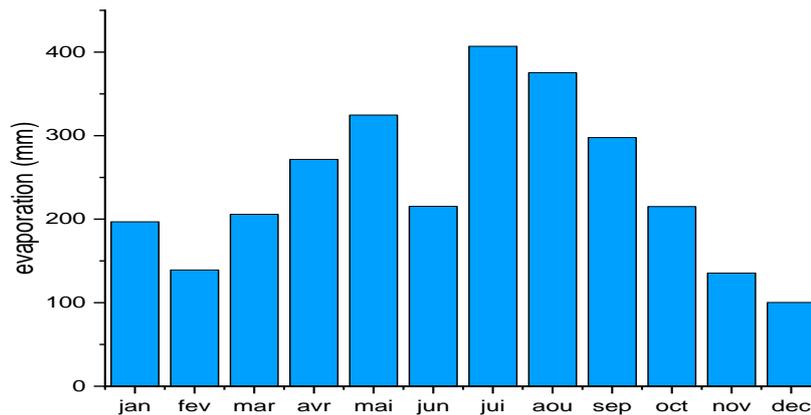


Figure1.4 : Variation d'évaporation, à la station d'El-Menia (2000-2017)

1.6. Le vent

Ce sont des courants résultants d'un gradient de pression dans un ensemble de masse d'air. L'observation du vent porte sur deux paramètres fondamentaux [10]:

- La vitesse mesuré par l'anémomètre, et qui nous renseigne sur la fréquence des vitesses du vent
- La direction repérée à la Girouette, d'où on peut tirer la fréquence des directions et établir la rose des vents.

Durant les mois d'avril, mai, juin on remarque des valeurs importantes (figure 1.6), durant ces mois les vents vont ramener du sable de sud vers le nord.

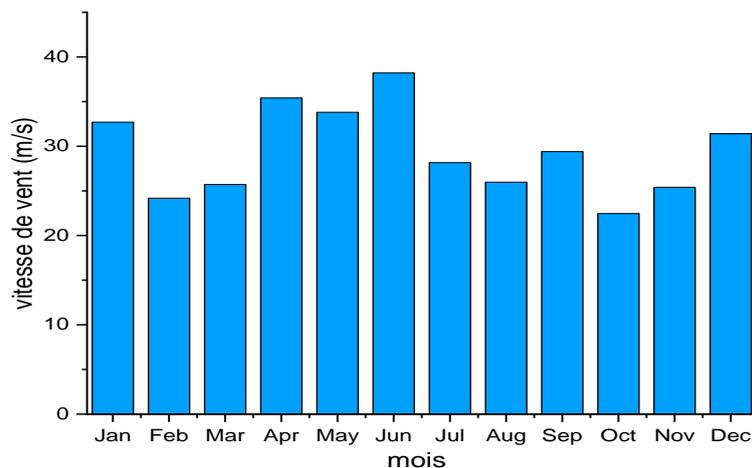


Figure 1.5: Variation de vitesse du vent dans la zone d'étude (station d'el-menia 2000-2017).

1.6.1. L'humidité

L'humidité de la région montre une grande diversité entre les mois hivernaux et les mois estivaux.

La valeur enregistrée est de 22% au mois de juillet, et 55,1% au mois de Janvier. L'humidité est régulière à cause de la situation géographique de la région, la figure 1.7 présente une variation bien régulière, un seul point extrême au mois de janvier d'ordre 55,1 %, et un point minimal au mois de juillet environ 22 %, qui est liée à la forte température et à l'absence des surfaces d'eaux dans la région sauf le lac .

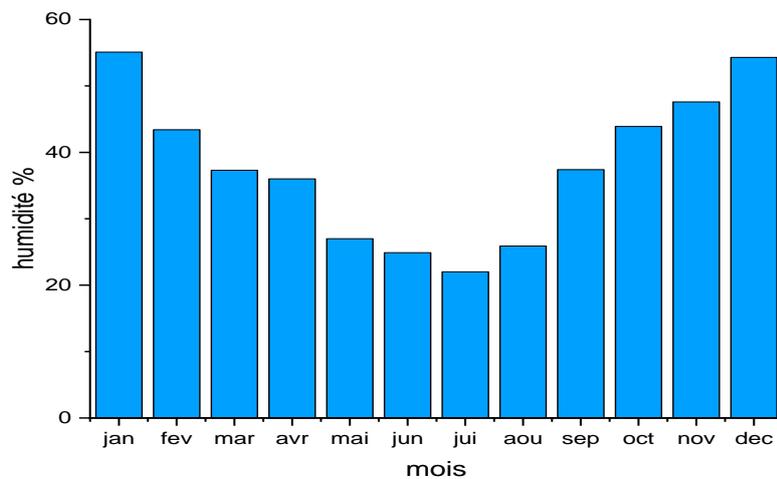


Figure 1.6 : L'humidité moyenne d'El-Menia 2000-2017

1.6.2. L'ensoleillement

Sur le plan temporel, l'ensoleillement et l'évapotranspiration évoluent parallèlement [10], les maximums sont enregistrés en Juillet et les minimums en Décembre (figure 1.8).

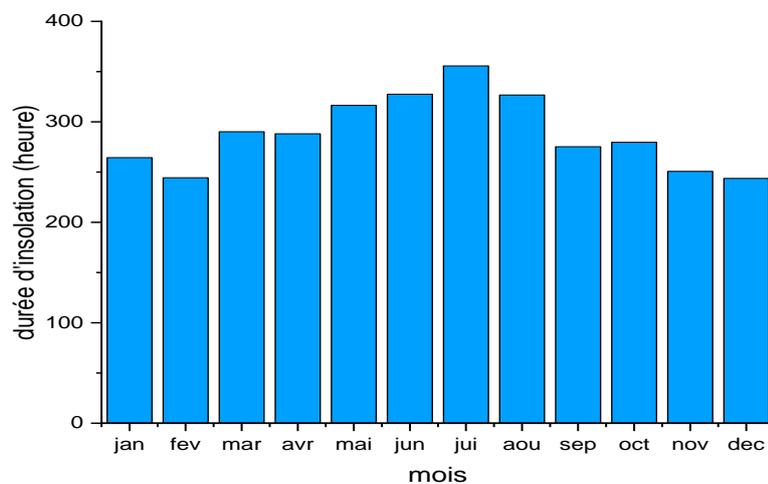


Figure 1.7 : l'insolation moyenne d'El-Menia 2000-2017

1.7. Etude du climat

L'étude du climat nous permet de déterminer les périodes sèches et humides, et on basant sur le calcul des indices climatiques, elle permet de déterminer le type du climat de la région à partir des précipitations et des températures, Deux méthodes peuvent être utilisées pour l'étude climatique :

1.7.1. Méthode graphique

La relation entre la température et la précipitation nous permet d'identifier la période sèche et celle humide durant l'année hydrologique. Cette relation est déterminée par le diagramme Ombrothermique [11].

Un mois humide est celui où le total moyen des précipitations (mm) est supérieur au double des températures moyennes (°C) c'est-à-dire : $P \text{ (mm)} > 2T$. Par contre un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur au double des températures moyennes (°C) c'est-à-dire : $P \text{ (mm)} < 2T$ [11].

- Pour la période sèche, la courbe des doubles températures passe au-dessus de celle des précipitations.
- Pour la période humide, la courbe des précipitations passe au-dessous de celle des températures.

Pour cela nous avons utilisé les données moyennes de l'année de la période (2000-2017) enregistrée dans la station d'El-Menia (tableau 1.5, figure 1.9):

Tableau 1.5. Précipitations et températures moyennes à la station d'El-Menia (2000-2017)

mois	jan	Fev	mar	avr	mai	jun	jui	aou	sep	oct	nov	Dec
T(°C)	10,82	13,4	17,36	22,07	26,89	31,49	34,85	33,65	30,11	24,2	16,155	11,82
2 T(°C)	21,64	26,8	34,72	44,14	53,78	62,98	69,7	67,3	60,22	48,4	32,31	23,64
précipitation (mm)	15,56	0,41	13,98	8,6	10,36	2,45	3,18	9,54	22,64	9,6	7,64	13,12

La figure 1.9 permet d'observer que la région d'El-Menia caractérisé par un climat sèche durant toute l'année.

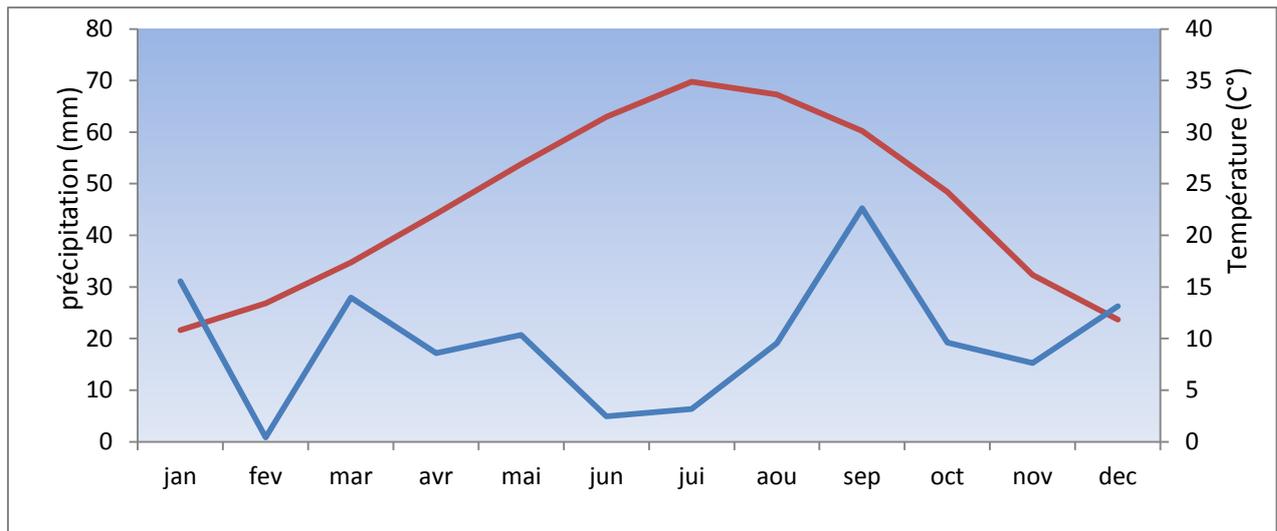


Figure1.8: Diagramme ombrothermique de la zone d'étude (Station d'El-Menia 2000-2017)

Pour la station météorologique d'El-Menia.

1.7.2. Méthode des indices climatiques généraux

L'utilisation des indices climatiques définis par plusieurs auteurs est importante, car elle permet de mieux cerner le type du climat de la région.

1.7.3. Indice de martonne

En 1923, E. De Martonne a défini l'indice d'aridité (I), comme étant un paramètre défini par la formule suivante[12] :

$$I = \frac{P}{T + 10} \dots \dots \dots 1.1$$

Avec :

I : indice d'aridité de Martonne.

P : précipitation moyenne annuelle (mm), P=9.76 mm.

T : température moyenne annuelle (°C), T=22.74°C.

D'après le tableau 1.6, La région d'El-Menia est classée selon l'indice de Demartone à la zone Hyper aride d'ordre 0.43, cette valeur traduit le taux d'aridité qui est à l'extrême, connu à la zone très sèche au monde, dans le grand Sahara africain.

Tableau1.6.Classification des climats en fonction de l'indice de MARTONE

Type de climat	humide	Semi-humide	Semi-aride	Aride	Hyper aride
Valeur d'indice I	55<I<30	20<I<30	10<I<20	5<I<10	0<I<5

1.7.4. Méthode d'EUVERTE

La relation entre précipitation et la température (P/T), permet de définir le type du régime selon la méthode d'EUVERTE [13]. Le tableau.1.7 montre des valeurs inférieurs à un (1) sauf pour le mois de janvier, qui traduit un régime très sec, où l'absence des précipitations La région se trouve dans un milieu désertique, connu par l'absence de l'eau.

Tableau1.7. Le rapport entre précipitation et température dans la région d'El-Menia

mois	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
précipitation (mm)	15,56	0,41	13,98	8,6	10,36	2,45	3,18	9,54	22,64	9,6	7,64	13,12
T moy (C°)	10,82	13,4	17,36	22,07	26,89	31,49	34,87	33,65	30,11	24,2	16,15	11,82
P/T	1,44	0,03	0,81	0,39	0,39	0,08	0,09	0,28	0,75	0,40	0,47	1,11

1.7.5. Indice d'Emberger

On utilise le climagramme d'Emberger (figure 1.10) pour définir le climat de la région étudiée [14]. C'est un abaque qui comporte :

- En ordonné les valeurs du quotient pluviométrique Q données par la relation.
- En abscisse c'est la moyenne des minima de la saison froide en (°C) (figure 1.10), pour notre cas T=3.15°C

L'Indice de L.Emberger est calculé à partir de la formule suivante [15] :

$$Q = \frac{P}{\left(\frac{M+m}{2}\right)(M-m)} \cdot 1000 \quad \dots\dots\dots 1.2$$

Avec :

Q : indice d'Emberger (quotient pluviométrique)

P : précipitation moyenne annuelle en (mm), P=9,76mm

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

m : moyenne des température minimales du mois le plus froid en (°K)

D'après le tableau II.8 nous avons :

$$M = 34.87^{\circ}\text{C} = 307.87^{\circ}\text{K}$$

$$m = 10.32^{\circ}\text{C} = 283.83^{\circ}\text{K}$$

La formule précédente nous permet de calculer l'indice de L.Emberger :

Q = 16.41 La représentation graphique de cette valeur sur le climmagramme de L.Emberger montre que le climat de la région d'El-Menia est classé du type saharien et à hiver frais.

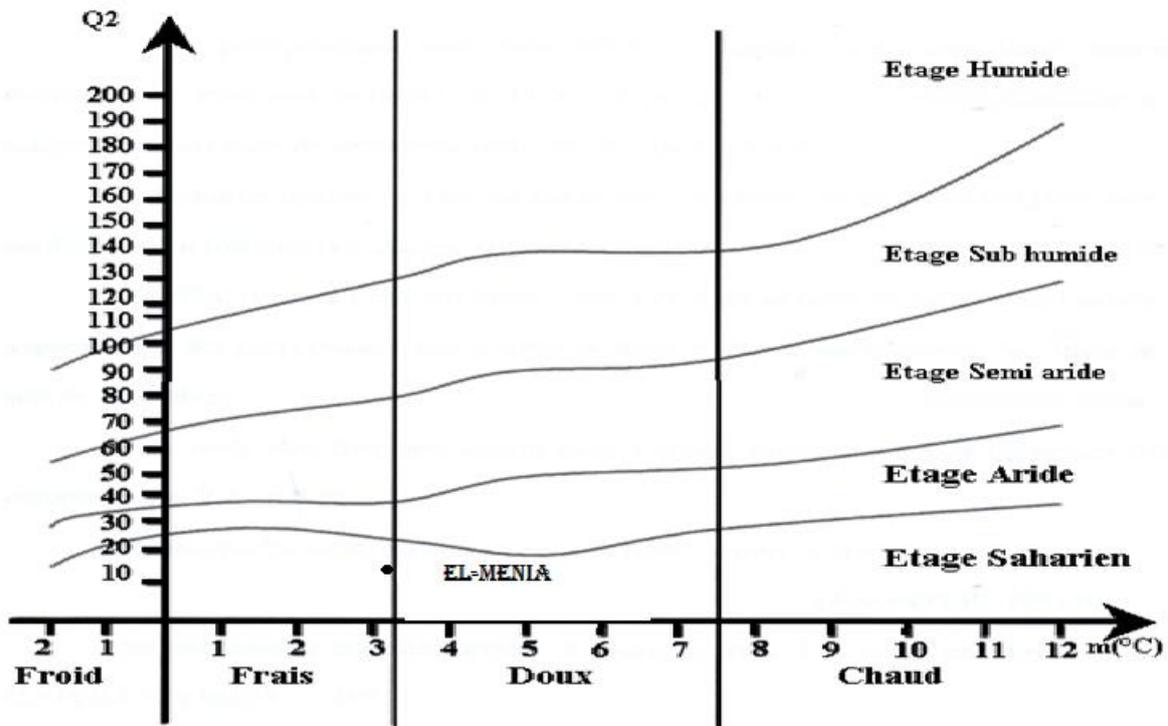


Figure 1.9: Climagramme d'Emberger

1.7.6. Evapotranspiration et le déficit d'écoulement

On les calcule à partir de plusieurs formules empiriques, suivant les données disponibles nous avons utilisé la formule de Turc, Coutagne, Wundt, et celle de W.C.Thornthwaite.

3.7.6.1. L'évapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle, la quantité d'eau, généralement exprimée en millimètres, évaporée ou transpirée par le sol, les végétaux et les surfaces libres d'un bassin versant[16].

a) Méthode de Turc

La formule de Turc, qui dérive en la simplifiant de la formule de Penman, elle tient compte de précipitations et des températures. Applicable à tous les climats [17].

$$ETR = \frac{P}{\left[0.9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)^{1/2}\right]} \dots\dots\dots 1.3$$

Avec :

ETR : évapotranspiration réelle (mm/an)

P : précipitation moyenne annuelle (mm). => P=117.08 mm

T : température moyenne annuelle (°C) => T=22.74°C

L : pouvoir évaporant, $L = 300 + 25T + 0.05T^3$ => L=1455.5

L'application de cette formule a donné ETR= 123.24 mm/an

1.7.6.2. L'évapotranspiration potentielle(ETP)

L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau qui serait évaporée ou transpirée à partir d'un bassin versant si l'eau disponible pour l'évapotranspiration n'était pas un facteur limitant [15].

b) **Méthode de W.C.Thornthwaite**

Elle consiste à calculer une évapotranspiration potentielle pour chaque moi de l'année [18].

$$ETP = 1,6 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \dots\dots\dots 1.4$$

Avec

ETP : Evapotranspiration potentiel (cm).

T : Température moyenne annuelle (°C), T=22.74°C

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,792 \cdot 10^{-2} I + 0,4989$$

$$I = \sum_1^{12} i_n$$

I : Somme des indices thermiques mensuels de l'année,

$$i = \left[\frac{T}{5} \right]^{1,514}$$

i : indice thermique mensuel,

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 1.8 ci-dessous :

Tableau1.8. ETP calculée pour la période (2000-2017) à la station d'El-menia.

mois	jan	Fev	Mar	Apr	Mai	Jun	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
T(°C)	10,82	13,4	17,36	22,07	26,89	31,49	34,87	33,65	30,11	24,2	16,154	11,82
i	3,22	4,45	6,58	9,47	12,77	16,22	18,92	17,93	15,15	10,89	5,90	3,68
ETP (cm)	1,05	1,94	4,06	8,05	14,13	22,16	29,63	26,77	19,50	10,46	3,31	1,36

c) **Méthode de Wundt**

L'abaque de Wundt (figure 1.11) évalue le déficit d'écoulement en fonction des précipitations et de la température[19]. En projetant les valeurs de la température et des précipitations sur l'abaque qui a pour coordonnées (22,74°C, 117.08 mm), on remarque que le déficit d'écoulement est de l'ordre de 200 mm Avec un écoulement faible inférieur à 10%.

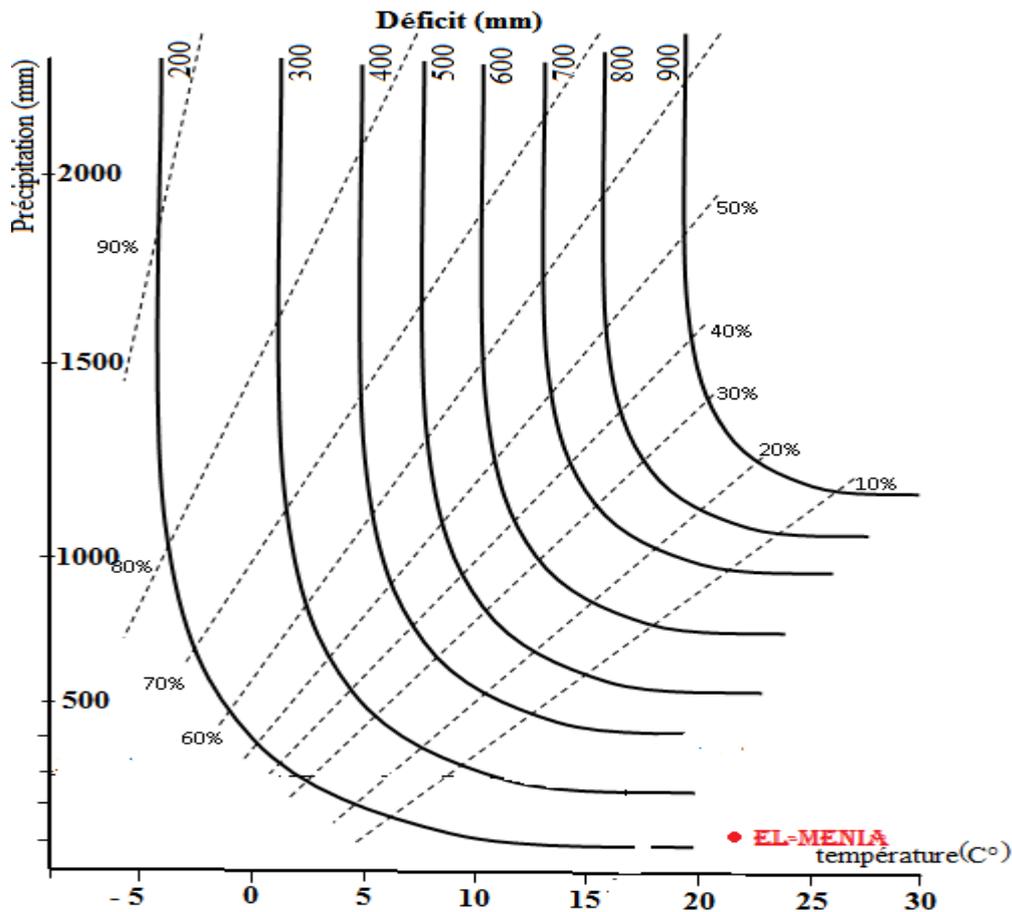


Figure 1.10: Abaque de Wundt modifié par Coutagne, Evaluation de déficit d'écoulement en fonction des températures moyennes et des précipitations

1.7.6.3. Le déficit d'écoulement

d) Méthode de Coutagne

Le déficit d'écoulement d'après Coutagne est calculé par la relation suivante[20] :

$$D = P - (\lambda P^2) \dots\dots\dots 1.5$$

Avec :

D : déficit d'écoulement (mm)

P : précipitation moyenne annuelle (mm), P=117,08 mm.

T : température moyenne annuelle (C°), T=22,74°C.

$$\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14T}$$

Remarque : La loi de Coutagne n'est applicable que les précipitations moyennes annuelles en mètre (m) comprise entre $\frac{1}{8\lambda}$ et $\frac{1}{2\lambda}$, le tableau 1.9 représentent le calcul de paramètre λ .

Tableau 1.9. Calcul de paramètre λ

$P(m)$	λ	$\frac{1}{8}\lambda$	$\frac{1}{2}\lambda$
0.1170	0,251	0,498	1,992

Alors pour notre cas la loi de Coutagne n'est pas applicable car le λ ne comprise pas entre $\frac{1}{8}\lambda$ et $\frac{1}{2}\lambda$.

1.7.6.4. Bilan simplifié selon Thornthwaite

Cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU)[12].

On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (RFU) ; cette eau peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes.

La quantité d'eau stockée dans la RFU est bornée par 0 (la RFU vide) et RFU max.

On admet que la satisfaction de l'ETP a priorité sur l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant (ETP = ETR). Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement.

On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie du mois P, de l'ETP et de la RFU.

➤ Si $P > ETP$, alors :

- $ETR = ETP$
- Il reste un excédent ($P - ETP$) qui est affecté en premier lieu à la RFU, et, si la RFU est pleine, à l'écoulement Q.

➤ SI $P < ETP$:

- On évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit :

❖ $ETR = P + \min(RFU, ETP - P)$

❖ $RFU = 0$ ou $RFU + P - ETP$

- Si $RFU = 0$, la quantité ($DA = ETP - ETR$) représente le déficit agricole, c'est-à-dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse[16].

Le tableau 1.10 résume les valeurs de l'ETP, l'ETR, réserve en eau facilement utilisable et le déficit agricole.

Tableau 1.10. Bilan d'eau selon Thornthwaite

mois	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
P (mm)	15,56	0,41	13,98	8,6	10,36	2,45	3,18	9,54	22,64	9,6	7,64	13,12	117,08
ETP (mm)	10,5	19,4	40,6	80,5	141,3	221,6	296	267,7	195	104,6	33,1	13,6	1424,2
Variation de réserve	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
RFU (mm)	5,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,06
ETR (mm)	10,5	0,41	13,98	8,6	10,36	2,45	3,18	9,54	22,64	9,6	7,64	13,12	111,61
D A (mm)	0	19	26,62	71,9	130,9	219,2	293	258,1	172,3	95	25,46	0,48	1312,1
Excédent (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

À l'échelle annuelle, on observe que l'ETP dépasse largement les précipitations, où on constate deux saisons distinctes :

- P > ETP : De mois de janvier.
- ETP > P : De mois février jusqu'à décembre.

Pendant la saison froide, le bilan hydrique est positives et les précipitations couvrent les besoins de l'ETP et permettent la formation d'une réserve facilement utilisable RFU.

Dès le mois de mars, apparaît un déficit agricole qui se poursuit jusqu'à l'épuisement de la RFU.

Tableau 1.11: Récapitulation des valeurs de L'ETR, ETP et déficit d'écoulement de la station d'El-Menia (2000-2017)

Paramètre	Méthode	Valeur	Moyenne
ETP (mm)	<i>Thorntwaite</i>	1424.2	1424.2
ETR (mm)	<i>Turc</i>	122.9	117.26
	Bilan de <i>Thorntwaite</i>	111.61	

L'équation du bilan hydrologique est définie comme suit :

$$P = ETR + R + I \dots \dots \dots 1.6$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle => P = 117.08 mm.

ETR : évapotranspiration réelle en mm ETR = 117.26 mm.

R : ruissellement moyen annuel de la surface en mm

I : infiltration moyenne annuelle en mm

1.7.6.5. Estimation du ruissellement R

Si la pluie dans une région est intense, le sol ne peut ingurgiter l'apport d'eau un excès d'eau apparait en surface, ce dernier est connue sous le nom de ruissellement.

On estimera le ruissellement à partir la formule de Tixeront-Berkaloff [18] :

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2} \dots\dots\dots 1.7$$

La formule de Tixeront - BERKALOFF nous donne : *R* =0.27 mm.

1.8. Géologie et hydrologie de la région d'El-Menia

1.8.1 . Géologie de la région

Les terrains secondaires caractérisant la région d'El-Menia, un plateau raviné au nord, et, plane au sud, ces couches d'âge secondaire ont marqué par des petites falaises (figure.12), occupé par des oueds tel que Oued Seggueur et Oued Sbaa.

La région d'El-Menia formé des ensembles suivant :

- la vallée de Oued Seggueur occupé par des Oasis.
- l'Erg Occidental à l'Ouest, des dunes sableux d'origine éolien.
- le Plateau de Tademaït aux Sud et à l'Est, en majorité calcaire

Le sol est de nature gréseux, entouré par des lits alluvionnaires de nature argileux à l'Est,et au sud on a un plateaux de type calcaire et à l'ouest une immense dune formant l'Erg occidental. Plusieurs coupes géologique ont été réalisé sur terrain, les affleurements sont commenciez par les argiles rouges (dit argile de El-Goléa) avec des évaporites, marqué un milieu lagunaire peu profond, puis un transgression de la mer Cénomaniens [6].

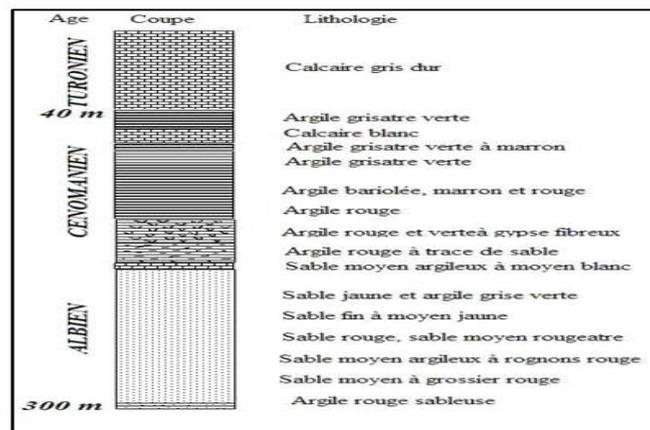


Figure 1.12 : Log lithologique à partir d'un forage d'eau d'El-Menia [6]

1.8.1.1. Albien

C'est ensemble de sable, de grés et d'argile rouge de plusieurs mètres d'épaisseur. Cette formation présente une très grande importance puisque c'est elle qui renferme la nappe aquifère de même nom [18].

cet Albien serait nettement continental et, dans certains de ses formations gréseuses il témoignerait d'un climat sec [6].

1.1.1.2. Cénomaniens

Les géologues qui ont étudié les régions sahariennes rapprochent au Cénomaniens la masse des argiles qui constituent le talus des gours d'El Goléa. La dalle supérieure du calcaire épais, qui forme les gours contient des fossiles marins ; elle serait d'âge cénomaniens supérieur.

Au Sud-Est de Hassi Gara on a une structure tabulaire d'âge Cénomaniens d'un dépôt lagunaire, l'étude de cette série montre à la base une couche argileuse gypseuse verdâtre altérée suivie par une alternance des sédiments calcaires fins à des argiles plus importantes, environ 10 m, où se trouve un niveau d'argile gypseuse claire fibreuse d'épaisseur 50 cm, après on a une couche argileuse plus épaisse de 5 m environ, un banc calcaire se dépose, puis une argile rougeâtre versicolore alterne moins importante que la couche calcaire au niveau 20 m de la base (figure 1.13), une surface ferrugineuse détermine un arrêt de sédimentation, ensuite vers le sommet on constate que l'argile devient sous forme de joint de quelques centimètres, le calcaire devient massif plus en plus, en fin une dalle calcaire ferrugineuse en présence des terriers. Cette dalle est marquée par une quantité importante du fossile tel que Bivalve, Oursin, Ammonite, Gastéropode, et Pecten qui signifie un âge cénomaniens [6].

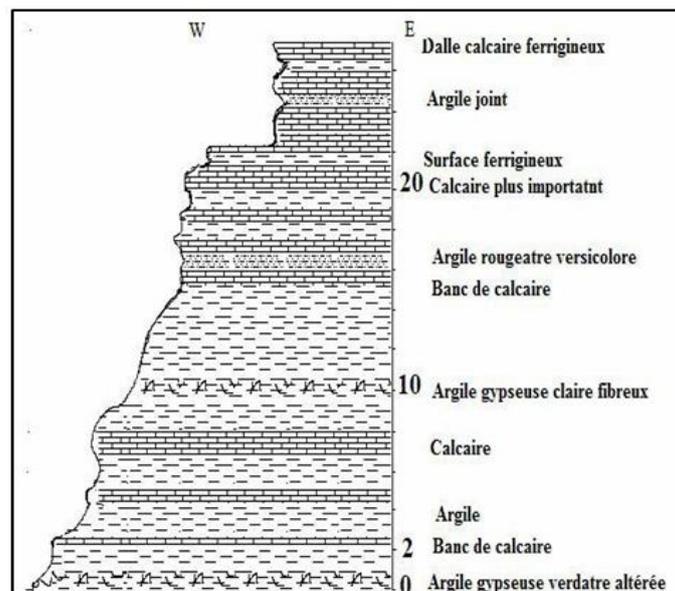


Figure 1.12 : Coupe schématique du Cénomaniens inférieur au Sud-Est du lac d'El-Menia

1.8.1.3. cenomanien superieur

Le Cénomanien supérieur se trouve vers 10 Km au Sud-est de Hassi Gara, ce site est marqué par une dalle calcaire à la base correspond au sommet de la coupe du Cénomanien (figure 1.14), cette dalle est caractérisé par un niveau d'eau faible liée à la présence des terriers, aussi une sédimentation rapide indiqué par les terriers vide et les Gastéropodes. Vers le haut, on trouve des Céphalopodes, échinodermes, Huîtres, et des filons gypseux, après on a un massif calcaire lumachellique, riche en fossile Ammonites (Neolopites fossile caractéristique de Cénomanien supérieur). Au sommet on trouve une dalle de calcaire à pecten [6].

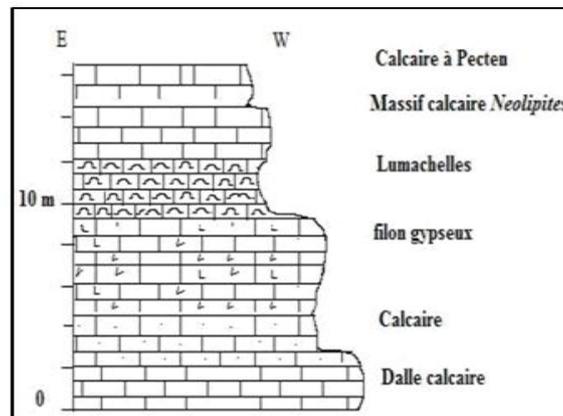


Figure 1.13: Coupe schématique du Cénomanien supérieur d'El-Menia

1.8.1.4. Turonien

le Turonien de El-Menia affleure au nord vers 18Km d'un endroit nommé Ghor Ouargla, cette formation se constitue de calcaire massif et calcaire marneux de 10 m, à la base, suivie par un banc calcaire bioterbie d'un mètre marqué par une surface durcie, ensuite on a un banc de calcaire marneux d'ordre 15 m, terminé par une dalle calcaire qui marque la limite du turonien inférieur au turonien supérieur, après on a une couche de calcaire marneux où on trouve quelque rudiste, au sommet et une dalle calcaire sombre (figure 1.15) [6].

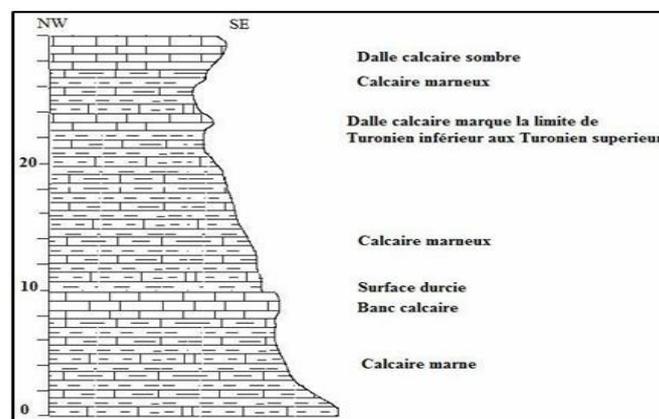


Figure 1.14. Coupe schématique du Turonien au Nord d'El-Menia [6]

1.8.2. Hydrogéologie

La région d'El-Menia est parmi les zones le plus riche en eau dans le Sahara Algérienne, cette ville est marquée par une nappe phréatique proche de surface environ 2 m, et une nappe aquifère de continental intercalaire.

1.8.2.1 .Nappe phréatique

Elle se trouve proche de la surface, à 0.65 m au niveau du lac supérieur, et variée selon l'endroit, elle monte à 1.40 m au quartier Bel-Bachir, et 0.7 m au Hassi Gara [21].

Elle est de nature gréseuse, quaternaire, cette nappe alimentée par des eaux d'Oued Seggueur, d'origine l'Atlas saharien au Nord et termine vers les dunes de l'erg occidental[18].

1.8.2.2 La Nappe du Continental Intercalaire

Cette nappe est une immense réservoir d'eau, elle est constituée des sables à grain moyens à grossiers, ils couvrent plus de 30 000 Km² sur une bande allant du plateau de Tinrhert jusqu'au sud de la Libye (voir figure1.16) [22].

Elle est profonde d'environ 200 m, au niveau d'El-Menia. Elle est alimentée par des eaux de pluie qui tombe au nord, et s'infiltrer avec l'aide de l'erg occidental, cette erg est une ensemble des sables dunaires très perméable d'une surface important, allons d'ElMenia à l'Est, Bechar vers l'Ouest, Timimoun au Sud, et la dorsale de Mzab au Nord [20].

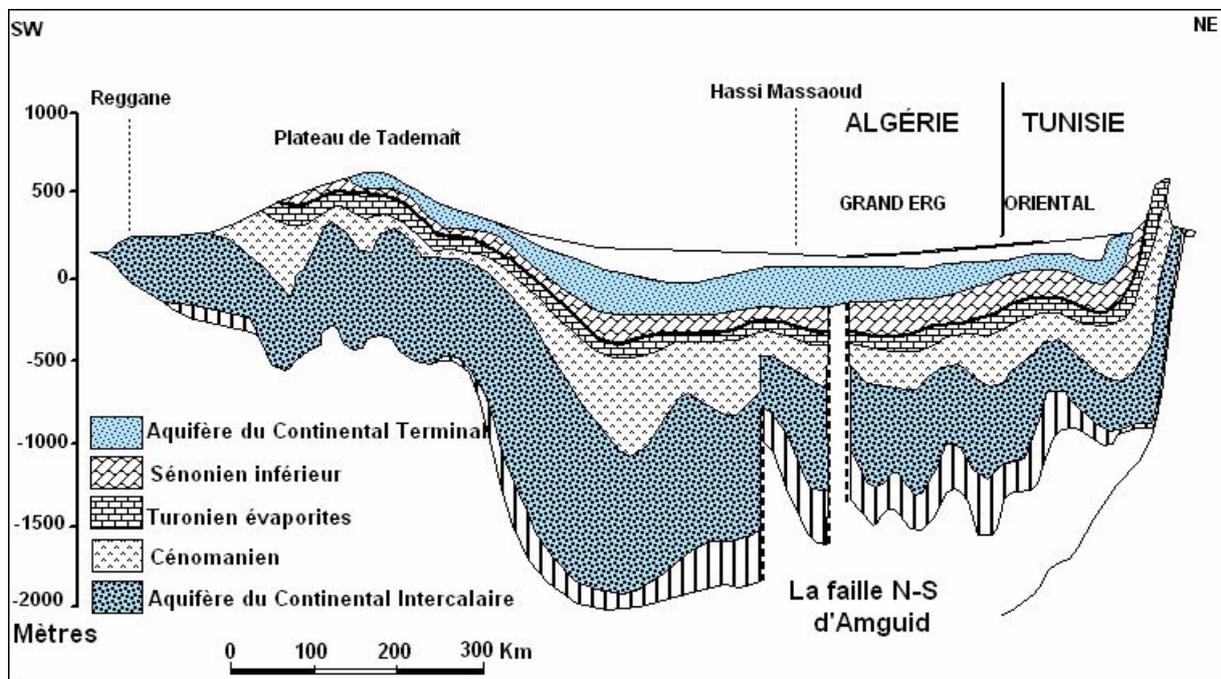


Figure1.15 : Coupe hydrogéologique à travers le bassin de Reggan à la Tunisie[22]

Chapitre 02

Généralités sur la pollution des zones humides

2.1. Introduction

Les zones humides font partie des écosystèmes les plus productifs de la Terre, décrites comme «les reins du paysage» pour les fonctions qu'elles remplissent dans les cycles hydrologique et chimique et comme des «supermarchés biologiques» en raison des vastes chaînes trophiques et de la riche diversité biologique qu'elles entretiennent, de ce fait il devient impérieux de les protéger surtout de l'activité anthropique et des changements climatiques, car pouvant entraîner la disparition de ces écosystèmes [23].

Dans ce chapitre, nous présentons une généralité sur les zones humides et citer les sources et les types de pollution de l'eau ainsi que on indique les impacts des métaux sur les zones humides.

2.2. Définition des zones humides

Au sens de la convention de Ramsar : « les zones humides sont définies étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres [24].

2.3. Importance des zones humides en Algérie

L'Algérie, de par la diversité de son climat et sa configuration physique originale, est riche en zones humides offrant des typologies spécifiques [23], ou on remarque une certaine volonté de sauvegarder et de gérer les milieux humides.

En Algérie, comme dans tous les pays, on assiste à une montée du mouvement environnemental liste qui correspond à une patrimonialisation progressive de l'environnement. Cette action émerge de la prise de conscience d'une menace de disparition imminente de ces espaces singuliers. mieux comprendre les notions de valorisation, de patrimonialisation et de préservation nous aide à mieux conserver nos richesses et trouver des solutions à des problèmes non négligeables rencontrés dans leur maintien. [25].

2.4. Considérations générales sur le suivi de la qualité de l'eau

La mise en place d'un programme d'échantillonnage de l'eau en vue d'évaluer la qualité et de mesurer les variations constitue une tâche complexe. Prélever un échantillon d'eau semble a priori très simple. Il faut cependant s'assurer qu'il est représentatif et que la série de prélèvements effectués permette de répondre aux questions que l'on se pose.

La première étape dans l'élaboration d'un programme d'échantillonnage est la détermination des objectifs du suivi envisagé.

L'échantillonnage des cours d'eau peut répondre à plusieurs questions concernant [26] :

- la connaissance de base de la qualité de l'eau;
- le respect des critères de qualité de l'eau pour les usages potentiels, tels que la baignade, la protection de la faune aquatique, etc.
- l'identification de polluants ou d'une source de pollution.
- l'impact des rejets urbains et industriels sur la qualité de l'eau.
- l'impact de certaines pratiques agricoles.
- l'étude de tendances temporelles [26].

2.5. Choix des paramètres

La liste des paramètres analysés lors d'un suivi de la qualité de l'eau est liée aux objectifs poursuivis. Les paramètres classiques couramment analysés permettent d'évaluer les caractéristiques physiques de l'eau (ex. : pH, conductivité, matières en suspension, turbidité, température), les concentrations d'éléments nutritifs (azote ammoniacal, nitrites-nitrates, azote total et phosphore total), un suivi plus poussé inclut les ions majeurs et parfois les métaux à l'état de trace. selon le type de pollution rencontrée, les paramètres de la qualité de l'eau qui sont affectés peuvent varier [27].

2.6. Choix des stations et fréquence d'échantillonnage

L'emplacement des stations d'échantillonnage et la fréquence d'échantillonnage sont déterminés lors de la conception du projet. La localisation des stations est une étape du plan d'échantillonnage qui est déterminante pour la réussite et la validité du suivi. Le nombre et le positionnement des stations dépendent des objectifs de l'étude, de l'accessibilité et de la sécurité des lieux et des ressources financières disponibles [28].

L'utilisation de plusieurs stations d'échantillonnage sur le cours de lac permet de mesurer la variabilité spatiale de la qualité de l'eau et d'identifier les secteurs où la qualité est plus problématique. Lorsqu'il s'agit de déterminer l'impact d'une source ponctuelle de pollution ou des activités agricoles dans un secteur donné, il est tout indiqué de positionner une station témoin en amont du rejet polluant (qui pourrait être un émissaire urbain, un émissaire industriel ou un affluent) ou du secteur à étudier, et une station en aval de celui-ci. Il faut toutefois s'assurer qu'aucune source de pollution autre que celle visée par le suivi n'est présente entre les deux sites d'échantillonnage [29]. Ce type d'échantillonnage exige que les

stations soient échantillonnées aux mêmes dates et dans un court laps de temps, de telle sorte que les conditions hydrologiques soient semblables et n'influent pas sur les différences qui pourraient être observées entre les stations [28].

Pour les paramètres classiques, un minimum de 8 à 9 prélèvements au cours d'une année est nécessaire pour caractériser un site donné[30].

2.6.1. Représentativité de l'échantillon

Prélever un échantillon d'eau semble a priori très simple. Il faut cependant s'assurer qu'il est représentatif (c'est-à-dire qu'il reflète fidèlement l'état du cours d'eau à l'endroit et au moment où il a été prélevé), qu'il ne subit aucune contamination et qu'il conserve son intégrité jusqu'au moment de l'analyse. Afin d'obtenir un échantillon d'eau représentatif, le prélèvement doit généralement se faire dans une zone de plein mélange, habituellement dans le courant principal. Il est important d'éviter que des sédiments soulevés par les manœuvres d'échantillonnage ne contaminent l'échantillon. Il est essentiel de conserver les échantillons à l'abri de la lumière, à une température de 4 °C et de ne pas dépasser les délais de conservation prescrits par le laboratoire [30].

2.7. Origine de la pollution des zones humides

La contamination des eaux est un souci majeur pour la protection des écosystèmes et des ressources en eaux. elle est l'objet de beaucoup d'études aussi bien au niveau des eaux superficielles que souterraines, la contamination par tous les intrants peut être de différentes sortes selon l'eau et son emplacement. Pour l'eau superficielle, elle peut être :

- directe et volontaire par une utilisation normale des produits phytosanitaires et autres produits à des fins dans la vie courante (lutte anti-acridienne, utilisation des pesticides ou engrais dans l'agriculture, eaux usées des usines, etc...), Les effluents urbains et industriels rejetés trop souvent sans aucun traitement, constituent la source principale de dégradation [30].

- indirecte par ruissellement ou transfert des produits suite à leur épandage dans le milieu ou drainage des eaux usées [31],L'agricole à son tour participe à cette dégradation de la qualité de l'eau, partout dans le monde les taux de pesticides augmentent régulièrement dans les rivières, L'azote et le phosphore entraînés par le ruissellement favorisent la prolifération d'algues qui, en consommant tout l'oxygène de l'eau, asphyxient littéralement les autres formes de vie.

2.8. Les types de pollution

La pollution de l'eau est l'ensemble des nuisances auxquelles peut être exposé son usager et les organismes aquatiques :

2.8.1. la pollution chimique

La pollution chimique : elle est due à l'entrée d'un élément (ou plusieurs) indésirable dans la composition chimique de l'eau initialement destinée à un usage bien précis.

Deux types de paramètres permettent d'évaluer l'état de cette pollution :

- Les paramètres globaux : ils résultent des effets de plusieurs substances en même temps exemple : pH, conductivité, turbidité, Demande Chimique en Oxygène (DCO), etc.
- Les paramètres spécifiques qui caractérisent un composé particulier ou plusieurs de propriétés chimiques semblables [31].

2.8.2. la pollution physique

La pollution physique est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels que la température, le pH, la conductivité, le solide totale dissous (TDS), la présence des particules ou mousses et le changement de l'effet réfractaire de l'eau [31].

2.8.3. la pollution microbiologique

La pollution microbiologique résulte de la présence dans l'eau des microorganismes qui sont véhiculés par l'eau et sont responsables de beaucoup de maladies hydriques, L'eau peut être un milieu favorable aux développements des bactéries et virus nuisibles à la santé humaine des populations qui l'utilisent pour leurs besoins [32].

2.9. Les types de polluants

2.9.1. Polluants organiques

Les polluants organiques sont les plus nombreux et les plus dangereux, Certaines de ces substances sont même cancérigènes ou mutagènes, d'où l'importance de les éliminer. Ils peuvent être classés en phénols, hydrocarbures, colorants, détergents et pesticides, formant de loin, la première cause de pollution des ressources en eaux. Ces matières organiques sont notamment issues des effluents domestiques (déjections animales et humaines, graisses, etc.) mais également des rejets industriels (industries agro-alimentaires, en particulier). Elles provoquent l'appauvrissement en oxygène des milieux aquatiques, avec des effets bien évidents sur la survie de la faune, ce sont aussi tous les déchets carbonés qui constituent une nourriture de choix pour les microorganismes de l'eau et provoquent leur prolifération. Les

matières organiques se mettent alors à vider le milieu de son oxygène, ce qui s'avère fatal pour la vie aquatique et les microorganismes [32].

2.9.2. Polluants inorganiques

Les métaux lourds sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces: mercure, plomb, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse. Les plus toxiques d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure ,nombreuses activités industrielles telles que l'électronique, les traitements de surface, l'industrie chimique, utilisent des métaux d'où la possibilité de rejets dans l'environnement[33].

2.10. Les métaux lourds dans les zones humides

Les métaux sont des éléments de la classification périodique formant des cations en solutions, d'un point de vue purement chimique. Le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments)[34].

D'un autre point de vue biologique, on en distingue deux types de métaux en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : métaux essentiels et métaux toxiques.

Les métaux essentiels sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques[34,35]. Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe). Par exemple, le zinc (Zn), à la concentration du milli-molaire, est un oligo-élément qui intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques (déshydrogénases, protéinase, peptidase) et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides [36].

Concernant le deuxième type, les métaux toxiques, ils ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule, c'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), et du cadmium (Cd)[37].

Les métaux lourds peuvent provenir de deux principales sources ; une origine naturelle et une origine anthropogéniques.

Les sources anthropogéniques des métaux (générées par les activités humaine) sont nombreuses, notamment en milieu urbain par des émissions provenant du trafic automobile, ces émissions sont liées à plusieurs phénomènes ; la combustion du carburant, la corrosion de la carrosserie, l'abrasion des freins et des pneumatiques des voitures. Les apports métalliques dans le milieu naturel sont également industriels (usines thermiques, combustion d'essence et

de fuel, incinérateurs d'ordures ménagères, métallurgie). Les apports agricoles (usage de fertilisants, épandage de boues urbaine) et miniers sont classés parmi les contaminations ponctuelles [38].

2.11. Les paramètres analysés

2.11.1. Couleur, odeur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes,

Elle est dite apparente quand les substances en suspension y'ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelle et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité [39].

En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire. Le sens olfactif peut seul, parfois, les déceler[39].

2.11.2. La température

La température des eaux superficielles (rivières, lacs et retenues) est très variable selon les saisons [39].

La température est l'un des paramètres à mesurer et noter sur place au moment du prélèvement, la mesure de température de l'eau est effectuée avec un thermomètre précis.

Celle-ci joue un rôle dans [39] :

- La solubilité des sels et surtout des gaz.
- La dissociation des sels dissous.
- La conductivité électrique.
- La détermination de pH.

2.11.3. Le potentiel hydrique

Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés. Des eaux issues de massifs cristallins auront un pH plutôt acide. A l'inverse, des eaux provenant de régions calcaires auront un pH plutôt basique [40].

Le Ph joue un rôle primordial à la fois :

- Dans les propriétés physico-chimiques (des pH inférieurs à 7 peuvent provoquer une corrosion sévère des tuyauteries métalliques conduisant à une augmentation des concentrations de certaines substances métalliques (plomb, cadmium).
- Dans les processus biologiques.
- Dans l'efficacité des certains traitement (des pH supérieurs à 8 entraînent une diminution de l'efficacité du processus de désinfection au chlore car celui-ci se trouve sous forme non bactéricide).

2.11.4. La Conductivité

La mesure de la conductivité donne une idée sur la salinité de l'eau, Plus la conductivité est grande et plus la salinité est importante.

Le lessivage des sols entraîne naturellement la dissolution d'un certain nombre de sels (carbonates, bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, calcium, sodium, potassium, magnésium pour les principaux),aussi Certaines activités industrielles et agricoles rejettent également des sels et provoquent donc un accroissement de la conductivité[41].

2.11.5. La Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension.

Elle trouve dans l'eau peut être due à l'argile au limon, aux rejets industriels ou à la présence d'un grand nombre de micro-organismes [33,37].

L'appréciation de l'abondance de ces métiers mesure son degré de turbidité, celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace [42].

2.11.6. Détermination de résidu sec

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. La détermination du résidu sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée préalablement à la mesure, le résidu correspond alors aux matières dissoutes [43].

2.11.7. Oxygène Dissous

L'eau contient toujours de l'oxygène dissous dont les concentrations varient selon la température et la pression partielle, plus les eaux sont superficielles et plus elles sont chargées en oxygène [43].

2.11.8. Le titre alcalimétrique complet

Le titre alcalimétrique complet correspond à la teneur en eau en alcalis libres carbonates et hydrogènes carbonates.

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minérale dilué, en présence d'un indicateur coloré.

2.11.9. Dureté totale

La dureté totale d'une eau est la concentration totale en ions calcium et magnésium [44].

2.11.10. Dosage des chlorures

De façon générale, les chlorures sont présent dans toutes les eaux à des concentrations variables, la teneur en ion chlore des eaux naturelles est essentiellement associée à celle du sodium[44].

2.11.11. Dosage de calcium et de magnésium

2.11.11.1. Le calcium

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Ses sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles. Leur teneur dans l'eau, est directement liée à la nature géologique des terrains traversés.

Dans les cours d'eau pollués organiquement, la concentration en calcium peut être accrue car les protéines et acides faibles provenant de l'oxydation des matières organiques augmentent la mise en solution du carbonate de calcium

Dépendant de la température, du pH et de l'alcalinité de l'eau,

2.11.11.2. Le magnésium

La concentration de magnésium est en relation directe avec la nature géologique des terrains traversés.

La source principale de magnésium est (les déchets animaux et produits d'origine végétale).

2.11.12. Les sulfates

Les sulfates (SO_4^{2-}) proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse. Ils résultent également de l'activité de certaines bactéries .

Composés naturels des eaux, les ions sulfates (SO_4^{2-}) sont liés aux cations majeurs : Ca^{+2} , Mg^{2+} , Na^+ et à ceux du Pb^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} .

Les sources de sulfates sont nombreuses sont les industries qui déversent dans le milieu naturel des effluents chargés en sulfates dans l'eau : tanneries, industrie papetière et textile, ateliers de décapage métallique.

2.11.13. Dosage du sodium et du potassium

Le potassium est présent à l'état naturel, Il s'agit d'un élément indispensable, en petites quantités, à tous les organismes vivants.

Les dosages du sodium et du potassium ont été faits par spectrophotomètre de flamme.

2.11.14. Détermination de l'azote ammoniacal (NH_4^+)

L'ammoniaque est un élément de pollution responsable de la dégradation de la qualité des eaux, La présence d'azote ammoniacal traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique et aussi les apports d'origine domestique, industrielle ou agricole[45].

2.11.15. Dosage des nitrates

Les nitrates sont abondamment répandus dans le sol, dans la plupart des eaux et dans les plantes où ils sont nécessaires à la synthèse des végétaux[44].

2.11.16. Dosage de nitrite

L'azote, élément essentiel de la vie, est présent en abondance dans la nature sous forme gazeuse, organique ou minérale. Les nitrites (NO_2^-) proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque (NH_3), soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant.

Les nitrites sont répandus dans le sol, dans les eaux et dans les plantes mais en quantités relativement faibles. En général, dans les eaux de surface, leur teneur excède rarement 1 mg/l. La pollution atmosphérique (oxyde d'azote) favorise l'augmentation des teneurs en nitrites. Les nitrites non liés à une pollution,

2.11.17. Dosage de fer

Le fer ne présente pas de danger pour l'environnement mais il apporte cependant des désagréments d'ordre esthétique et organoleptique. En effet, le fer donne une coloration de rouille à l'eau qui peut tâcher le linge, les sanitaires ou bien encore les produits issus de l'industrie agro-alimentaire [46].

2.11.18. Phosphate

la présence des ortho phosphates dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique[40], leur présence aussi liée aux rejets industriel et domestiques.

les teneurs élevée des ortho phosphates favorisent la prolifération des algues qui conduisent à l'eutrophisation des lacs, des cours d'eau et résulte une véritable dégradation de la vie aquatique[45].

2.11.19. Demande chimique en oxygène (DCO):

La Demande Chimique en Oxygène ou DCO représente la quantité d'oxygène consommée, exprimée en milligrammes par litre, par les matières oxydables chimiquement contenues dans un effluent. Selon la méthode normalisée, il s'agit de l'oxydation par un excès de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en milieu acide et à l'ébullition, des matières oxydables contenues dans l'effluent. La DCO constitue un précieux paramètre indicateur de la présence de polluants dans les eaux résiduaires[40].

2.11.20. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène DBO₅ au bout de 5 jours est par définition la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes vivants présents dans le milieu pour assurer l'oxydation et la stabilisation des matières organiques présentes dans les eaux usées.

Pour une eau naturelle superficielle (rivière, étang,...), ce paramètre traduit la consommation d'oxygène relative au phénomène d'autoépuration. Le dosage de la DBO₅, qui traduit l'effet des transformations biochimiques relatives à la majeure partie des composés carbonés, est réalisé par comparaison entre la teneur initiale en oxygène dissous et la teneur résiduelle dans l'effluent après incubation à l'obscurité pendant 5 jours à 20 °C[40].

2.11.21. Rapport DCO/DBO₅ comme indice de biodégradabilité

Le rapport DCO/DBO₅ détermine la possibilité et le rendement de dégradation que l'on peut espérer par un traitement d'oxydation biologique par les micro-organismes.

La valeur du rapport détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement, biologique, sinon on applique un traitement physicochimique si :

- $k < 1,5$: Les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradable.
- $1,5 < K < 2,5$: les matières oxydables sont moyennement biodégradables.

- $2,5 < K < 3$: les matières oxydables sont peu biodégradables.
- $K > 3$: les matières oxydables sont non biodégradables [47].

2.11.22. Dosage des métaux lourds

Les dosages d'éléments traces dans l'eau nécessitent, au préalable, la filtration de la solution pour supprimer toute suspension susceptible de contenir des contaminants organiques hydrophobes et des métaux traces [39].

On ajoute 2 ml d'acide nitrique et 8 ml d'échantillon après on agite l'échantillon et on fait la lecture par SAA (spectre d'adsorption atomique), les résultats sont exprimés en mg/l.

2.11.23. Les éléments traces étudiés

Notre étude est basée sur les métaux suivants : plomb, cuivre et cadmium, chrome, nickel, zinc, manganèse, cobalt.

2.11.23.1. Le cuivre

Le cuivre est l'élément chimique de numéro atomique 29, de symbole Cu. Le corps simple cuivre est un métal [48].

Le cuivre, à très faible dose est un oligo-élément indispensable à la vie. Il est notamment nécessaire à la formation de l'hémoglobine et remplace même le fer pour le transport de l'oxygène chez une espèce d'arthropode, la limule, dont le sang est bleu. Le cuivre contamine les eaux environnantes à des doses et concentrations infimes ($10 \mu\text{g/l}$) pour de nombreux organismes : algues, mousses, microorganismes marins, champignons microscopiques [50].

Dans les eaux, le cuivre provient pour la majeure partie de l'érosion des sols par les cours d'eau et de la contamination par le sulfate de cuivre et principalement des rejets d'eaux usées qui contiennent encore du cuivre, même après traitement [50].

2.11.23.2. Le plomb

Le plomb est l'élément chimique de numéro atomique 82, de symbole Pb. Dans les conditions standard le corps simple plomb est un métal malléable et gris bleuâtre, qui blanchit lentement en s'oxydant [51].

Le plomb est un contaminant de l'environnement, toxique et écotoxique dès les faibles doses [52].

Les maladies et symptômes qu'il provoque chez l'homme ou l'animal sont regroupés sous le nom de « saturnisme » [53].

La contamination des milieux aquatiques en Pb est en grande partie liée à sa rémanence et sa persistance après l'arrêt de son émission. Le plomb s'accumule dans le corps des organismes aquatiques et souffrent des conséquences d'empoisonnement [54].

Chez les crustacés, ces effets se font ressentir même si de très petites concentrations de plomb sont présentes. Les fonctions du phytoplancton peuvent être perturbées lorsque le plomb est présent [55].

Le plomb compte avec le mercure et le cadmium parmi les trois contaminants les plus toxiques et fréquents de notre environnement [56].

2.11.23.3. Le cadmium

Le cadmium est l'élément chimique de numéro atomique 48, de symbole Cd. Le corps simple cadmium est un métal [51].

Le cadmium est un métal blanc, mou et malléable, ayant des propriétés physiques proche de celle de zinc [57].

Sa toxicité est connue depuis les années 50. Très toxique sous toutes ses formes (métal, vapeur, sels, composés organiques), le cadmium est l'un des rares éléments n'ayant aucune fonction connue dans le corps humain ou chez l'animal [58].

Les effets toxiques du Cd ne le sont pas seulement pour l'homme, mais aussi pour les végétaux et les animaux [59]. La préoccupation sur le cadmium durant ces dernières années s'explique globalement par une écotoxicité élevée de ce métal, même à des concentrations très faibles, et d'une capacité de bioaccumulation dans de nombreuses espèces aquatiques [60]. L'accumulation du cadmium au sein de ces organismes est un phénomène bien connu. Par exemple chez les crustacés, il a été montré que le cadmium s'accumulait préférentiellement au niveau des branchies et de l'hépatopancréas, induisant alors des dommages cellulaires [61]. Le cadmium est ainsi à l'origine de certaines anomalies de développement et destructions tissulaires [62].

2.11.23.4. Le zinc

Le zinc est l'élément chimique de numéro atomique 30 et de symbole Zn. Le corps simple zinc est un métal [51].

Il s'agit d'un oligo-élément indispensable au développement de la vie des organismes végétaux et animaux, dûment assimilé par les organismes, il active en particulier les enzymes, influence la croissance, favorise les réactions et contrôles biochimiques au niveau des surfaces pulmonaires, son utilisation est variable et multiple ; une grande partie de la pollution provient de la métallurgie. Sa toxicité pour les organismes marins n'est pas prouvée,

sauf à de fortes concentrations[63] ,Les sources naturelles de zinc dans l'environnement sont l'altération de roches, le volcanisme et la végétation [64].

2.11.23.5. Le manganèse

Le manganèse est l'élément chimique de numéro atomique 25, de symbole Mn. Le corps simple est un métal de transition [51].

Le manganèse est un élément chimique métallique, blanc argenté il existe à l'état soluble dans les eaux, mais une fois collecté il s'oxyde rapidement, précipite de la solution échantillonnée ou s'adsorbe sur les parois du récipient.

Le Manganèse peut être trouvé dans les eaux, de manière naturelle par lessivage des terrains miniers. Il est intéressant également de signaler que le drainage des sols et litières peut entraîner une certaine quantité de manganèse dans les eaux [65].

le manganèse aurait un effet sur le métabolisme du phytoplancton ; seule la photosynthèse serait affectée et pas la respiration ni la formation de chlorophylle. Une déficience en manganèse réduirait considérablement le taux de photosynthèse en faible lumière ; cet effet étant moins marqué en lumière forte Chez les poissons, le manganèse se concentre principalement dans les parties du squelette [66].

2.11.23.6. Le nickel

Le nickel est l'élément chimique de numéro atomique 28, de symbole Ni. Le corps simple nickel est un métal [51].

La principale source de rejet de nickel dans les eaux résiduaires industrielles est représentée par l'industrie métallurgique, notamment les opérations de revêtement faisant intervenir le nickel. Les eaux usées provenant de revêtement contiennent des sels de nickel [67].

En très faible quantité et sous des formes assimilables par l'organisme, le nickel est considéré comme un oligo-élément pour les animaux, également indispensable à la croissance des plantes [68].

Le nickel se trouve en moindre importance, dans les eaux résiduaires de raffineries d'argent, des fabriques d'acier, des fonderies, des industries automobile et aéronautique, des fabriques de peintures. Le nickel se trouve aussi dans les eaux de ruissellement en milieu urbain[51].

Le nickel semble néanmoins plus toxique pour les poissons que le fer et le manganèse, Des études réalisées sur l'accumulation du nickel chez un mollusque bivalves d'eau de mer ont montré que pour des concentrations en nickel comprise entre 0,018 mg/L et 0,03 mg/L, il n'y a pas d'accumulation significative du nickel dans les tissus des organismes exposés [69].

2.11.23.7. Le chrome

Le chrome est l'élément chimique de numéro atomique 24, de symbole Cr. Le corps simple est un métal de transition [51].

C'est un métal dur, d'une couleur gris acier argenté, L'impact immédiat de sa présence dans le milieu marin se manifeste par sa concentration dans les différents organismes aquatiques. Des études ont montré qu'une alimentation adéquate en chrome améliore la croissance et la longévité et de paire avec l'insuline, favorise un bon métabolisme du glucose, des lipides et des protéines ,le chrome trivalent est la forme la plus toxique pour les poissons[70].

2.11.23.8. Le cobalt

Le cobalt est l'élément chimique de numéro atomique 27, de symbole Co [51].

À l'état pur, le cobalt est un métal dur et brillant, de couleur gris acier ou noire [57].

Le ruissellement des eaux de pluies à travers la terre et les roches contenant du cobalt peut apporter de cobalt dans les eaux de surface [71].

Chapitre 03

Résultats et discussion

3.1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de l'étude physico-chimique des eaux de lac d'El-Menia.

3 Compagnes ont été effectuées en 2015/2016/2017 et 2018.

les sorties	date	temps
première compagne	samedi 12/12/2015	14:00
deuxième compagne	dimanche 10/04/2016	11:00
troisième compagne	Samedi 06/05/2017	10:00
quatrième compagne	Lundi 25/06/2018	08:30

Les points de prélèvements ont été sélectionnés selon leur importance d'une manière à avoir une bonne répartition spatiale de ces derniers sur l'ensemble de lac.

Les différentes analyses des paramètres physico-chimiques des échantillons ont été effectuées au sein de laboratoire de l'ADE (Algérienne Des Eaux), unité de Ghardaïa et au niveau de l'université de Ghardaïa.

Les procédures de dosage sont déduites des méthodes d'analyse standard.

Le pH a été mesuré par un pH Mètre, la conductivité est donnée directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ par Conductimètre.

Les paramètres chimiques par des différentes méthodes :

- Le calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}), Chlorures (Cl^-) par titrimétrie ;
- La dureté totale ou le Titre Hydrotimétrique des échantillons est déterminée par Complexometrie par titrage avec l'acide éthylène-diamine-tétracétique (EDTA) [16].
- Les teneurs en sodium Na^+ , potassium K^+ sont dosés par photométrie de la flamme.
- Les ions sulfates (SO_4^{2-}) sont précipités à l'état de sulfate de baryum et dosés par gravimétrie.
- Les Métaux lourds :Pb, Cd,Co,Mn,Cu,Zn,Ni mesurer par SAA(spectre d'adsorption atomique)

3.2. Matériels et méthode

3.2.1. Mode de prélèvement

Les échantillons d'eau ont été conservés dans des flacons en polyéthylène de 1000 ml de capacité. Ces bouteilles sont rincer par l'eau distillée, en premier fois, et les eaux du lac sur place pour évite toute contamination.

Après le prélèvement, les échantillons sont mis à l'abri de lumière à une température de 4°C , puis transportés au laboratoire [43].

3.2.2. Positionnement des points de prélèvements

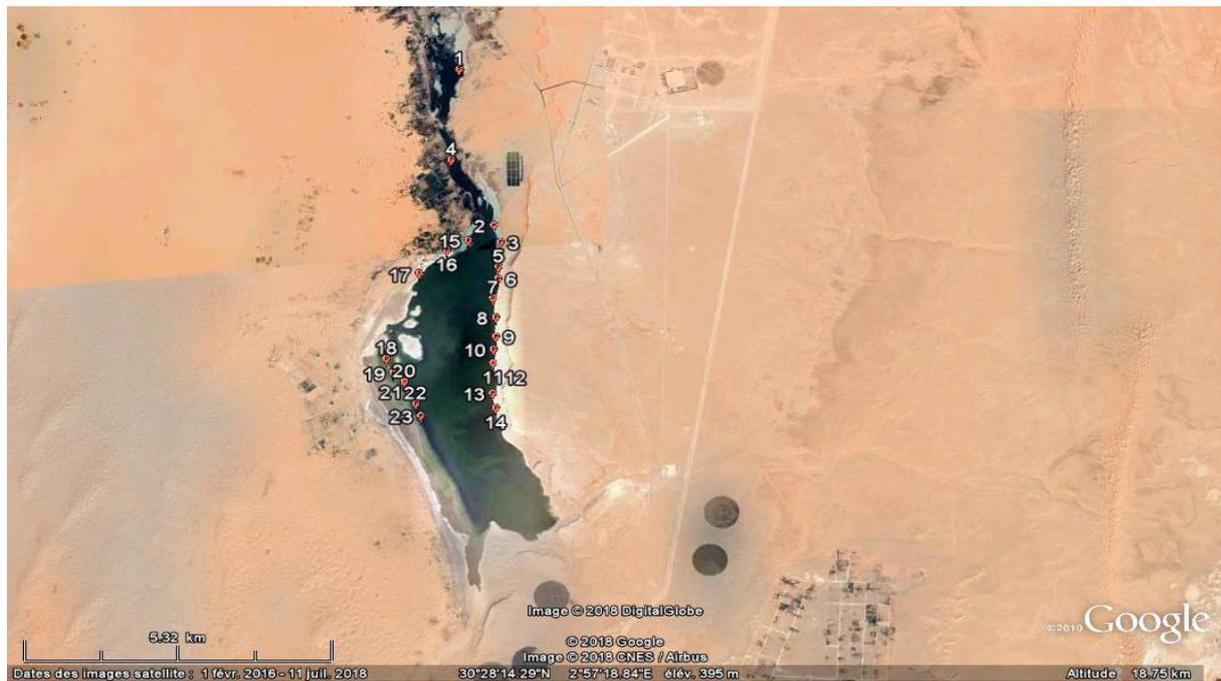


Figure 3.1 : positionnement des points de prélèvement pour l'année 2015

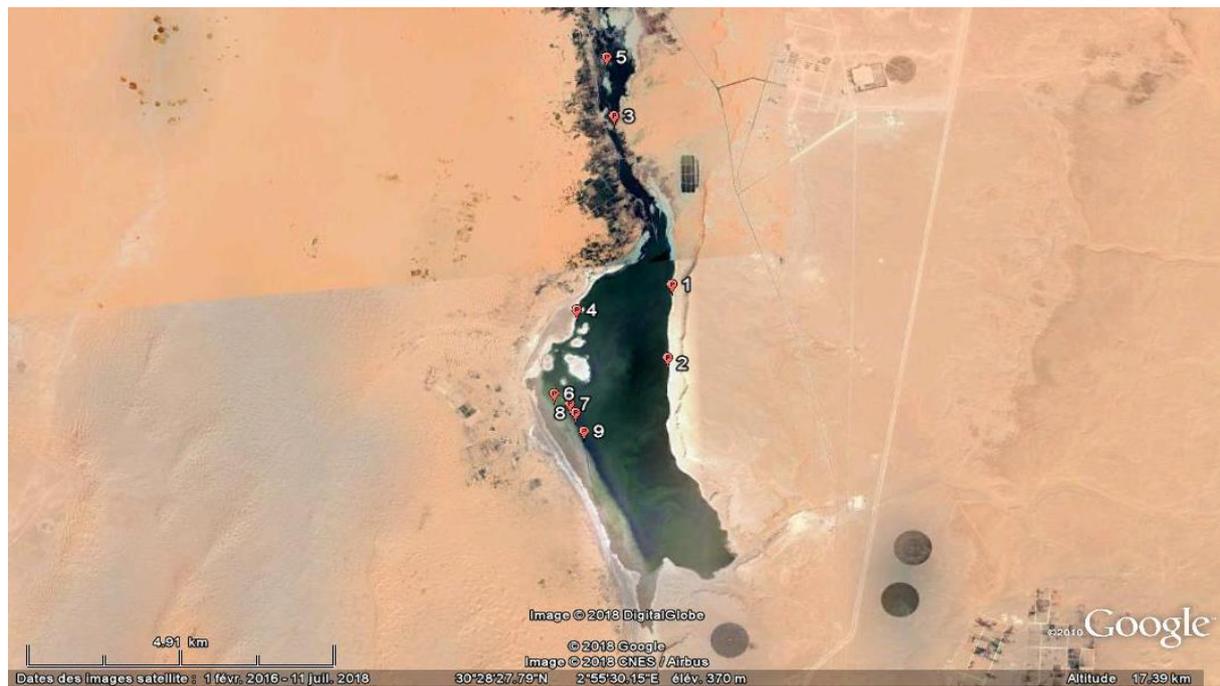


Figure 3.2 : Positionnement des points de prélèvement pour l'année 2017

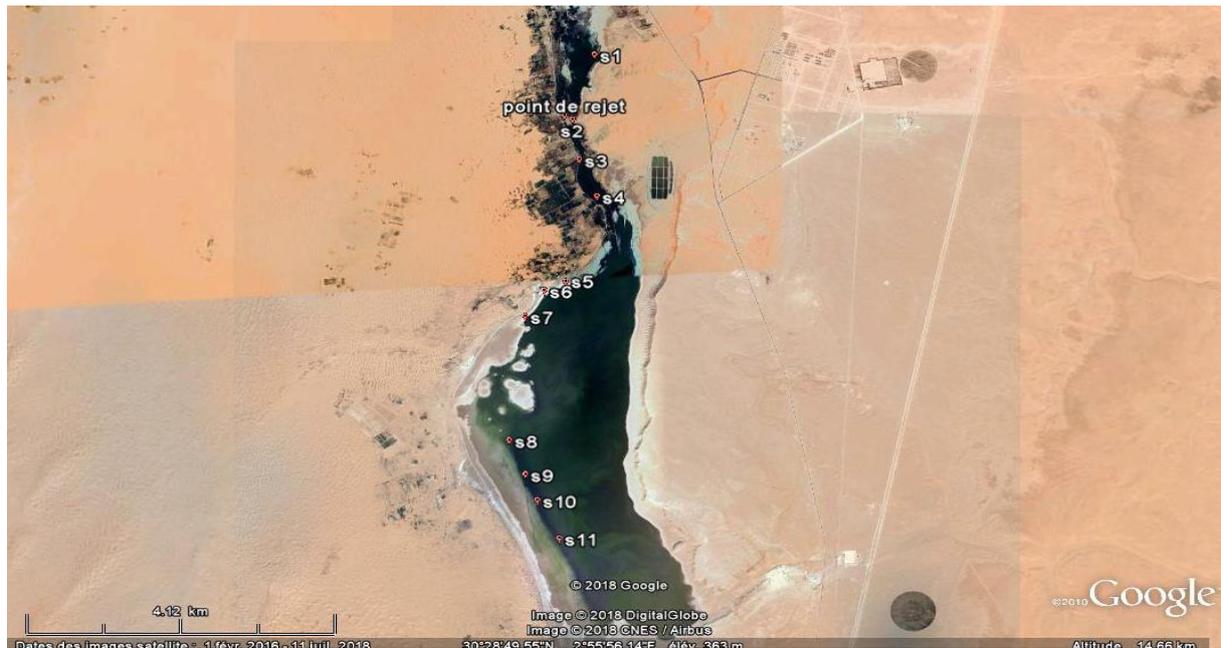


Figure 3.3 : positionnement des points de prélèvement pour l'année 2018

3.3. Les analyses prélevé en 2018

3.3.1. Paramètres physiques

3.3.1.1. La carte de potentiel d'Hydrogène pH

Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés. La carte de distribution de pH (figure 3.4) montre que le lac supérieur est caractérisé par une grande alcalinité de 8.66.

Pour le lac inférieur on remarque une concentration de 7.93 au point de rejet situé en amont de lac.

Le pH est neutre 7.21 au niveau de source d'eau potable (S13), et augmente jusqu'à 9.35 au centre de lac et diminue jusqu'à la neutralité en aval.

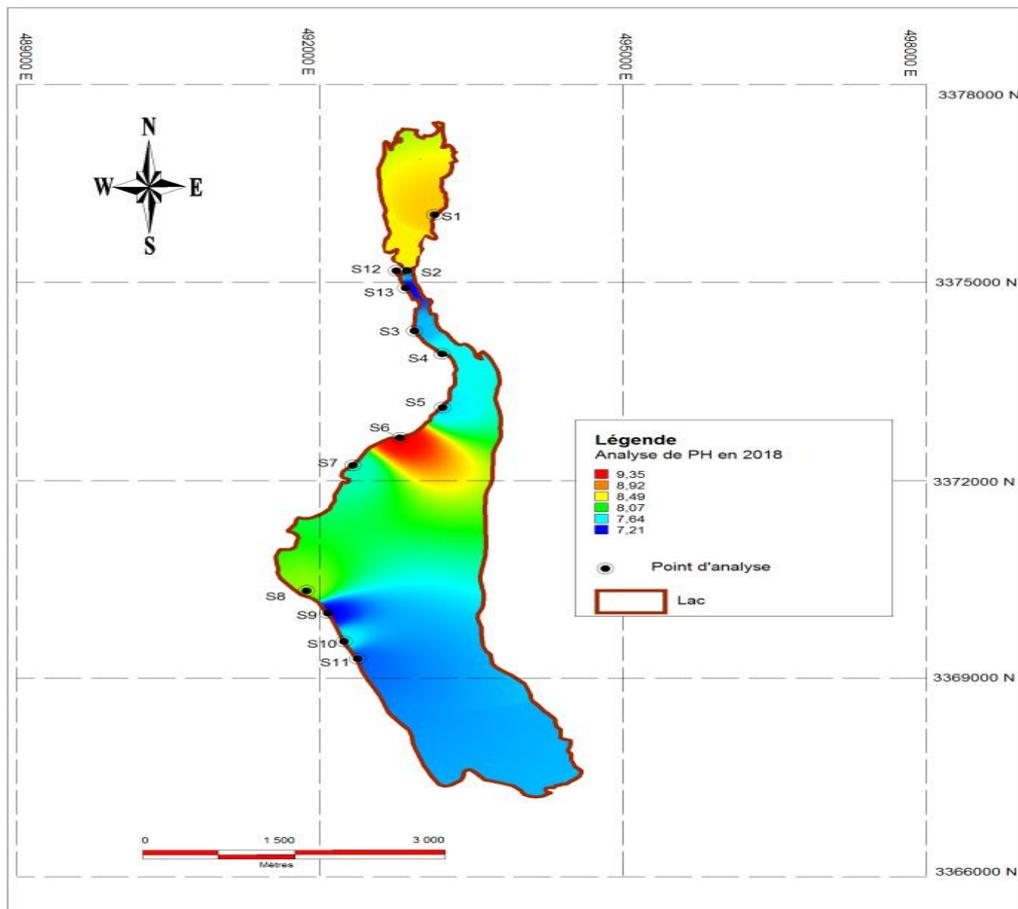


Figure 3.4 : Carte de potentiel d'Hydrogène (pH) des eaux de lac d'El-Menia

3.3.1.2. La conductivité

On remarque une conductivité importante dans le lac supérieur $22220 \mu\text{s}/\text{cm}$ (figure 3.5).

Le résultat obtenu dans le lac inférieur montre une valeur de 948 en amont.

La conductivité des eaux de lac varie entre 948 et $1412 \mu\text{s}/\text{cm}$ après le point de rejet $435 \mu\text{s}/\text{cm}$ jusqu'à la source d'eau naturelle $239 \mu\text{s}/\text{cm}$.

La conductivité s'élevé dans le centre de lac jusqu'à l'aval pour atteint une valeur de $121200 \mu\text{s}$, cette augmentation due aux lessivages et dilution des formations géologiques à l'affleurement.

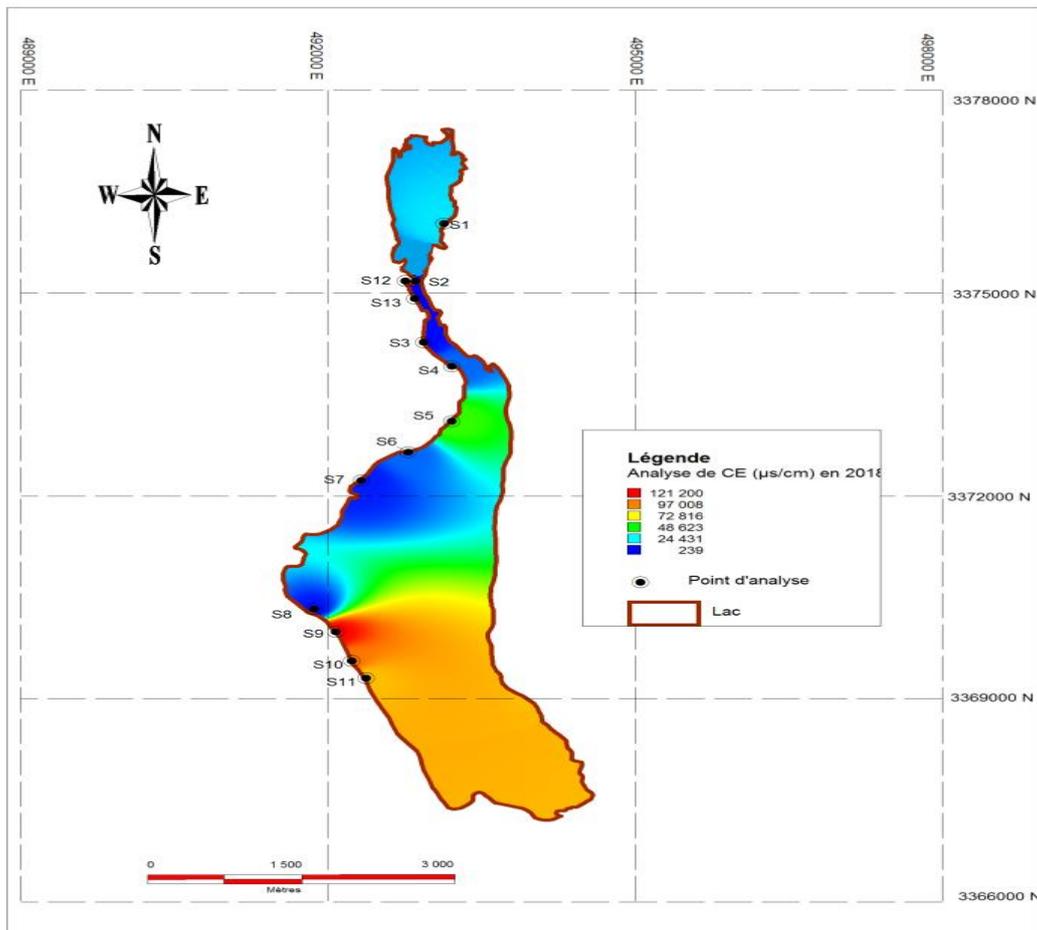


Figure 3.5 : Carte de conductivité des eaux de lac d'El-Menia

3.3.1.3. La salinité

Le lac El-Menia est caractérisé par une forte salinité (figure 3.6). La diminution de la salinité dans la partie supérieure du lac inférieur 0,3 à 0,5 g / l, où il y a deux entrées d'eau, favorise une diminution des concentrations des éléments chimiques à cet endroit. La carte montre une élévation de la salinité au centre du lac résultant de l'accumulation d'éléments chimiques dans cette partie de l'eau. 36,8 g / l. une valeur très importante de la salinité en aval du lac 88,2 g / l est due à la précipitation de minéraux et à une évaporation intense.

La salinité subit une élévation très important en aval de lac liée à la précipitation des minéraux et l'évaporation intense.

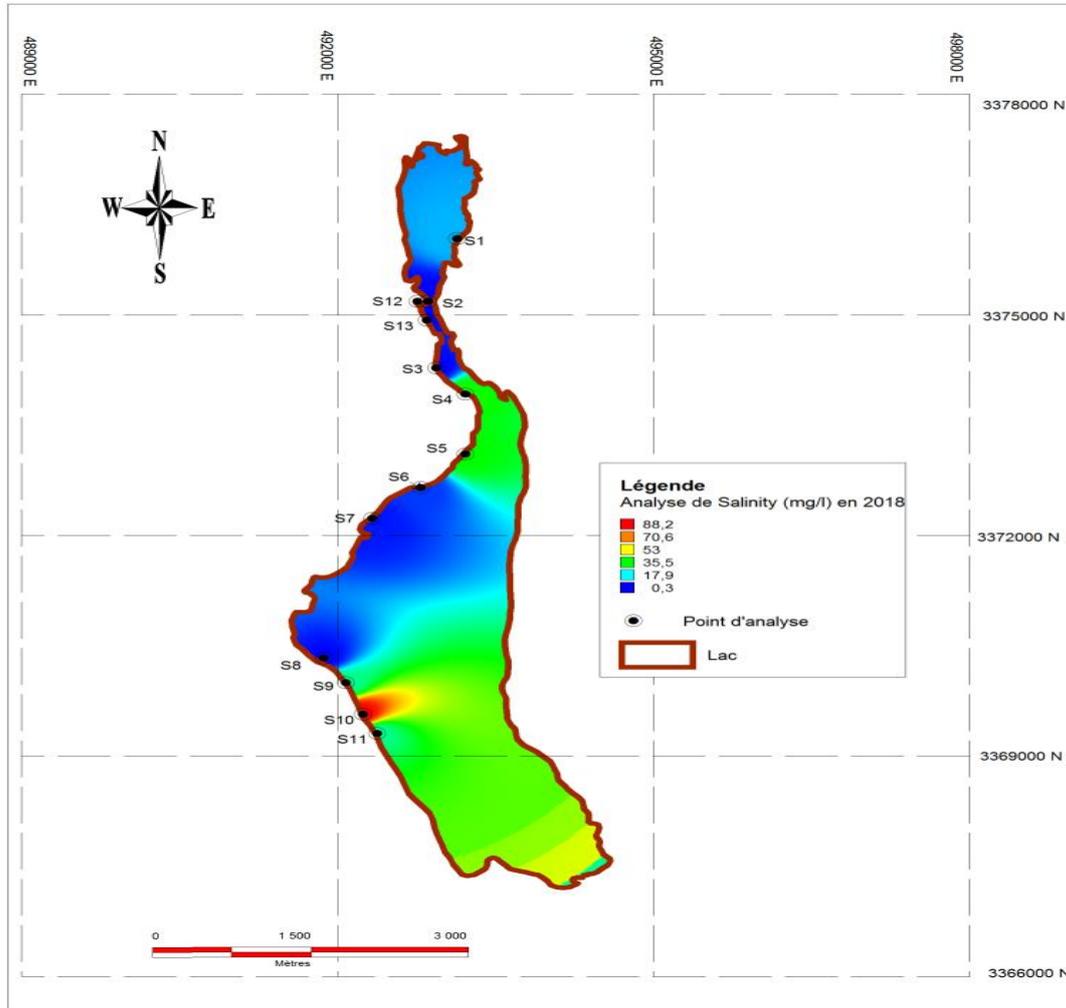


Figure 3.6 : Carte de salinité des eaux de lac d'El-Menia

3.3.2. Évolution du chimisme des eaux de lac d'El-Menia

3.3.2.1. Carte de Calcium (Ca^{2+})

Une valeur importante de calcium dans le lac supérieur atteint 369 mg/l (figure 3.7).

Pour le lac inférieur une valeur de 48 mg/l dans le rejet et reste dans la même plage jusqu'à le point d'eau potable ou le calcium égale a 20 mg/l, après cette source la valeur de calcium augmente d'amont jusqu'à l'avale ou atteint une valeur très importante de 500 mg/l.

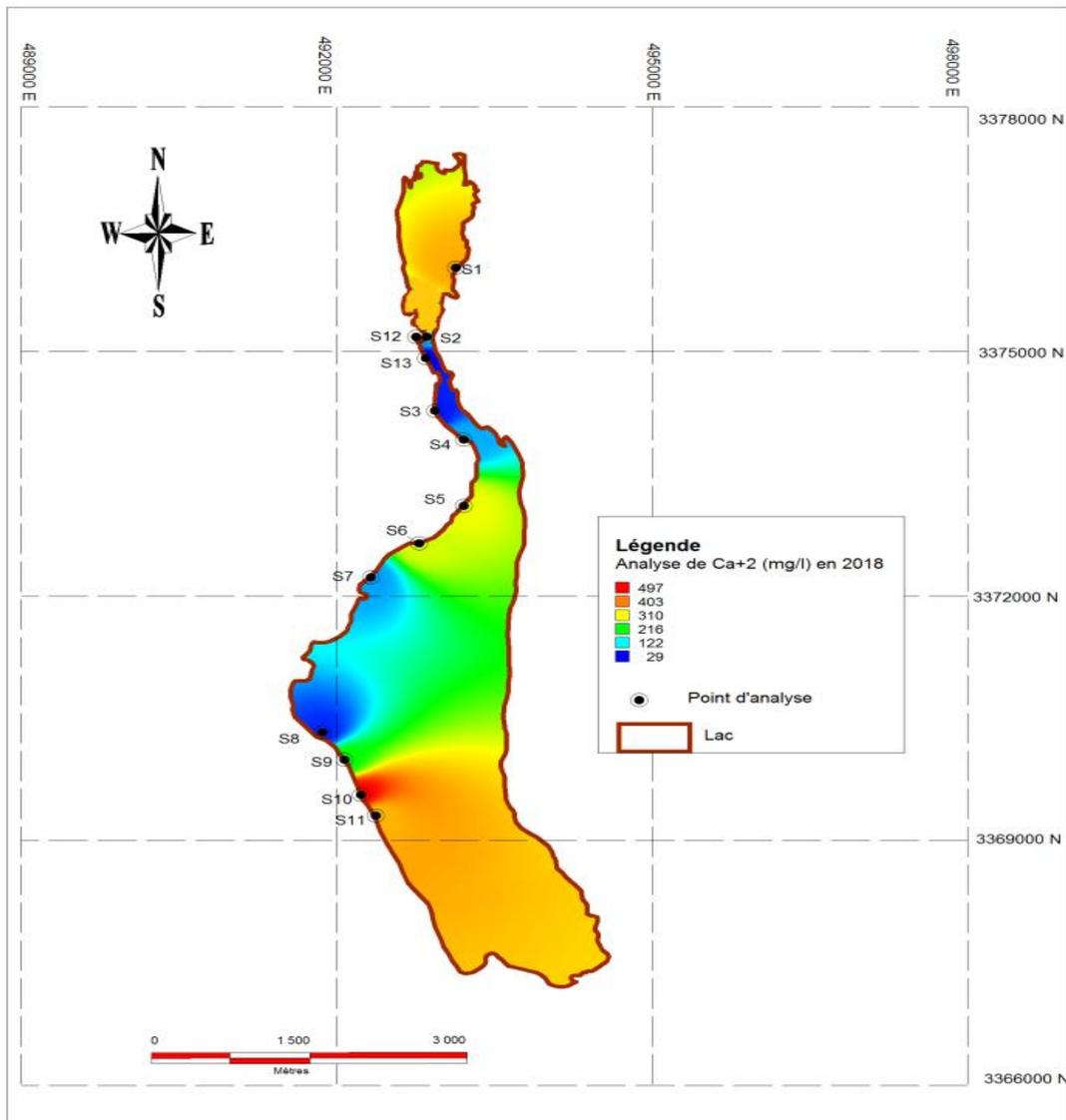


Figure 3.7 : Carte de distribution de calcium des eaux de lac d'El-Menia

3.3.2.2. Carte de magnésium (Mg^{2+})

Une valeur de 146 mg/l dans le lac supérieur (figure 3.8).

Une valeur de 6 mg/l au niveau de point de rejet, et cette valeur reste dans la même plage jusqu'à le centre de lac ou la concentration de magnésium commence à élever et atteint une concentration très élevée en aval de lac (221.13 mg/l).

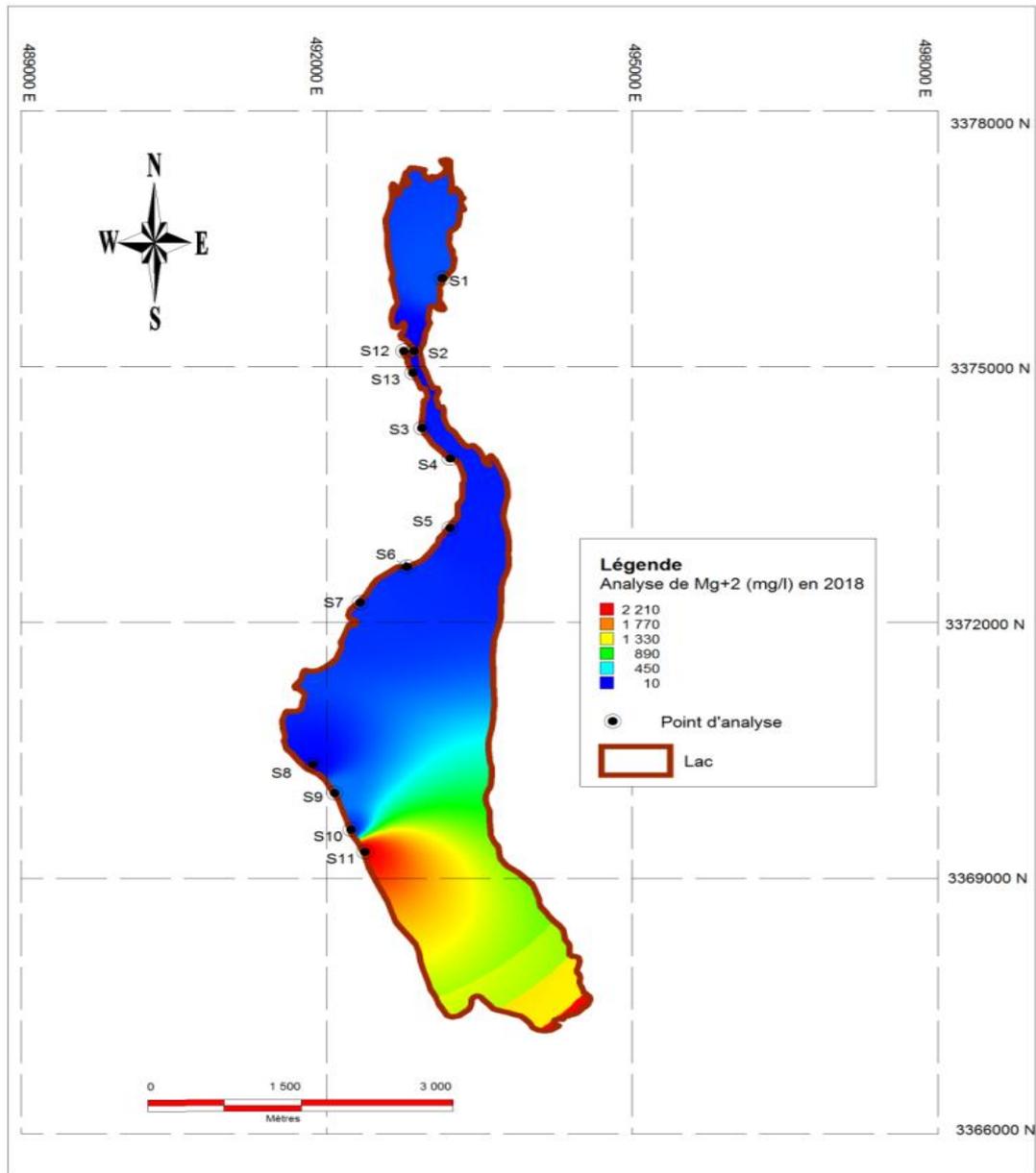


Figure 3.8 : Carte de magnésium des eaux de lac d'El-Menia

3.3.2.3. Carte de dureté totale (TH)

Le lac supérieur est caractérisé par une eau dure 380 mg / l suite à l'évaporation (figure 3.9).

Le lac inférieur est caractérisé par une eau très dure au point de rejet 720 mg / l, élévation de concentration de dure à très dure au centre de lac pour atteint 910 mg / l en aval.

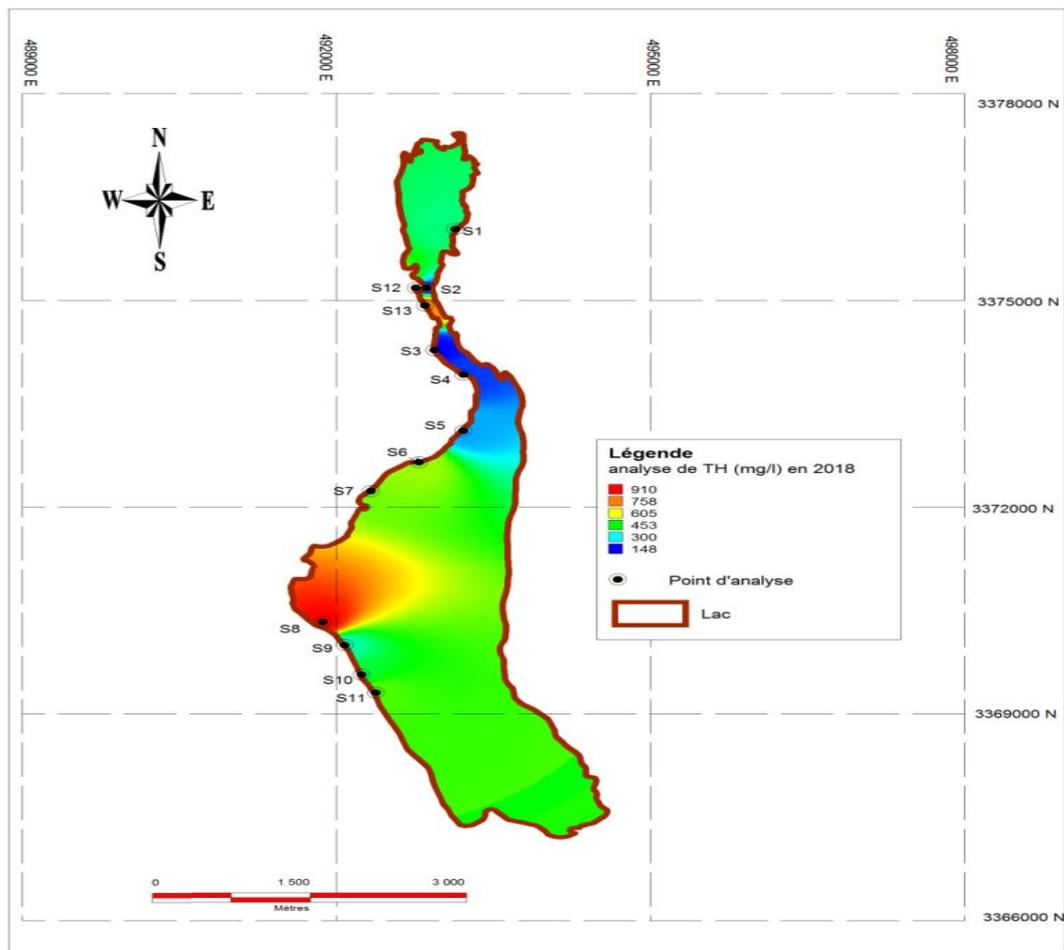


Figure 3.9 : Carte de dureté totale des eaux de lac d’El-Menia

3.3.2.4. Carte de titre alcalimétrique complet (TAC)

Une grande alcalinité dans le lac attribue par la dissolution de carbonate de calcium et résulte de l’altération des minéraux des roches.

Une valeur de 600 mg/l sur le lac supérieur (voir figure 3.10) et le lac inférieur caractérisé par une concentration varie entre 300 et 897,92 mg/l.

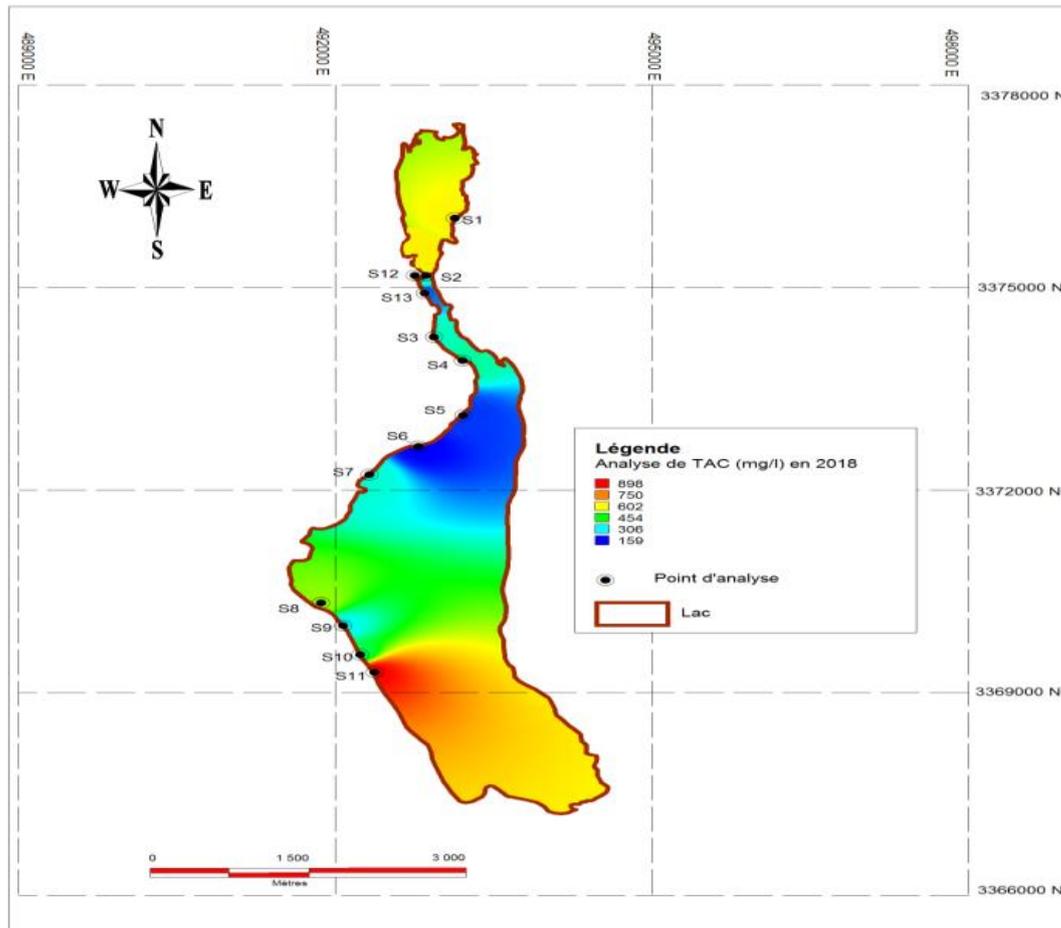


Figure 3.10: Carte de TAC des eaux de lac d'El-Menia

3.3.2.5. Carte de potassium (k^+)

Le potassium dans le lac se trouve avec des valeurs très important ou on remarque une forte concentration au niveau de lac supérieur 600 mg/l (Figure 3.11).

Une faible concentration au niveau de point de rejet 15 mg/l et cette valeur reste régulière jusqu'à le centre de lac ou cette valeur commence a augmenté à cause de l'évaporation pour atteint une valeur jusqu'à 62000 mg/l en aval.

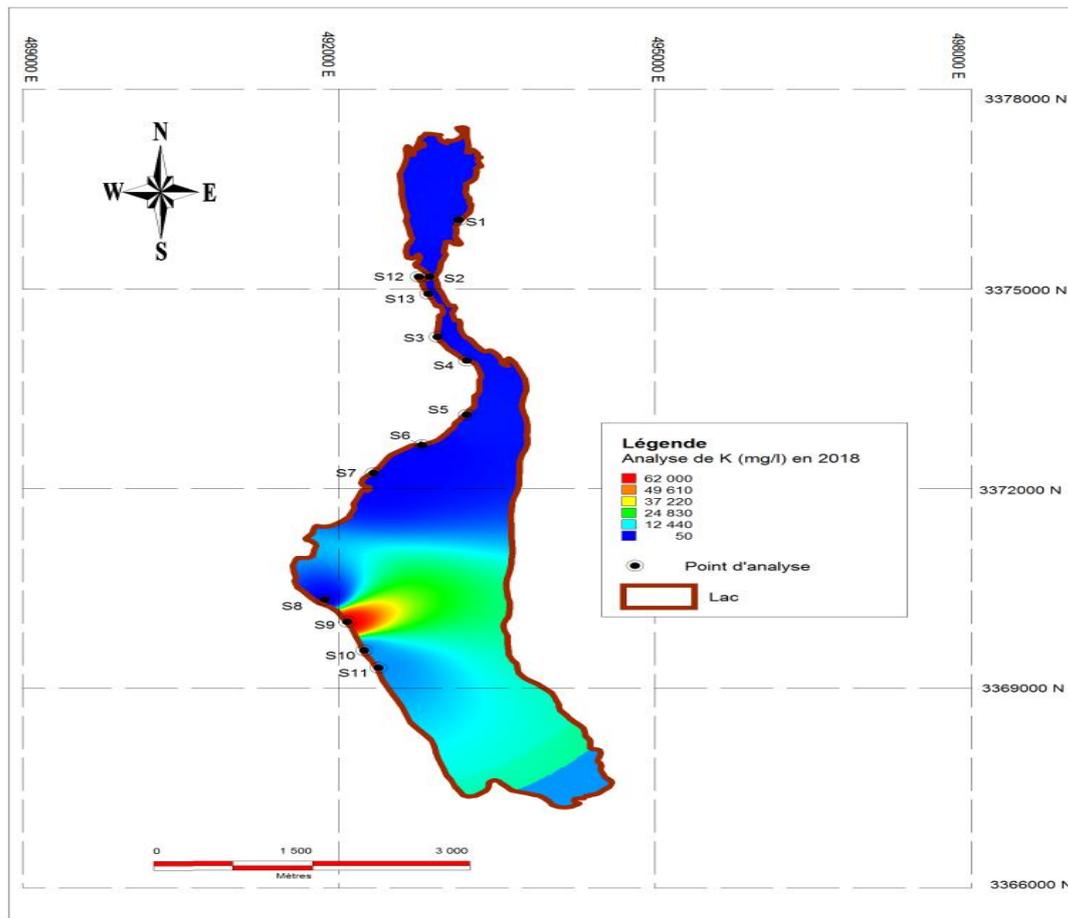


Figure 3.11 : Carte de distribution de potassium des eaux de lac d’El-Menia

3.3.2.6. Carte de sodium (Na⁺)

Pour le sodium on remarque une grande quantité au niveau de lac supérieur (figure 3 .12).

Des teneurs anormalement élevées aussi au niveau de l’amont de lac inférieur peuvent provenir d’apports industriels ou domestiques, du lessivage ou de la percolation de terrains salés et d’infiltrations d’eaux saumâtres.

Les teneurs de sodium diminuent au niveau de point 13 à cause d’apport d’eau naturelle a partir de cette point les teneurs de sodium élevées régulièrement pour atteint une valeur maximale en aval de lac.

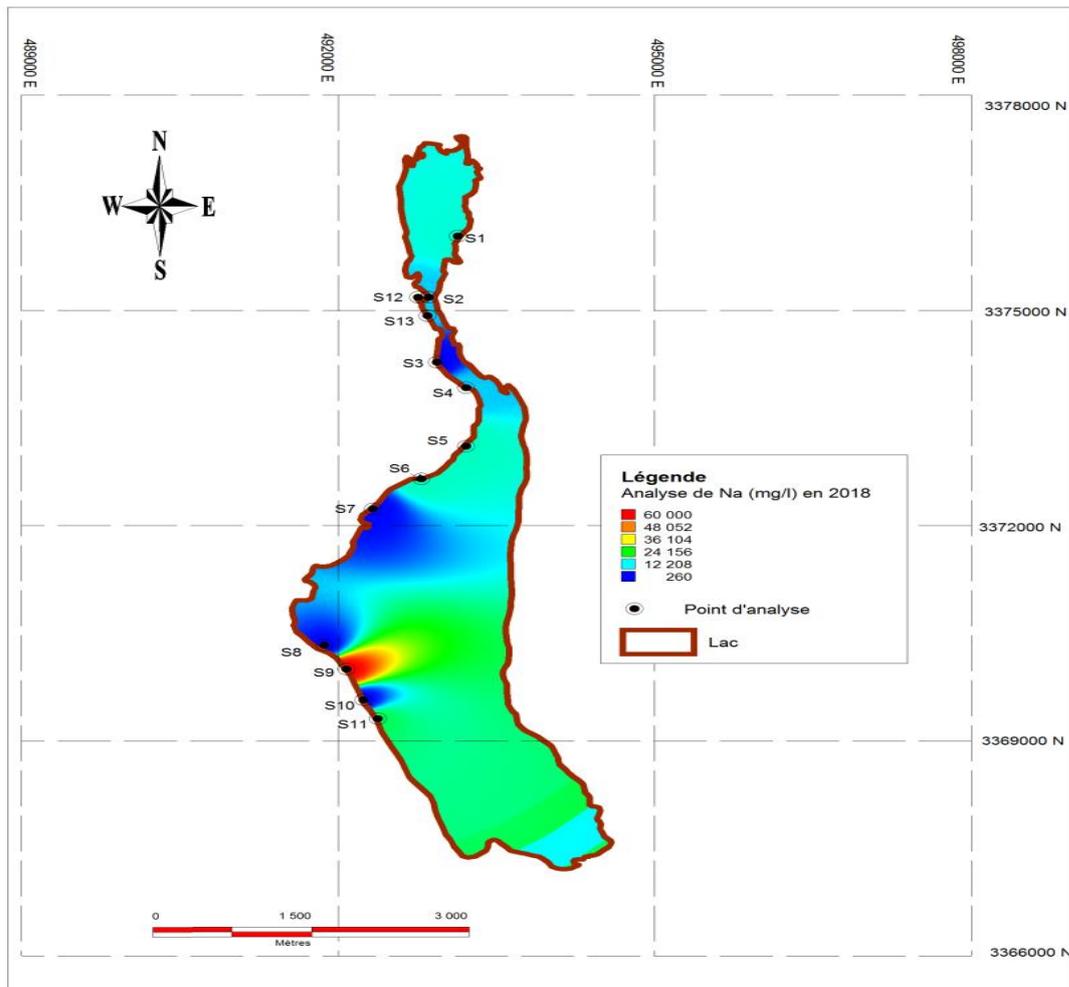


Figure 3.12 : Carte de distribution de sodium dans le lac d’El-Menia

3.3.2.7. Carte des chlorures (Cl⁻)

La carte suivante (figure 3.13) montre une valeur importante des chlorures au niveau de lac supérieur 3715,47 mg/l, la valeur importante des teneurs de chlorures indépendamment de la nature de la formation géologique traversée, Cette teneur peut expliquer par une pollution externe.

Une concentration élevé dans l’amont de lac 161,66 mg/l, la présence des chlorures dans cet endroit peut être attribuée aux rejets des égouts, aux drainages d’irrigation, la concentration élevée au niveau de centre de lac expliqué par la dissolution des minéraux alentour de lac, cette valeur deviennent plus en plus important en aval de lac a cause d’évaporation.

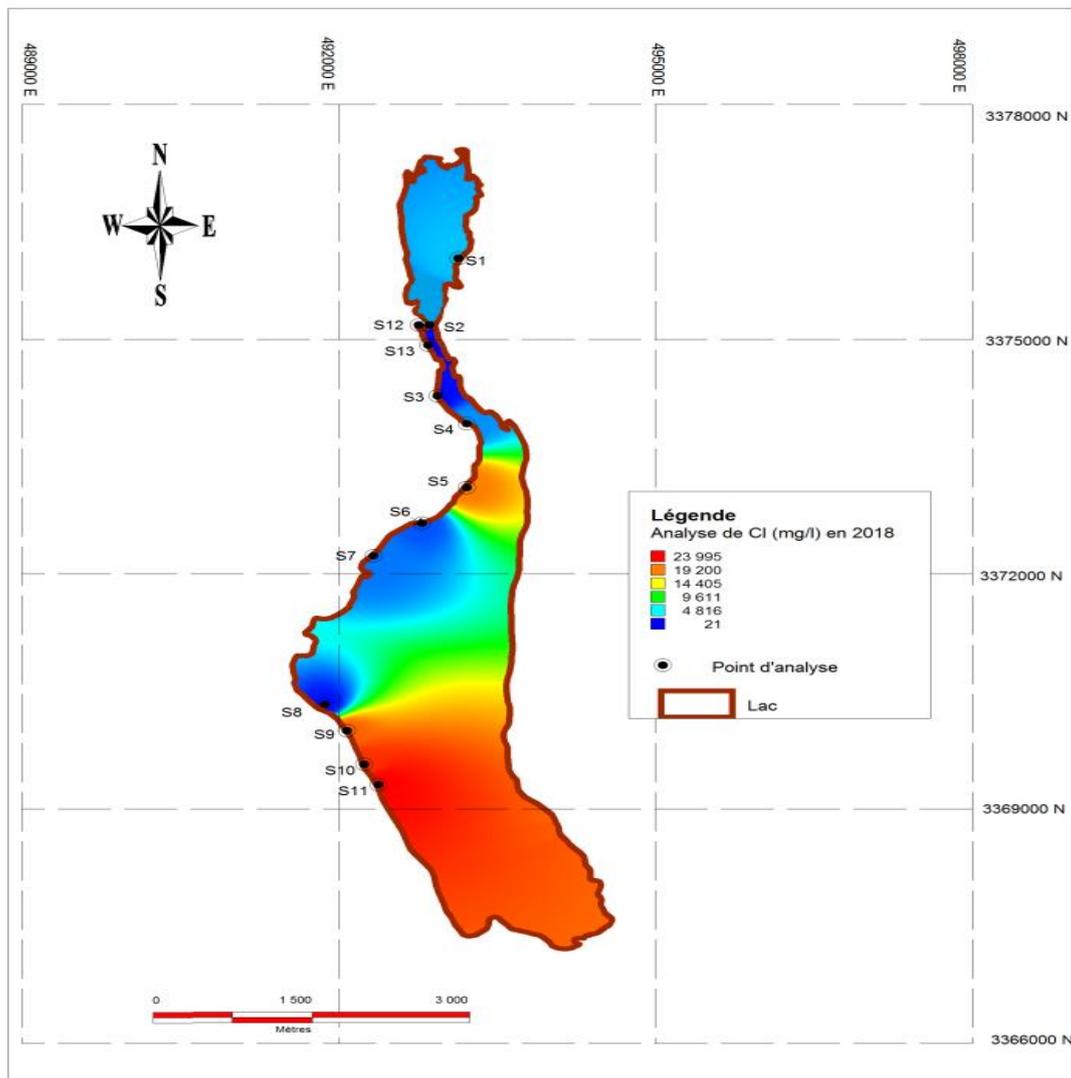


Figure 3.13 : Carte de distribution des chlorures des eaux de lac d'El-Menia

3.3.3. Les paramètres gravimétriques

3.3.3.1. Carte des sulfates

Les ions sulfates (SO_4^{2-}) sont liés aux cations majeurs : Ca^{+2} , Mg^{2+} , Na^+ect.

Les sulfates se trouve dans le lac (figure 3.14) avec des teneurs très grand (178 mg/l a 21070,125 mg/l) liée à nombreuses facteurs sont l'apport des eaux usées, les industries qui déversent dans le milieu naturel des effluents chargés en sulfates dans l'eau, et aussi la dissolution des minéraux évaporatiques aux alentours de lac.

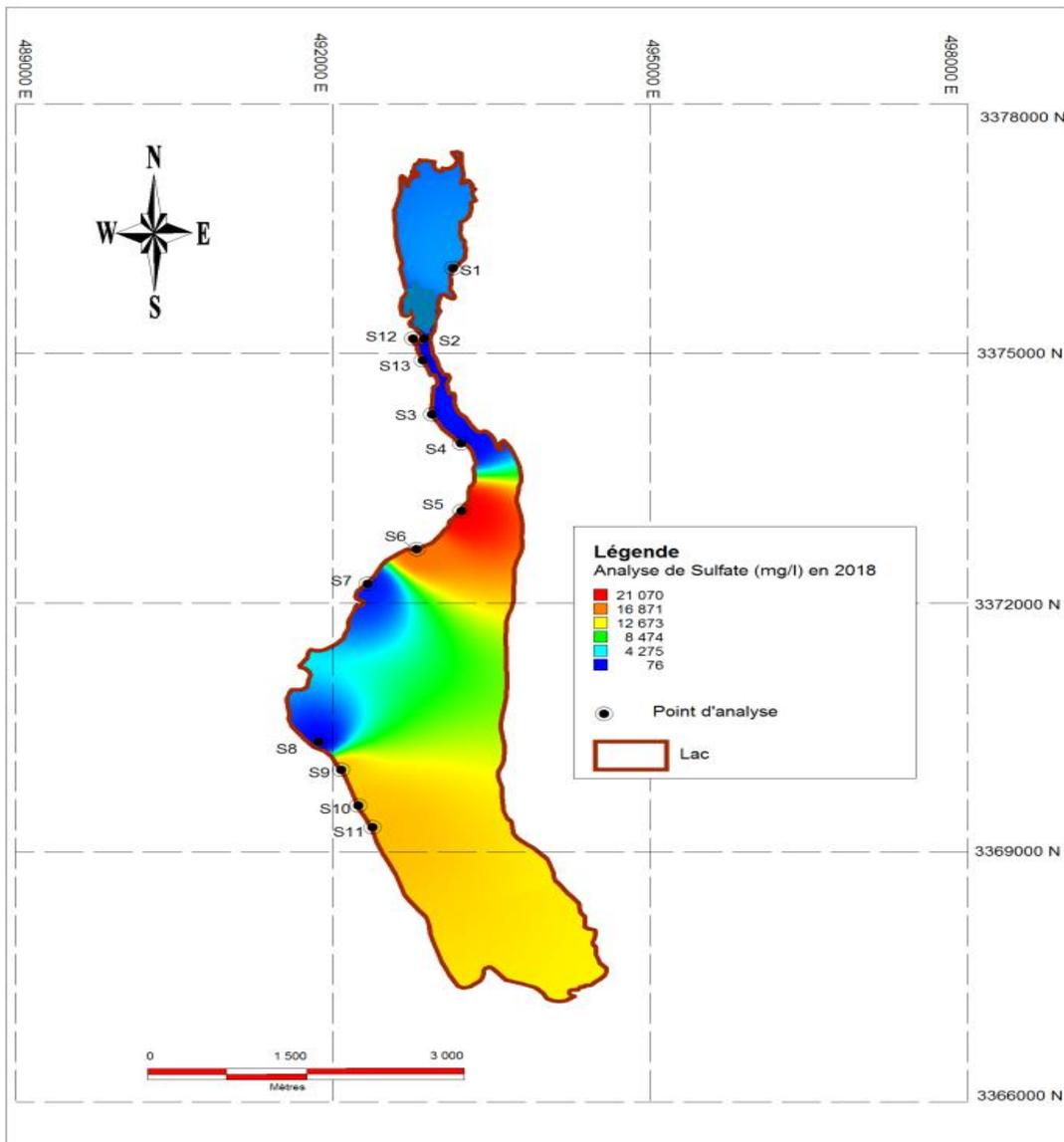


Figure 3.14 : Carte des sulfates des eaux de lac d'El-Menia

3.3.3.2. Le résidu sec

Ces valeurs, qui sont à relier avec la mesure de la conductivité, sont influencées par la température et par la durée de la dessiccation. Le résidu sec permet d'apprécier la minéralisation d'une eau qui est étroitement liée à la nature géologique des terrains traversés. Les eaux en contact avec le granite, les sables siliceux, les sols lavés ou d'autres matières relativement insolubles ne présentent que de faibles concentrations en résidu sec [37].

En plus de l'origine naturelle, les effluents liés aux activités humaines peuvent contribuer à l'augmentation de la minéralisation.

La carte (figure 3.15) montre une valeur très élevées de résidu sec dans le lac supérieur 16096 mg/l attribue a la nature géologique des terrains traversés.

Une valeur admissible en amont de lac inferieur ou ce trouve les apports 1124 mg/l d'eau cette valeur commence a élevée pour atteint une valeur incroyable en aval de lac 173966 mg/l , cette augmentation liée à la nature géologique des terrains traversés et aussi due a l'évaporation [72].

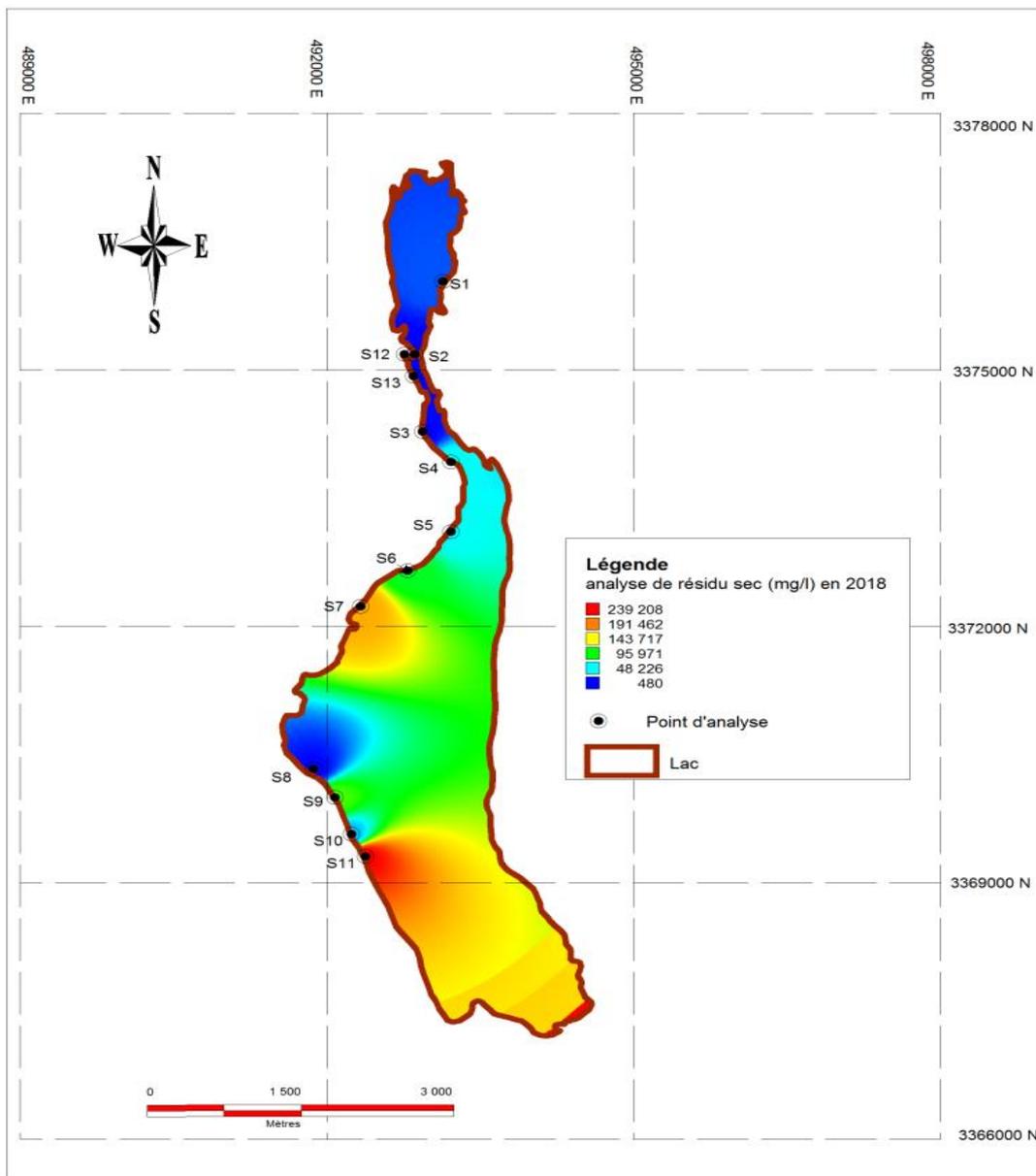


Figure 3.15: Carte du résidu sec des eaux de lac d'El-Menia

3.3.4. Les paramètres de pollution :

3.3.4.1. Le nitrite

Le lac supérieur caractérisé par une valeur dépasse la norme 0.321 mg/l.

L'amont de lac inférieur caractérisé par une valeur dépasse la norme (de 0.321 mg/l à 0.495 mg/l), a cause des eaux de rejets, suite par une diminution jusqu'à 0.07 mg/l attribue a l'apport d'eau caractérisé par une valeur nul 0 mg/l situé dans les environs.

Le centre de lac caractérisé par une augmentation jusqu'à 0.57 mg/l, le nitrite atteint une valeur maximale égale a 0.75 mg/l en aval de lac (voir figure 3.16).

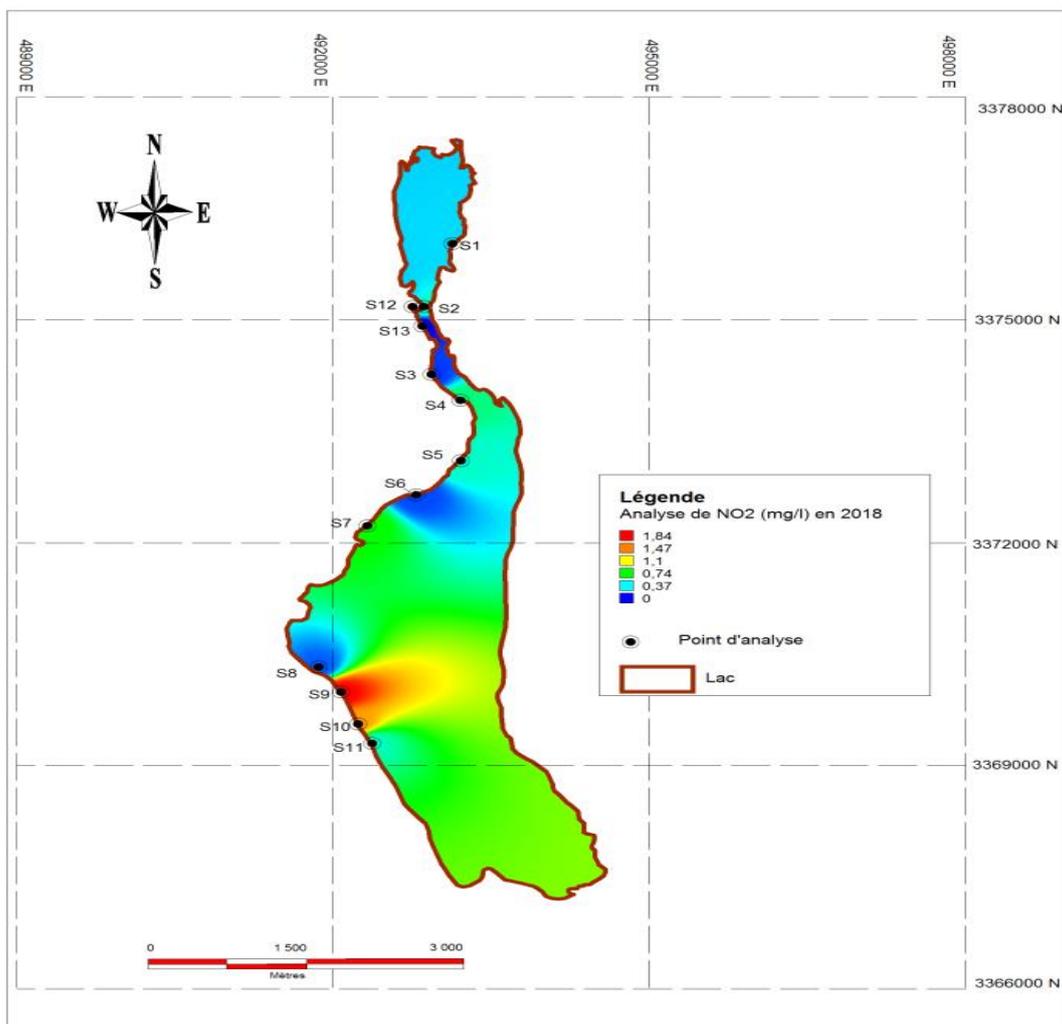


Figure 3.16 : Carte des concentrations des nitrites des eaux de lac d'El-Menia

3.3.4.2. L'ammonium

L'azote ammoniacal des eaux superficielles peut avoir pour origine naturelle la décomposition des déchets végétaux et animaux.

La présence d'azote ammoniacal en quantité relativement importante peut être l'indice d'une pollution par des rejets d'origine humaine ou industrielle

Le lac supérieur (figure 3.17) caractérisé par une valeur admissible d'ammonium 0.14 mg/l.

Une valeur très élevée au niveau de point de rejet 17.4 mg/l traduit une pollution importante en amont de lac jusqu'à 18.84 mg/l, cette dernière diminue au centre de lac a cause de l'apport d'eau naturelle (0 mg/l d'ammonium).

La concentration d'ammonium dépasse la norme en aval est atteint 11.56 mg/l cette valeur peut expliquer par la décomposition des déchets végétaux et animaux.

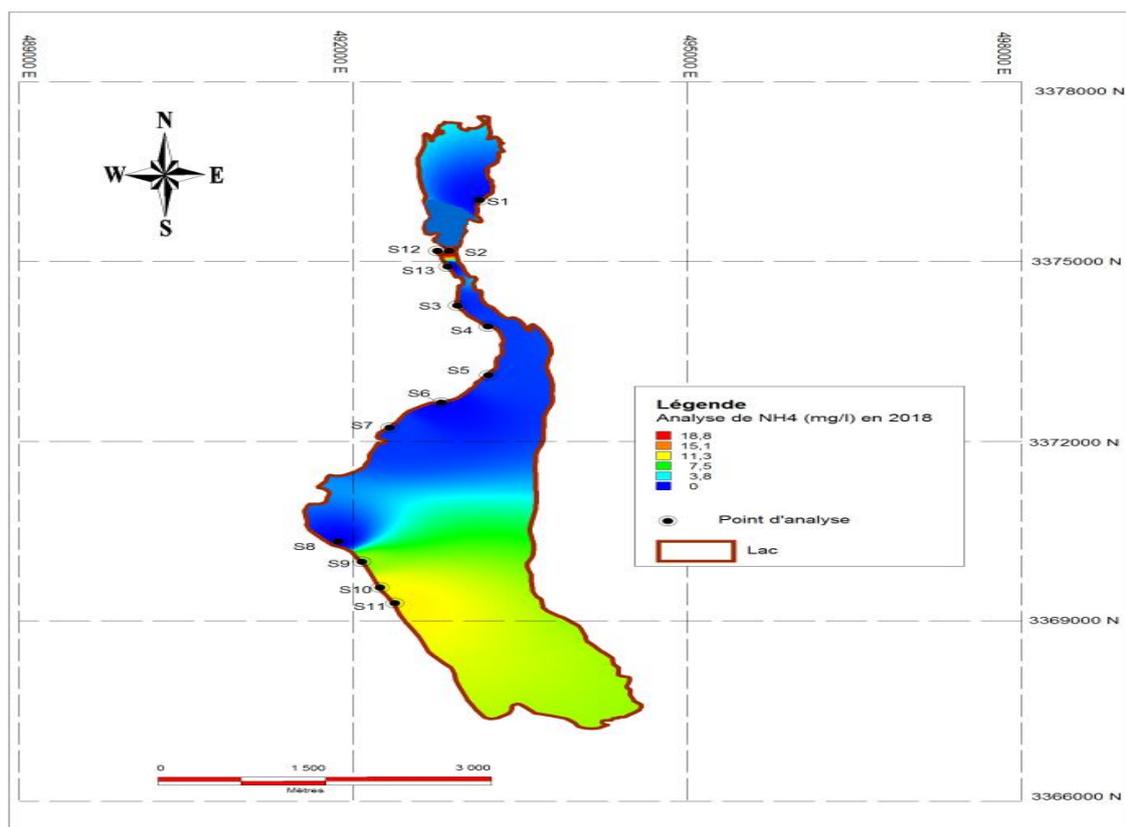


Figure 3.17 : Carte des concentrations d'ammonium des eaux de lac d'El-Menia

3.3.4.3. Les nitrates

Les doses importantes des nitrates dans les eaux de surface ont pour origine essentielle les engrais et les rejets d'eaux usées. Les nitrates sont également employés dans la fabrication des explosifs, dans l'industrie chimique comme oxydants et conservateurs [73].

Toutes les concentrations des teneurs des nitrates dans les eaux de lac (figure 3.18) sont dans la norme (voir annexe 3.1).

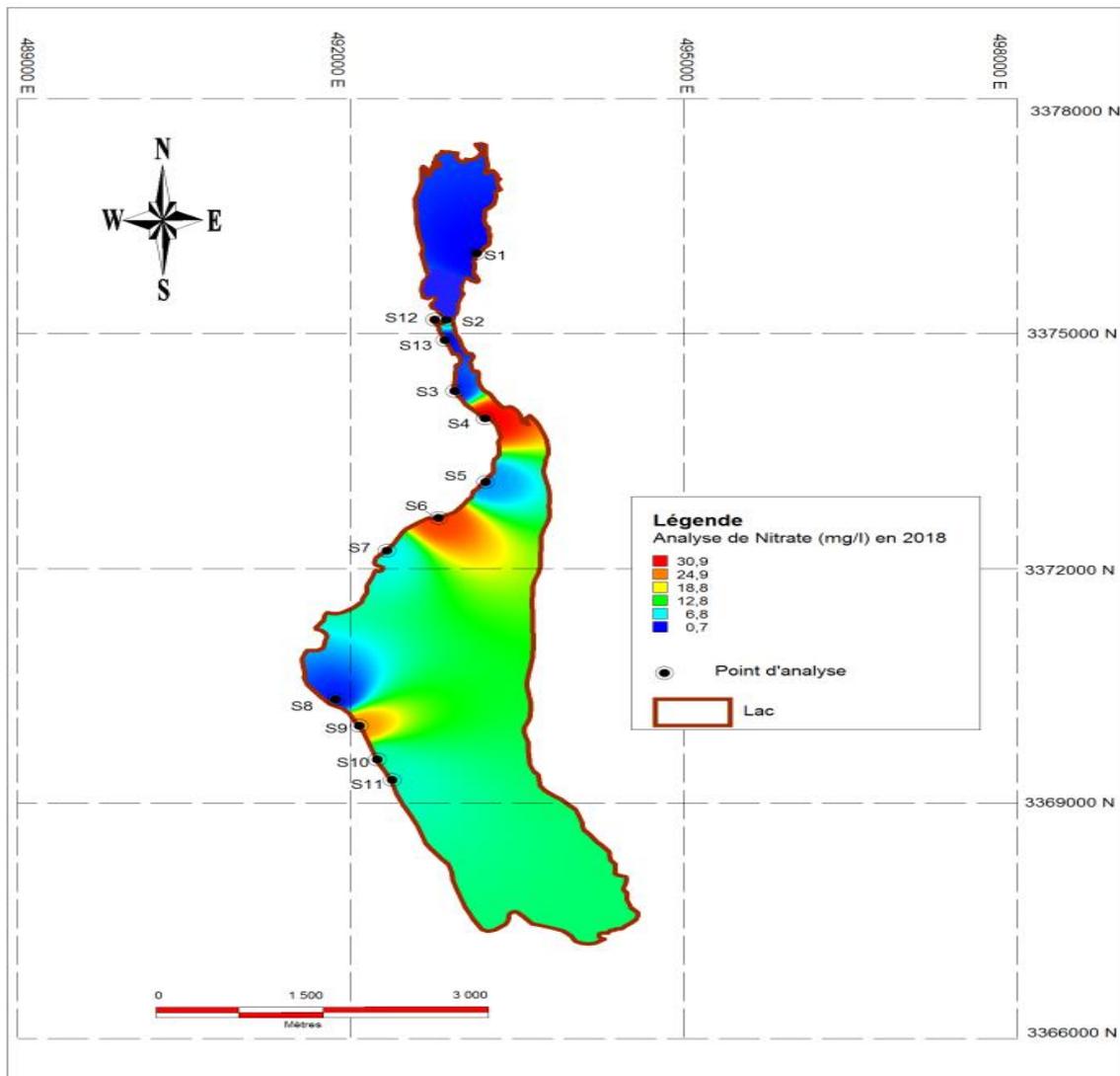


Figure 3.18 : Carte des concentrations des nitrates des eaux de lac d'El-Menia

3.3.4.4. Les Ortho phosphates

Les ions (PO_4^{3-}) contenus dans les eaux de surface ou de nappes peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière organique, lessivage des minéraux), mais à l'heure actuelle, leur présence dans les eaux sont essentiellement dues aux rejets industriels (agro-alimentaires, laveries, ateliers de traitement de surface), domestiques (des détergents) ou agricoles (engrais, pesticides) [41].

La carte (figure 3.19) montre une valeur dépassent la norme au niveau de lac supérieur et inférieur.

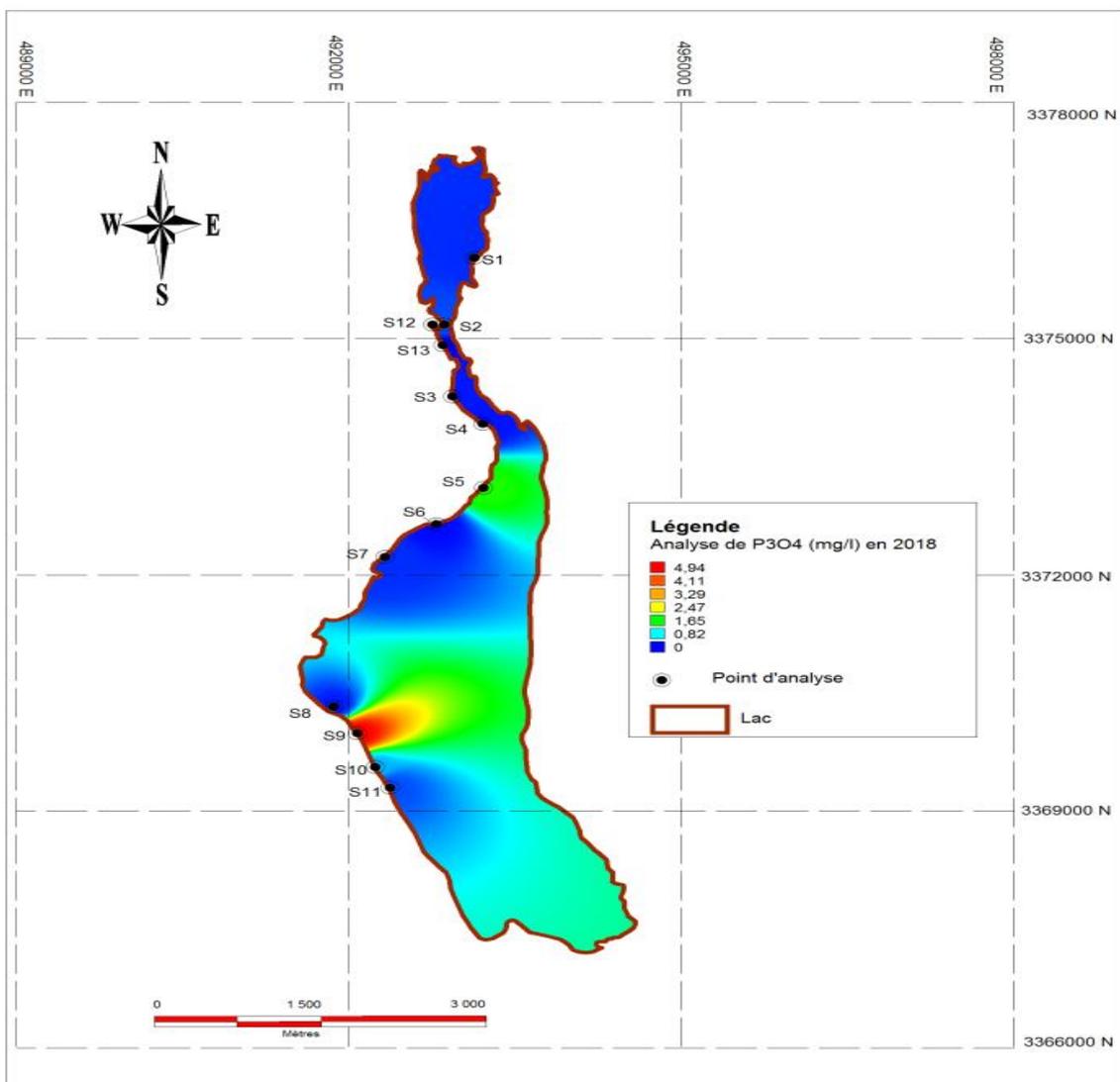


Figure 3.19 : Carte des concentrations des ortho phosphates des eaux de lac d'El-Menia

3.3.4.5. DBO₅

Le DBO₅, c'est la quantité d'oxygène dissous consommée par les micro-organismes, à l'obscurité à 20 °C pendant 5 jours. Elle permet l'évaluation des matières organiques biodégradables. le DBO₅ des eaux naturelles est inférieure à 2 mg/l, Les eaux recevant des rejets présentent des concentrations supérieures à 10 mg/l, L'augmentation des teneurs en DBO₅ en période sèche est due à l'instauration des conditions de dégradation de la matière organique par les microorganismes dont l'activité s'intensifie avec la diminution de la vitesse d'écoulement et avec le réchauffement des eaux [74],d'après la figure 3.20 tous les valeurs dépassent la norme .

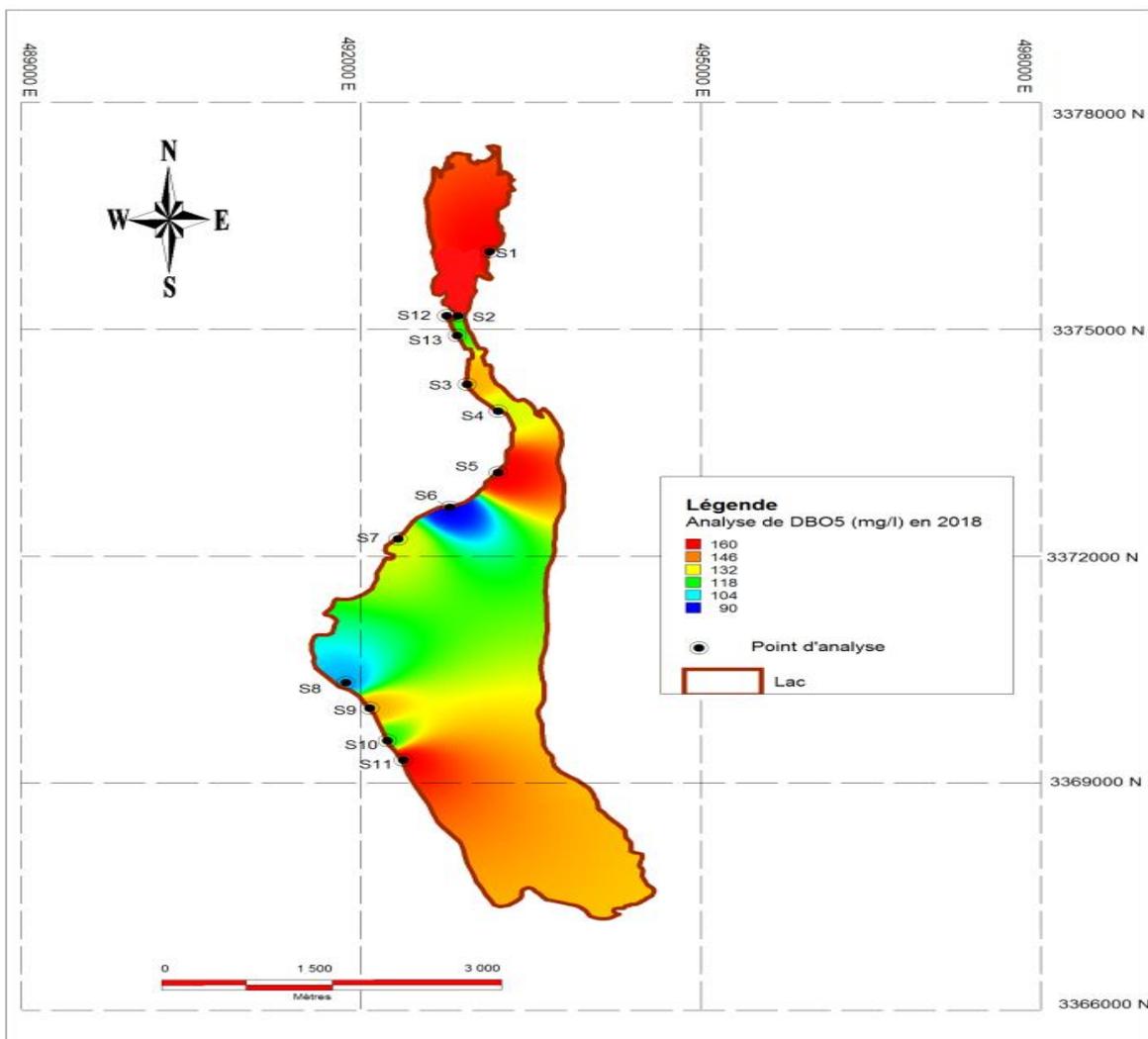


Figure 3.20 : Carte des concentrations des DBO₅ des eaux de lac d'El-Menia

3.3.4.6. Demande chimique en oxygène (DCO)

Les valeurs de la DCO (varient entre 17 à 195 mg/l O₂) montrent que la charge en matière oxydable stockée au niveau de lac d’El-Menia (voir Figure 3.21).

La DCO représente la quantité d’oxygène consommée par les matières oxydables chimiquement contenues dans l’eau.

L’augmentation des teneurs en DCO en période sèche est due à l’instauration des conditions de dégradation de la matière organique par les microorganismes dont l’activité s’intensifie avec la diminution de la vitesse d’écoulement et avec le réchauffement des eaux, Cette situation est due aux rejets.

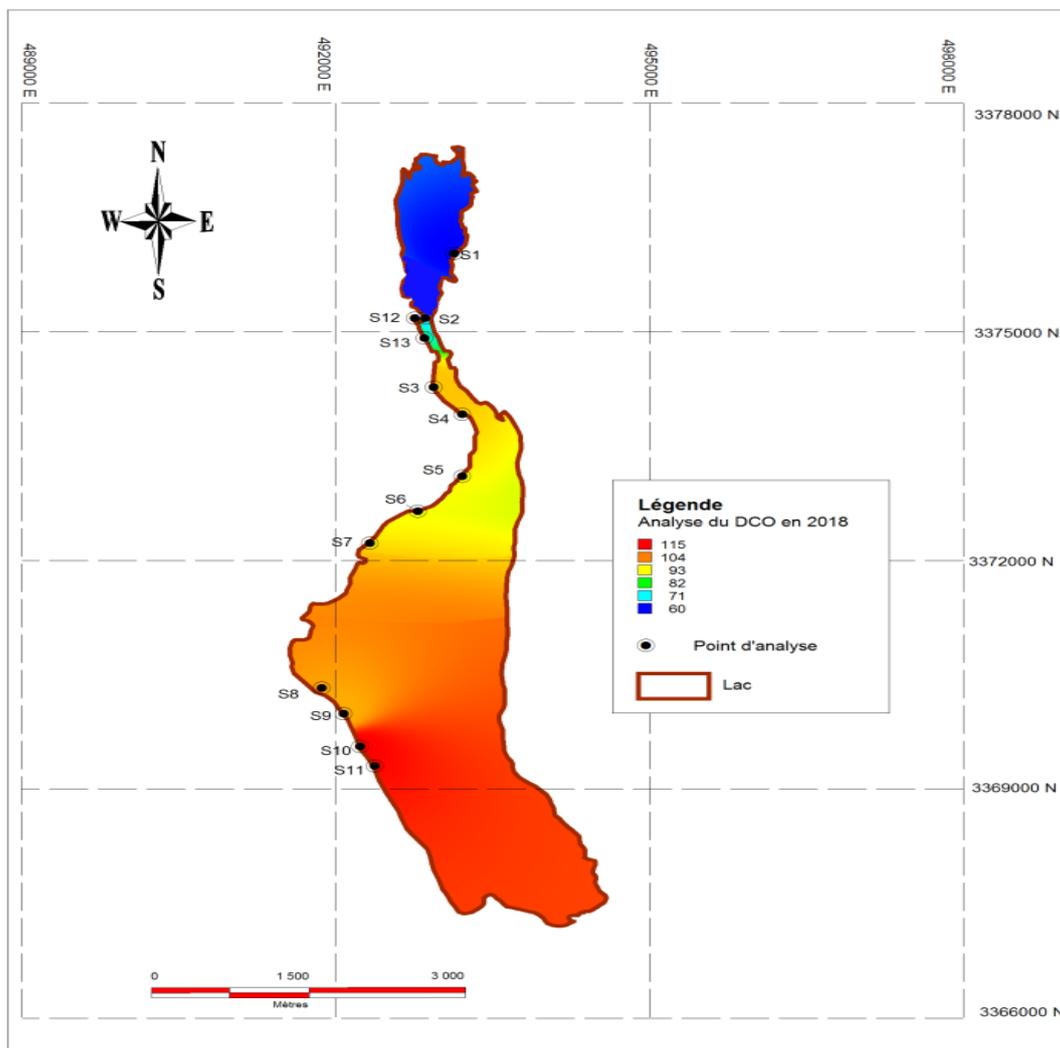


Figure 3.21 : Carte des concentrations des DCO des eaux de lac d’El-Menia

3.3.4.7. Le rapport DCO/DBO₅

Les analyses effectuées montrent que les concentrations ont atteint respectivement 260,5 mg /l en DCO et 160 mg /l en DBO₅.

Le rapport DCO / DBO₅ détermine la possibilité et le rendement de dégradation que l'on peut attendre d'un traitement biologique par oxydation.

Pour le lac d'El-Menia (figure 3.22) nous avons: $1.07 < \text{DCO} / \text{DBO}_5 < 2.37$

Le ratio inférieur à 3 permet de dire que l'effluent est facilement biodégradable, un traitement biologique capable d'éliminer la majeure partie de la pollution[41].

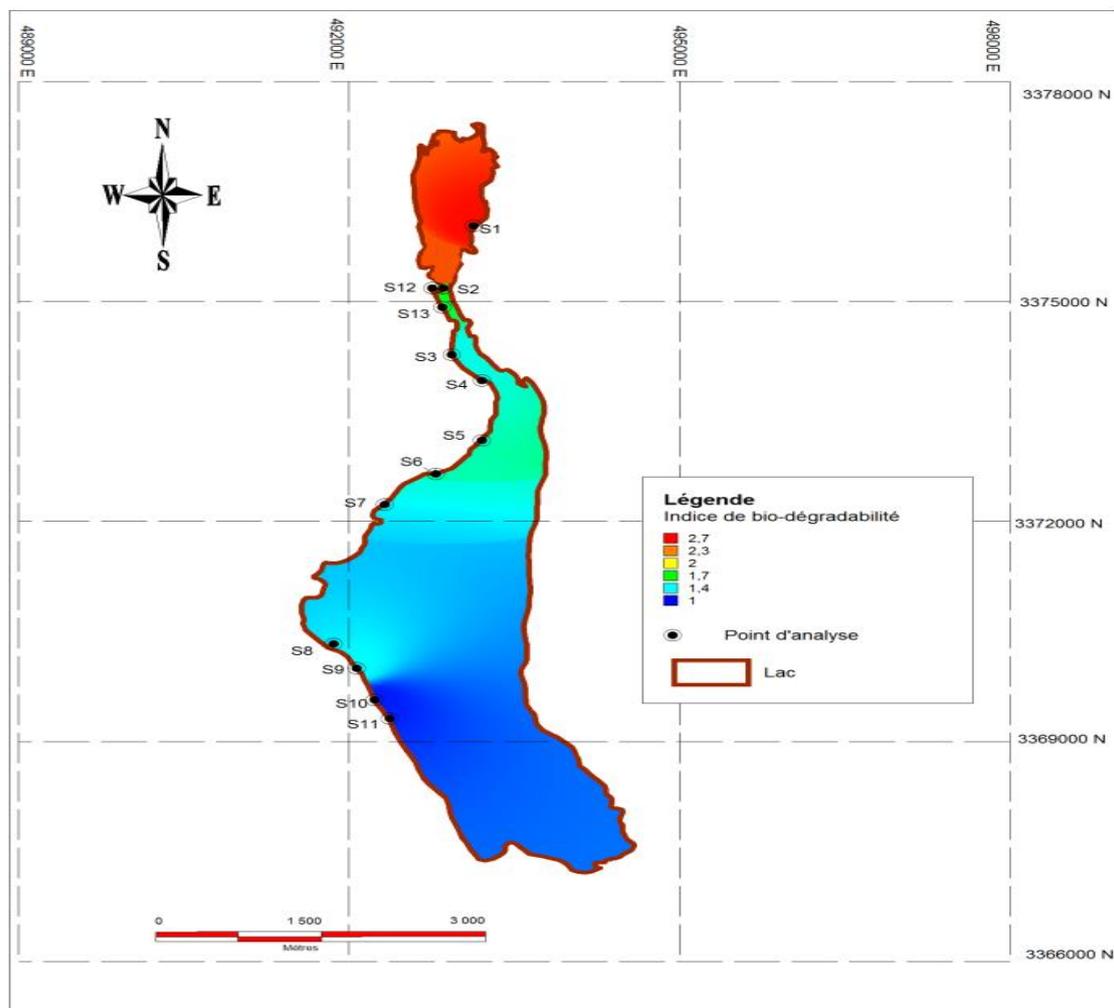


Figure 3.22 : Carte de biodégradabilité des eaux de lac d'El-Menia

3.4. Le fer

Dans les eaux bien aérées, la concentration de fer est rarement importante.

Une valeur supérieure à la norme dans le lac supérieur 0.451 mg/l (figure 3.23).

Dans le lac inférieur des valeurs admissibles dans l'amont de lac, une augmentation des teneurs au centre de lac 0.819 mg/l et dans l'aval ou atteint 1.692 mg/l.

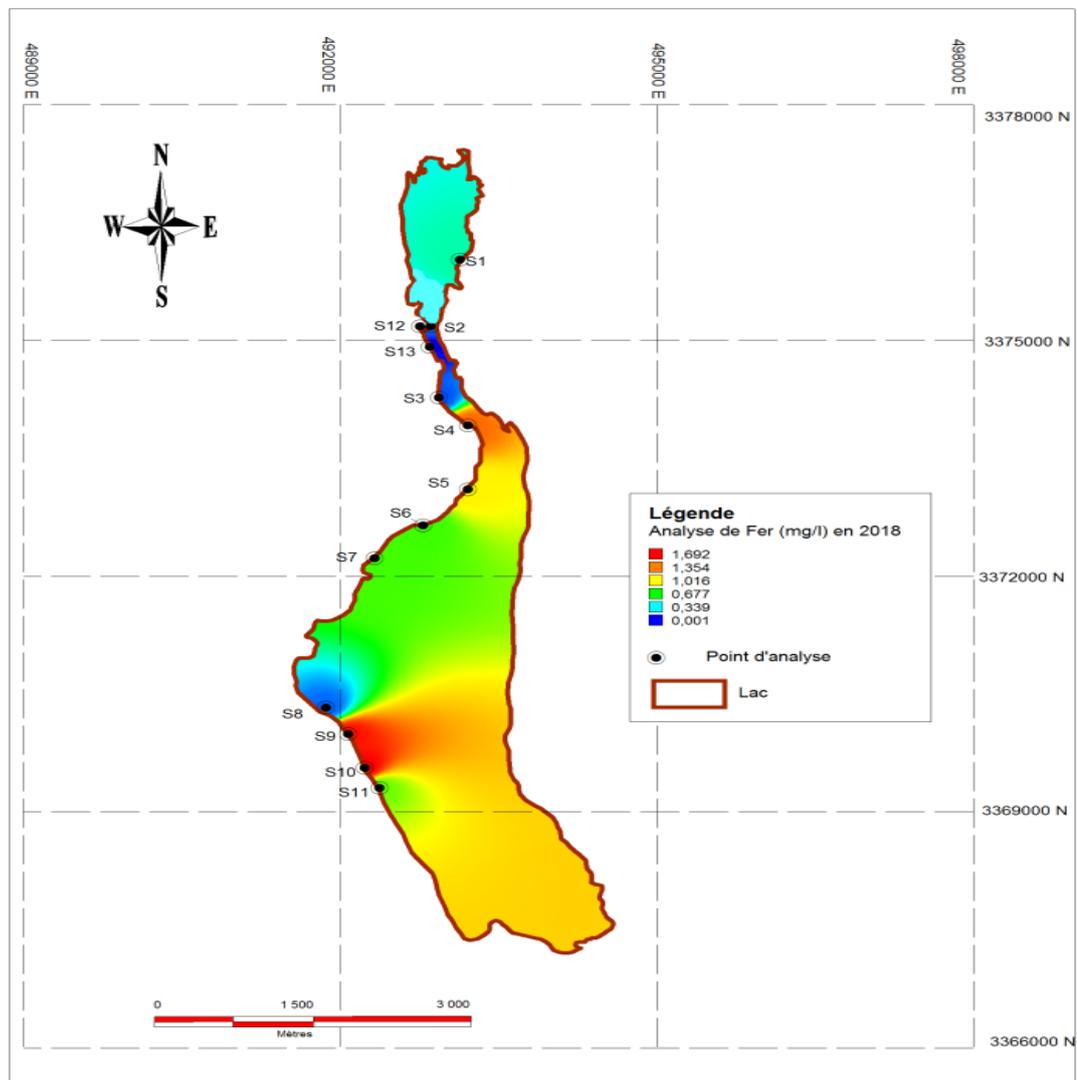


Figure 3.23 : Carte des concentrations de fer des eaux de lac d'El-Menia

3.5. Les métaux lourds

3.5.1. Plomb

La carte (figure 3.24) montre une concentration élevée de plomb dans le lac supérieur 0.2163 mg/l.

Pour le lac inférieur des concentrations élevées en amont de lac attribuent par l'apport de rejet 0,1358 mg/l, une diminution dans les teneurs de plomb en aval attribue par un piégeage de plomb par le sol.

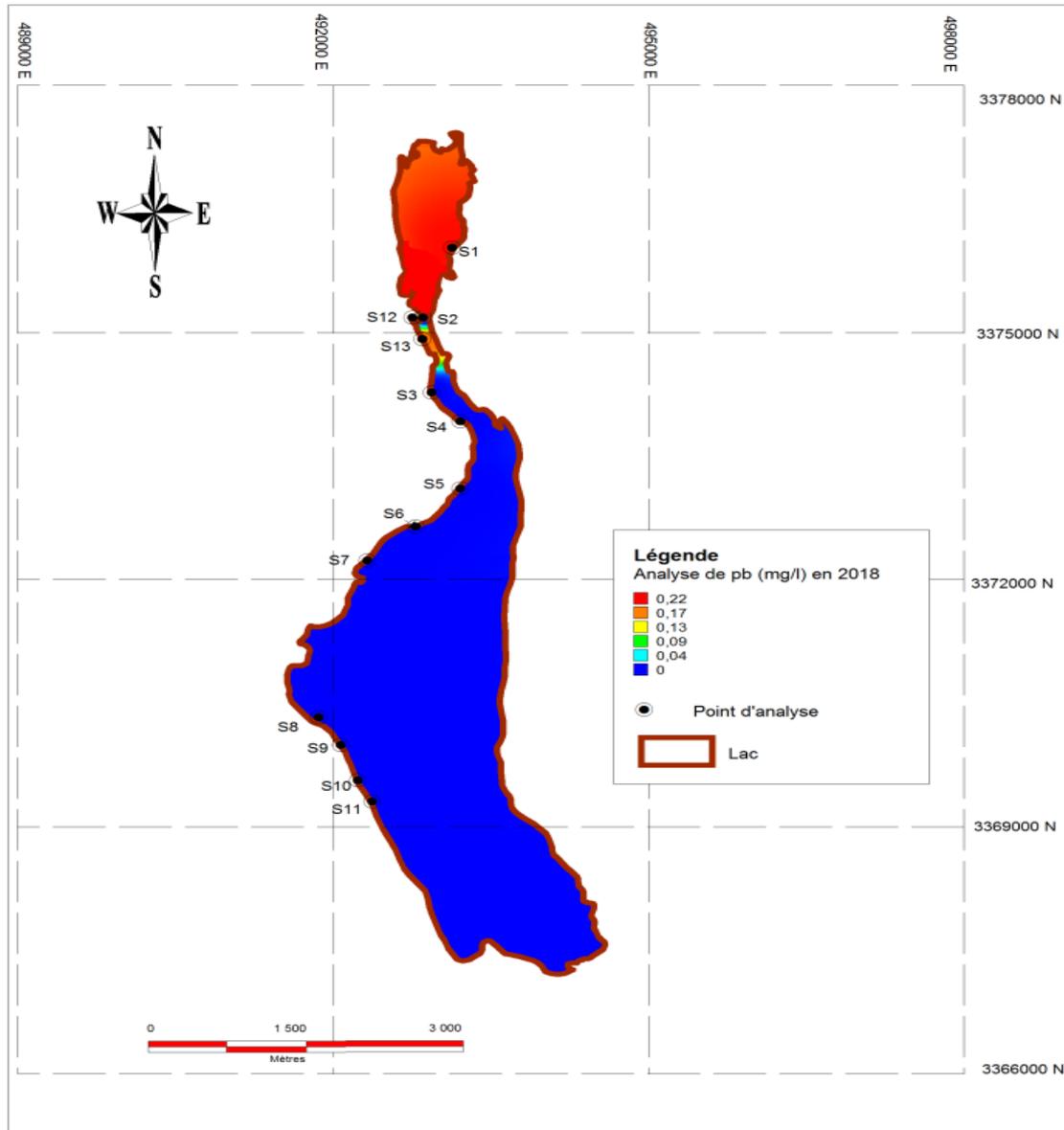


Figure 3.24 : Carte des concentrations de plomb des eaux de lac d'El-Menia

3.5.2. Le cadmium

Une valeur dépasse la norme dans le lac supérieur 0,0344 mg/l (figure 3.25).

En amont de lac une valeur dépasse la norme (0.027 mg/l) attribuée au point de rejet ou la concentration de rejet égale à 0.029 mg/l, cette valeur reste régulière jusqu'à au centre de lac où il pose une menace pour les oiseaux migrateurs.

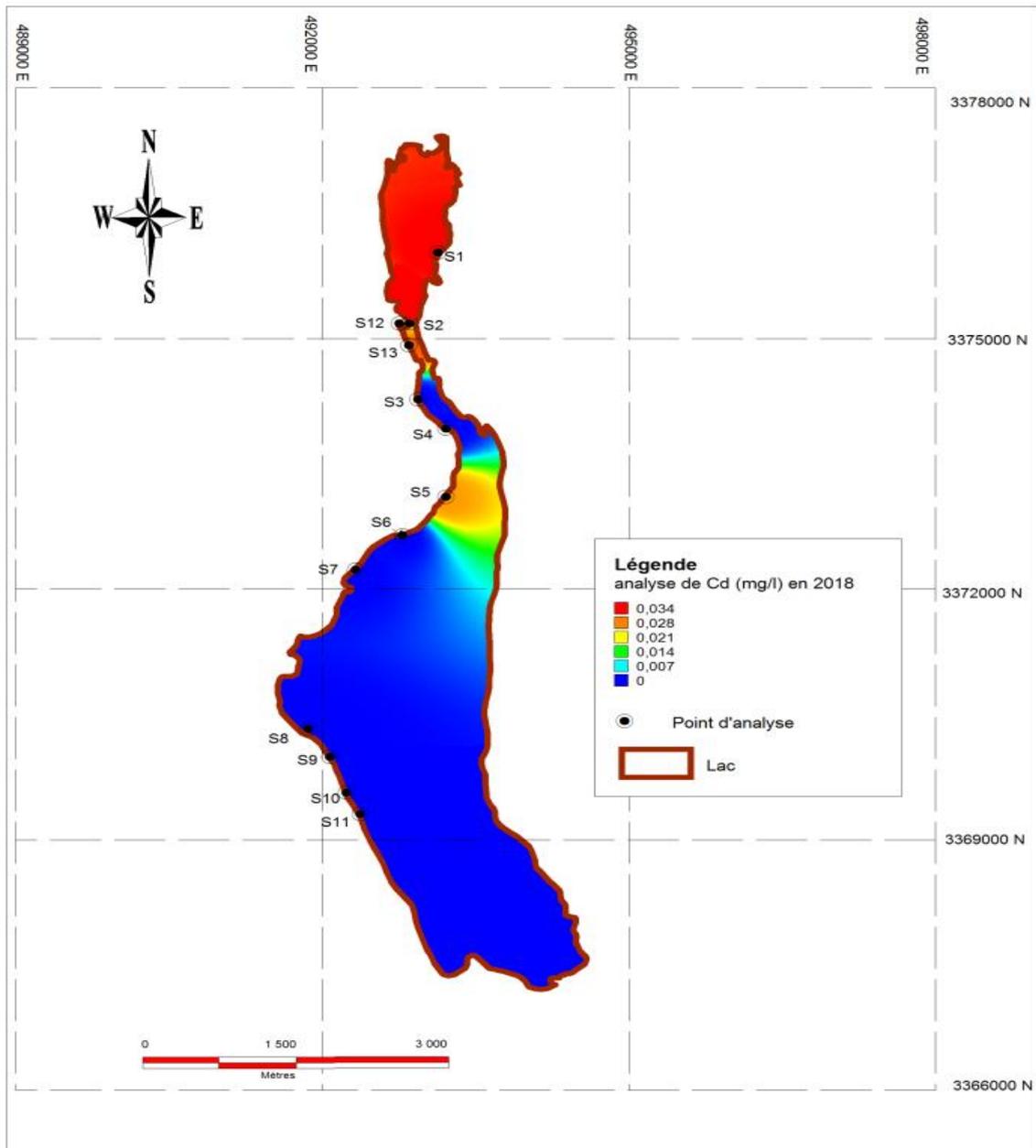


Figure 3.25 : Carte des concentrations de cadmium des eaux de lac d'El-Menia

3.5.3. Le cobalt

Un excès des teneurs de cobalt dans le lac supérieur 0,0574 mg/l.

Dans le lac inférieur (figure 3.26) une concentration élevée 0.058 mg/l en amont de lac explique par l'apport de rejet, la concentration diminue au niveau du début de centre de lac justifier par l'apport d'eau potable ou cette concentration relevée au niveau de point 5 est atteint 0.0473 mg/l .

Lors de la campagne nous avons remarqué que le point 5 abrite une variété d’oiseaux et ces valeurs élevée dans cette point menace un risque pour les oiseaux migrants.

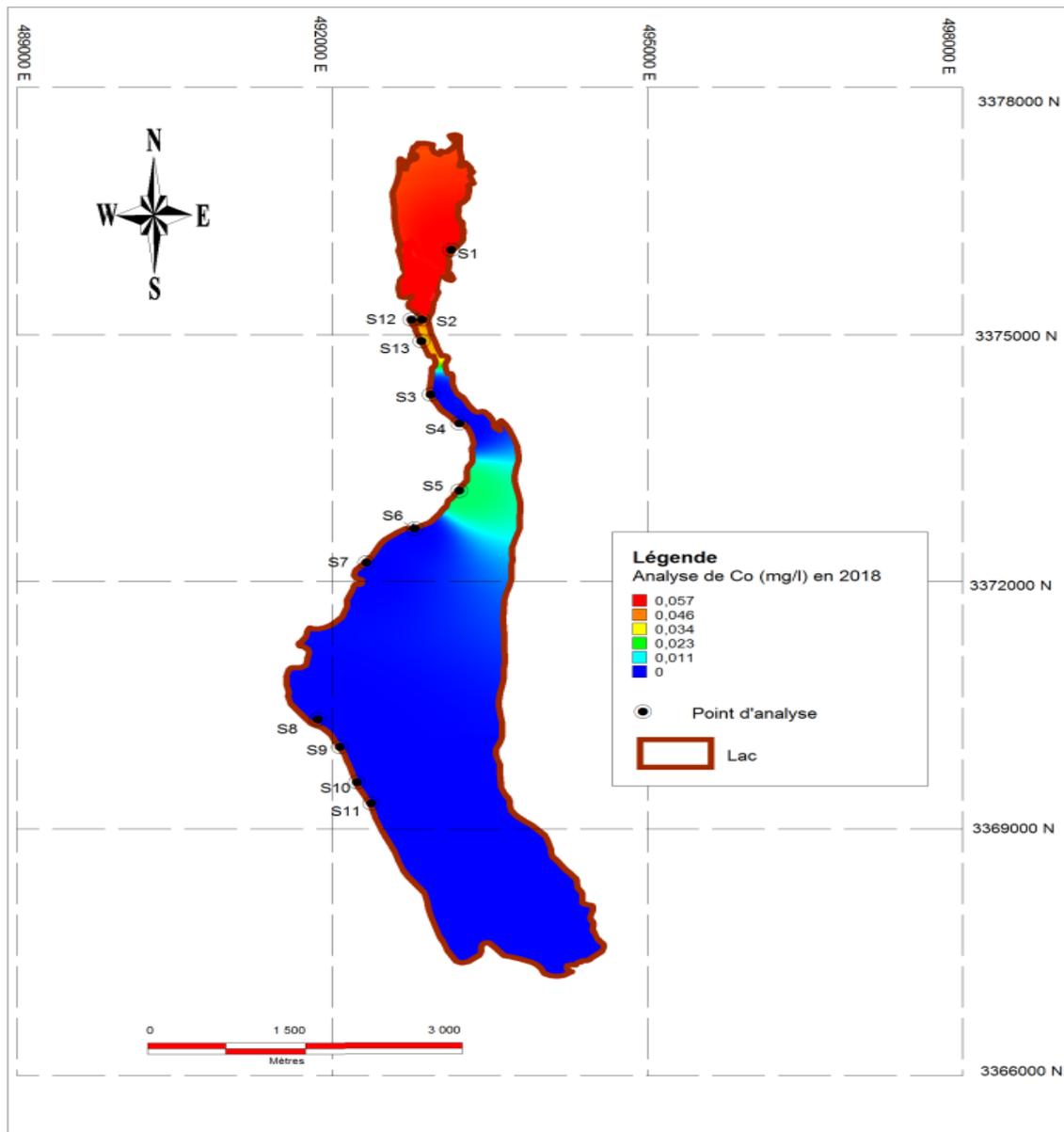


Figure 3.26 : Carte des concentrations de cobalt des eaux de lac d’El-Menia

3.6. Les autres métaux

La concentration de cuivre est dans les normes, et une absence de pollution par le manganèse, le chrome, nickel et le zinc (figure 3.27 ,3.28, 3.29 ,3.30).

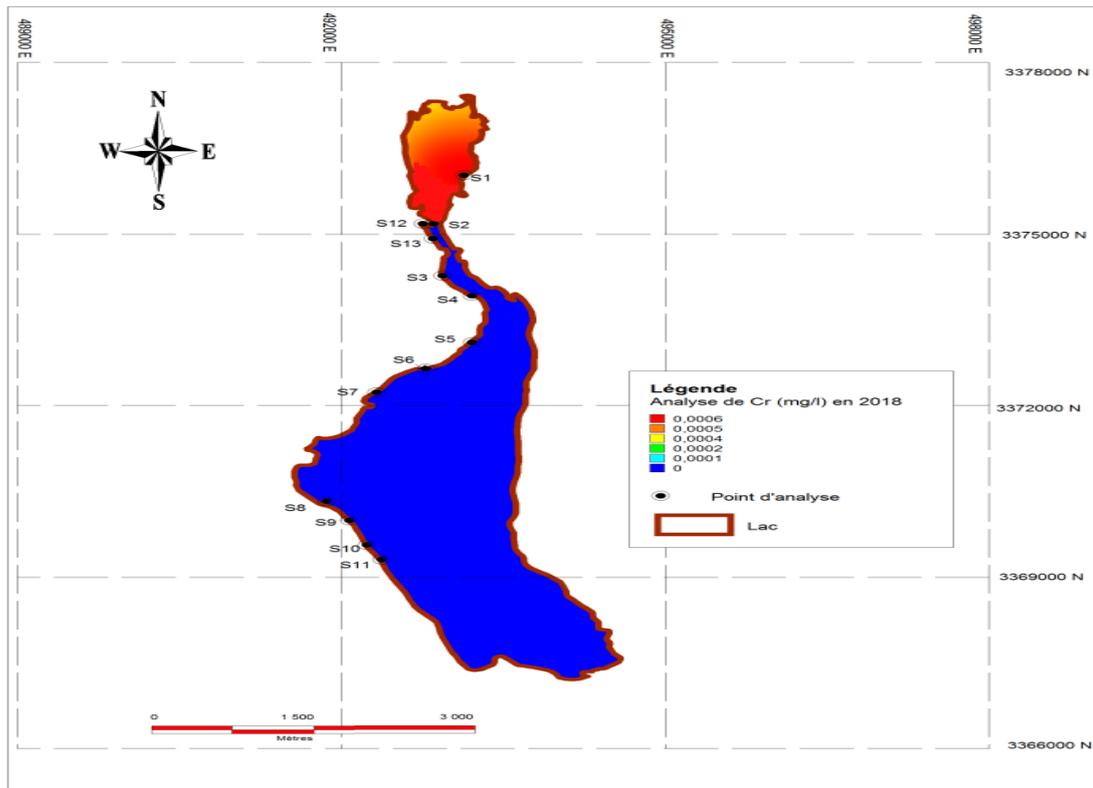


Figure 3.27 : Carte des concentrations de chrome des eaux de lac d’El-Menia

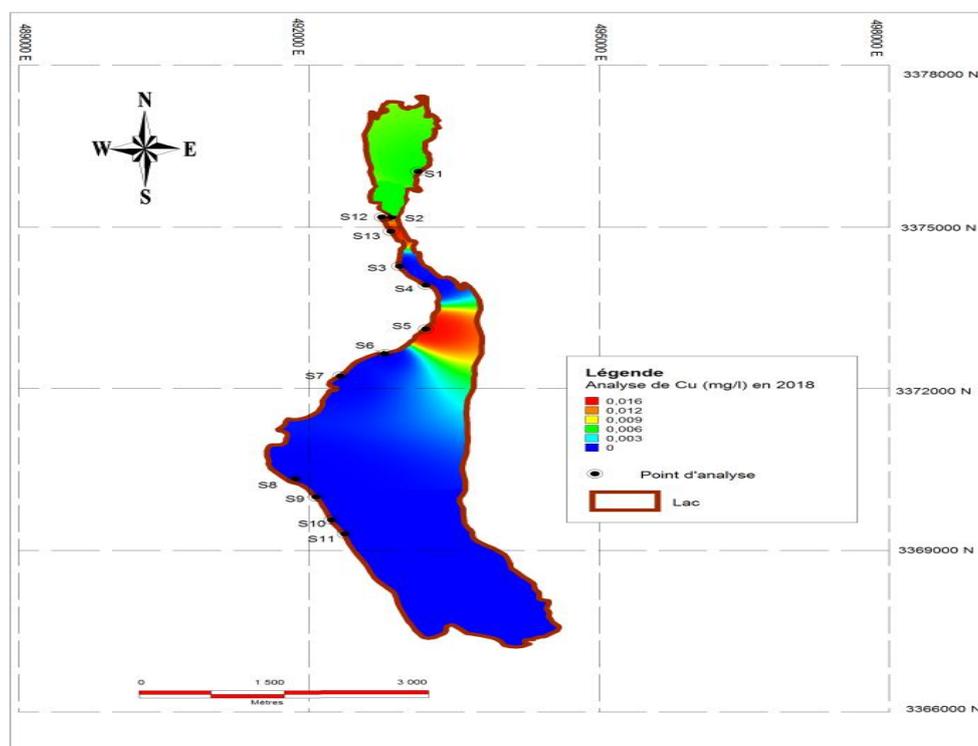


Figure 3.28 : Carte des concentrations de cuivre des eaux de lac d’El-Menia

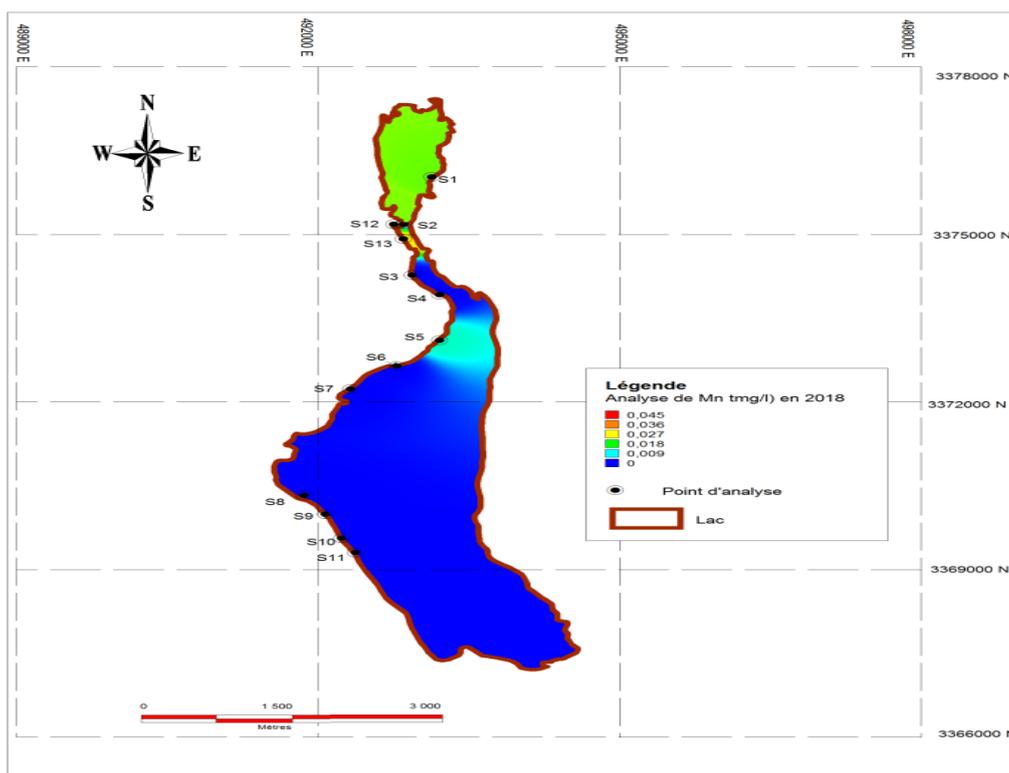


Figure 3.29 : Carte des concentrations de manganèse des eaux de lac d'El-Menia

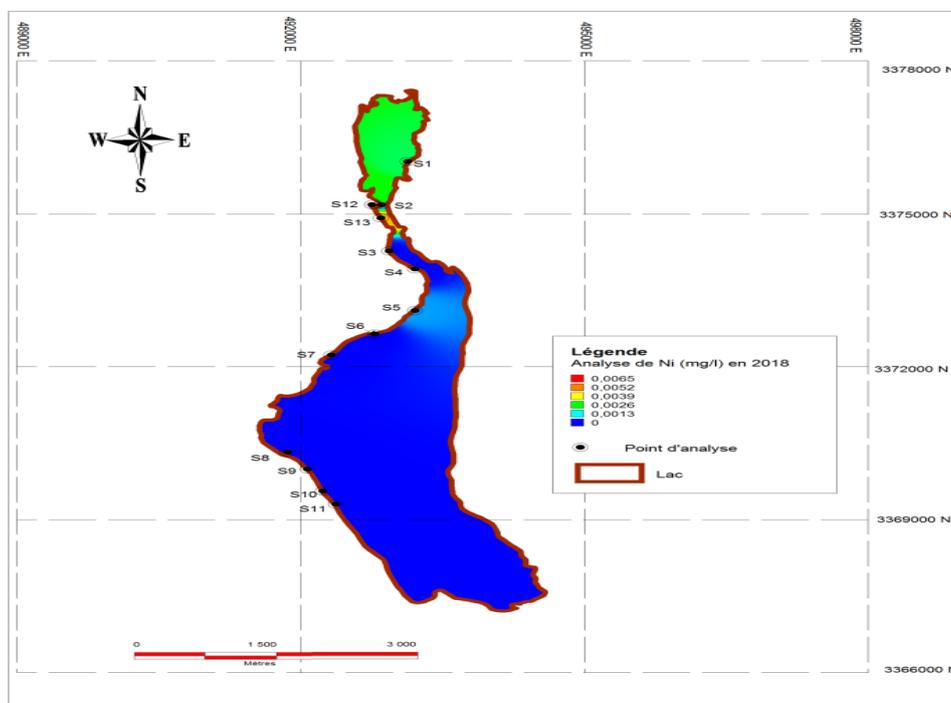


Figure 3.30 : Carte des concentrations de nickel des eaux de lac d'El-Menia

3.7. Analyse en composantes principales (relation entre les différents paramètres physique-chimique)

Dans le but d'établir une relation entre les différents paramètres physicochimiques et pour mieux évaluer l'effet des activités anthropiques sur la qualité de l'eau de lac d'El-Menia. Le traitement statistique de l'analyse en composantes principales a été réalisé avec le coefficient de Pearson [75], nous avons utiliser le logiciel XLSTA, sur 13 stations et 8 variables : méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydro chimiques.

3.8. Analyse en composantes principales (relation entre la conductivité et salinité avec les métaux lourds).

L'étude des corrélations linéaires bi variées entre les paramètres étudiés renseignent sur la force des associations entre ceux-ci. La matrice des corrélations des 10 paramètres mesurés durant notre étude est présentée dans le tableau a suivant.

L'observation du cercle ACP (figure 3.31), formé par les axes F1,F2 (90,71 %)de l'information, montre selon F1 (52.94%), une opposition entre les eaux polluées par Mn ,Ni, ces eaux occupent la partie négative de l'axe par contre la partie positive de l'axe indique une pollution des eaux par le Cuivre et la conductivité.

Selon l'axe vertical F2 (37,77%), on remarque une opposition entre les eaux polluées par Pb, Co, et Cd, Cr occupant la partie positive de l'axe F2 et le Mn et Ni, Cu,Fe occupant la partie négative de l'axe.

a) Tableau des matrices de corrélation :

Variables	salinité	CE	Cd	Cu	Pb	Mn	Ni	Co	Cr	Fe
salinité	1	0,967	-0,319	-0,114	-0,655	-0,890	-0,936	0,604	0,171	0,549
CE	0,967	1	-0,544	0,076	-0,820	-0,843	-0,858	0,438	-0,084	0,742
Cd	-0,319	-0,544	1	-0,521	0,925	0,134	0,069	0,444	0,856	-0,940
Cu	-0,114	0,076	-0,521	1	-0,348	-0,147	0,046	-0,121	-0,759	0,586
Pb	-0,655	-0,820	0,925	-0,348	1	0,451	0,422	0,124	0,608	-0,963
Mn	-0,890	-0,843	0,134	-0,147	0,451	1	0,981	-0,827	-0,213	-0,453
Ni	-0,936	-0,858	0,069	0,046	0,422	0,981	1	-0,838	-0,339	-0,373
Co	0,604	0,438	0,444	-0,121	0,124	-0,827	-0,838	1	0,656	-0,118
Cr	0,171	-0,084	0,856	-0,759	0,608	-0,213	-0,339	0,656	1	-0,729
Fe	0,549	0,742	-0,940	0,586	-0,963	-0,453	-0,373	-0,118	-0,729	1

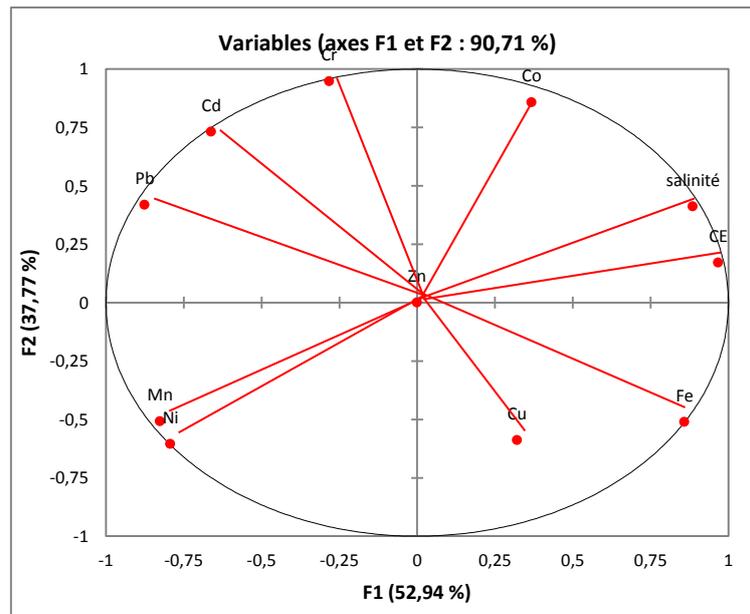


Figure 3.31 : répartition des variables dans le plan factoriel formé par les CP 1 et 2

D'après le cercle on distingue les remarques suivantes :

- Une forte corrélation entre le plomb et le cadmium ainsi une forte corrélation entre le manganèse et le nickel.
- Co et le couple (Mn et Ni) montre un comportement inverse, Quand l'un diminue l'autre augmente .
- une forte corrélation entre la Conductivité et la salinité c'est-à-dire une relation proportionnelle entre elles.
- Aucune relation entre le cobalt et (le plomb et le cadmium) La variation de l'un n'a aucun effet sur la variation de l'autre aussi pour le cuivre et le couple (manganèse /Nickel).
- Aucune relation entre Le couple (Pb/Cd) et (Mn/Ni).
- La même observation pour la CE et le Cr, complètement indépendant.
- Le couple Pb/Cd est présente un comportement inverse au comportement de Cu. Si la concentration de Cu augmente, la concentration de Cd/Pb diminue.
- le couple fer et conductivité ont le même comportement la variation de l'un nécessite la variation de l'autre.

3.9. Analyse en composantes principales (relation entre le pH et la conductivité et la salinité avec les Paramètres de pollution)

Les valeurs propres des deux axes factoriels F1 et F2 et leur contribution à l'inertie totale, déterminent 71,68 % de l'information totale à raison d'une inertie de 52,73 % et 18,95 % respectivement pour F1 et F2. Une approche typologique des différentes variables (F1 et F2) selon leurs affinités présentée dans la figure (3.32).

a) matrice de corrélation

Variables	CE	salinité	PH	O,PO4-3	NO2-	NH4+	fer	NO3
CE	1	0,699	-0,339	0,709	0,829	0,336	0,763	0,263
salinité	0,699	1	-0,207	0,199	0,650	0,200	0,804	0,271
PH	-0,339	-0,207	1	-0,339	-0,393	-0,375	-0,141	0,162
O,PO4-3	0,709	0,199	-0,339	1	0,796	0,233	0,541	0,367
NO2-	0,829	0,650	-0,393	0,796	1	0,332	0,834	0,376
NH4+	0,336	0,200	-0,375	0,233	0,332	1	0,062	-0,044
fer	0,763	0,804	-0,141	0,541	0,834	0,062	1	0,669
NO3	0,263	0,271	0,162	0,367	0,376	-0,044	0,669	1

b) cercle de corrélation

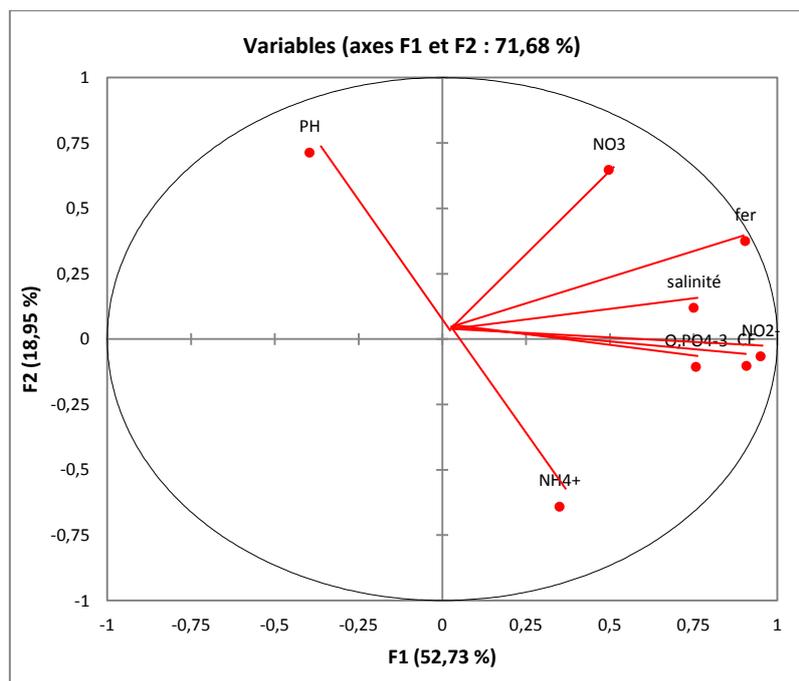


Figure 3.32 : répartition des variables dans le plan factoriel formé par les CP1 et CP2

Relation entre les deux premières composantes principales et les observations

L'analyse de la répartition des échantillons dans les plans factoriels permet de mettre en évidence les ressemblances et dissemblances existantes entre les échantillons en fonction de

leur composition élémentaire [75], Les valeurs propres des deux axes factoriels F1 et F2 et leur contribution à l'inertie totale, déterminent 59,56 % de l'information totale à raison d'une inertie de 45,04 % et 14,52 % respectivement pour F1 et F2. Afin d'identifier ces liens existant entre les échantillons et leur composition chimique, les coordonnées des observations dans le plan factoriel CP 1, CP 2 ont été représentées sur la figure 3.32.

-une relation proportionnelle entre la CE et tous des ortho phosphates, nitrite, le fer, la salinité, c'est-à-dire qu'on l'un augmente l'autre augmente.

-Une relation inverse entre le pH et l'ammonium.

- une relation indépendante entre le pH et les autres éléments.

3.10. Analyse en composantes principales (relation entre le pH et la conductivité et la salinité avec les Paramètres chimiques)

a) matrice de corrélation

Variables	CE	salinité	pH	TH	TAC	Na	K	cl-	R,S	sulfate
CE	1	0,729	-0,296	-0,183	-0,101	0,683	0,779	0,945	0,292	0,690
salinité	0,729	1	-0,208	-0,241	-0,015	0,114	0,209	0,803	0,085	0,538
pH	-0,296	-0,208	1	0,296	0,169	-0,133	-0,344	-0,306	0,070	0,171
TH	-0,183	-0,241	0,296	1	0,297	-0,230	-0,102	-0,233	-0,258	-0,133
TAC	-0,101	-0,015	0,169	0,297	1	-0,207	-0,097	-0,181	-0,358	-0,494
Na	0,683	0,114	-0,133	-0,230	-0,207	1	0,912	0,523	0,380	0,477
K	0,779	0,209	-0,344	-0,102	-0,097	0,912	1	0,586	0,365	0,367
cl-	0,945	0,803	-0,306	-0,233	-0,181	0,523	0,586	1	0,277	0,781
R,S	0,292	0,085	0,070	-0,258	-0,358	0,380	0,365	0,277	1	0,338
sulfate	0,690	0,538	0,171	-0,133	-0,494	0,477	0,367	0,781	0,338	1

b) cercle de corrélation

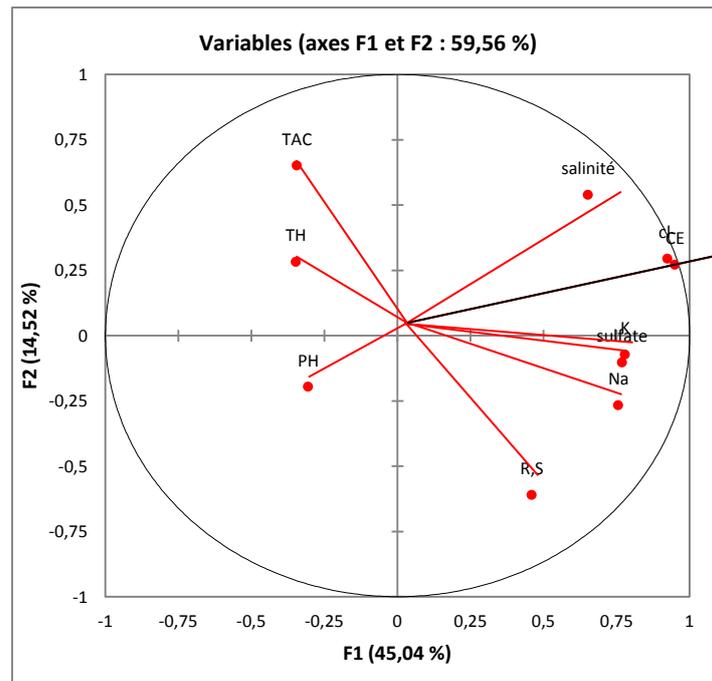


Figure 3.33. répartition des variables dans le plan factoriel formé par les CP1 et CP2

Pour identifier les liens existant entre les échantillons et leur composition chimique, les coordonnées des observations dans le plan factoriel CP 1, CP 2 ont été représentées sur la figure 3.33.

- Une relation proportionnelle entre la conductivité et la salinité, les chlorures le sodium, le potassium et les sulfates.
- une relation proportionnelle entre les chlorures avec la salinité et les sulfates
- une relation proportionnelle entre le sodium et le potassium.
- une relation inverse entre le pH et tous les éléments sauf le TH et le TAC.
- une forte corrélation proportionnelle entre la salinité et les chlorures.
- une relation inverse entre les résidus secs et le TH et le TAC c'est-à-dire lorsque l'un augmente l'autre diminue.

3.11. Les faciès chimiques

La représentation sur le diagramme de Piper nous a permis une approche rapide des résultats analytiques [76], en vue de caractériser les eaux et de classer les anions et cations majeurs pour les eaux de lac d'El-Menia.

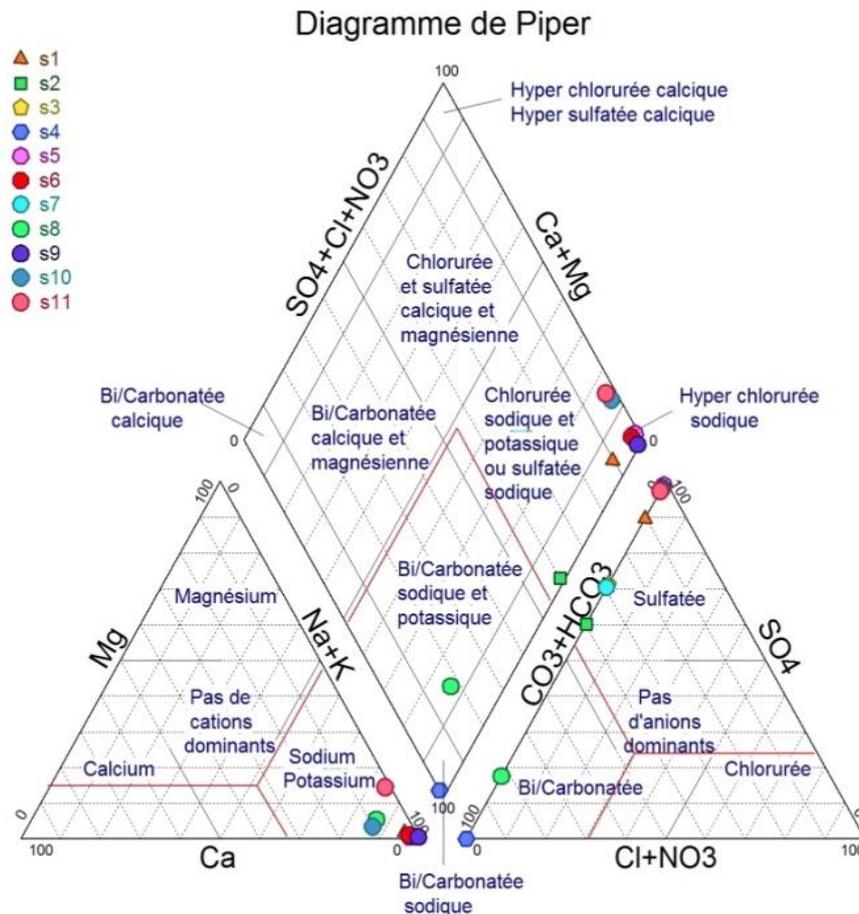


Figure 3.34 : diagramme de piper

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper permet de différencier les familles d'eaux, l'examen du diagramme obtenu permet de déduire les observations suivantes :

- Le faciès hyper chloruré sodique domine dans la plus part des points analysés 33.52%.
- Le faciès sulfaté dominant dans la plus part des points 33.42 % est le faciès de sodium et potassium 33.06%.

Remarque : les résultats des analyses physico-chimiques en 2018 sont présents dans l'annexe 3.2

3.4. Les analyses prelever en 2017

L'échantillonnage des eaux de lac d'El-Menia a été effectué dans le mois de juin 2017, nous avons effectué au total onze (11) prélèvements pour l'analyse physico-chimique répartis comme suit (figure 3.2.) :

Dans cette partie on utilise global mapper (méthode des iso teneurs) pour interpréter les résultats (les cartes iso teneurs sont dans annexe 3) :

3.4.1. Variation de ph

On note un pH alcalin au niveau de lac supérieur (figure Annexe 3.4).

Un pH varie entre l'alcalinité et la neutralité dans le lac inférieur (de 7.5 a 8.82).

3.4.2. Variation de TDS (le total des sels dissous)

Ce paramètre mesure la quantité d'ions organiques et inorganiques dissouts dans l'eau. il varie suivant la salinité des eaux.

On remarque une augmentation des TDS au niveau aval de lac inferieur (de 176,7 a 191,1), (voir annexe 3.5).

3.4.3. Variation de la conductivité

On remarque une grande conductivité au niveau de lac supérieur 15400 μ s/cm, (voir annexe 3.6).

Le lac inferieur caractérisé par une conductivité égale a 1428 μ s/cm en amont de lac inferieur. La conductivité s'élève a partir de centre de lac pour atteint une valeur dépasse 160000 (μ s/cm) en aval due aux lessivages et dilution des formations géologiques à l'affleurement.

3.4.4. Variation de concentration de salinité (g/l)

Le lac d'El-Menia est caractérisé par une salinité importante les concentrations sont entre 10 et 100 g/l (voir la carte iso teneurs en annexe 3.7), la concentration de salinité liée a la précipitation des minéraux et l'évaporation intense dans cette période.

3.4.5. Variation de concentration de dureté totale

Le lac d'El-Menia caractériser par une eau dure (de 200 mg/l a 1500 mg/l) peut être justifié à l'évaporation que subie l'eau (voir annexe 3.8).

3.4.6. Variation de concentration de calcium

Pas de différence remarquable de concentration de calcium au niveau de lac juste en amont de lac inferieur on remarque une faible concentration a cause des apports d'eau (annexe 3.9).

3.4.7. Teneurs en magnésium

Tous les concentrations de magnésium sont admissible au niveau de lac juste en aval de lac inférieur la concentration dépasse la norme (annexe 3.10).

3.4.8. Teneurs en concentration de fer

D'après la carte d'iso teneurs on distingue les remarques suivantes :

Une valeur admissible de concentration de fer au niveau de lac supérieur (0,124 mg/l).

Pour le lac inferieur une valeur admissible en amont ou se trouve les apports d'eau (annexe 3.11).

Cette valeur s'élève pour atteint une valeur de 1.4 mg/l en aval de lac dépasse légèrement la norme (annexe 3.1).

3.4.9. Teneurs en concentration de nitrite

On peut conclure que les teneurs en nitrites enregistrées dans les eaux de surface de lac d'El-Menia (de 0,032 a 1, 49 mg/l) sont supérieurs à la norme (annexe 3.1). Ce qui indique que les eaux étudiées sont assujetties à un risque de pollution par les nitrites (annexe 3.12).

3.4.10. Variation de concentration d'ammonium

Une valeur très élevée de concentration d'ammonium au niveau de lac supérieur, La concentration d'ammonium dépasse la norme en aval est atteint 10.9 mg/l cette valeur peut expliquer par la décomposition des déchets végétaux et animaux (annexe 3.13).

3.4.11. Variation de concentration des ortho phosphates

Toutes les valeurs sont admissibles sauf au niveau aval de lac inferieur ou la concentration dépasse la norme (annexe 3.14).

Remarque : les résultats des analyses physico-chimiques en 2017 sont présents dans l'annexe 3.3.

3.5. Variation spatiotemporelle des analyses prelever en 2015/2016

L'échantillonnage des eaux de lac d'El-Menia a été effectué a deux saison hivernale (mois de décembre 2015) et estivale (mois de juin 2016), nous avons effectué au total vingt trois (23) prélèvements pour l'analyse physico-chimique répartis comme suit (Figure 3.1) ;

Dans cette partie on faire une comparaison entre les résultats hivernale et estivale, on utilisant le logiciel origin:

3.1. Variation de température

Le climat désertique influe sur la température de l'eau du lac, la température varie d'une saison à l'autre permet de ralentir le taux d'évaporation, la température varie de 20 à 23 C° en saison hivernale et varie de 25 à 34 C° en saison estivale (figure 3.36).

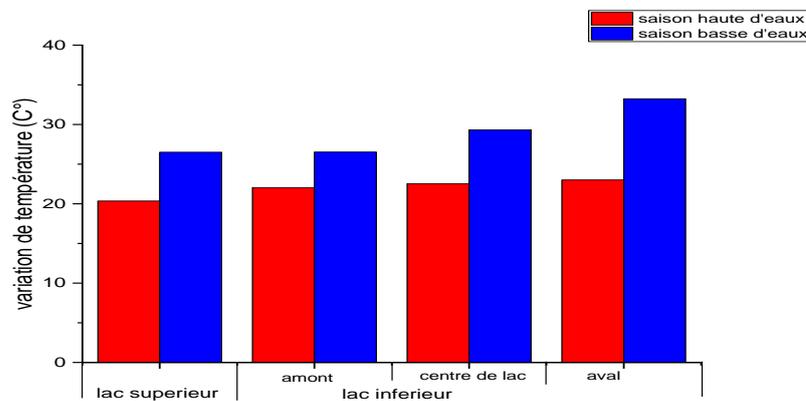


Figure 3.35 : variation de température des eaux de lac d'El-Menia

3.5.1. Variation de pH

Les valeurs de pH dans le lac varient d'un PH neutre vers un pH basique entre 7 et 8, et 9, on remarque une petite augmentation de pH dans la saison des basses d'eau par rapport au saison hivernale dans le lac supérieur et aussi au niveau de centre et en aval de lac inférieur (figure 3.36).

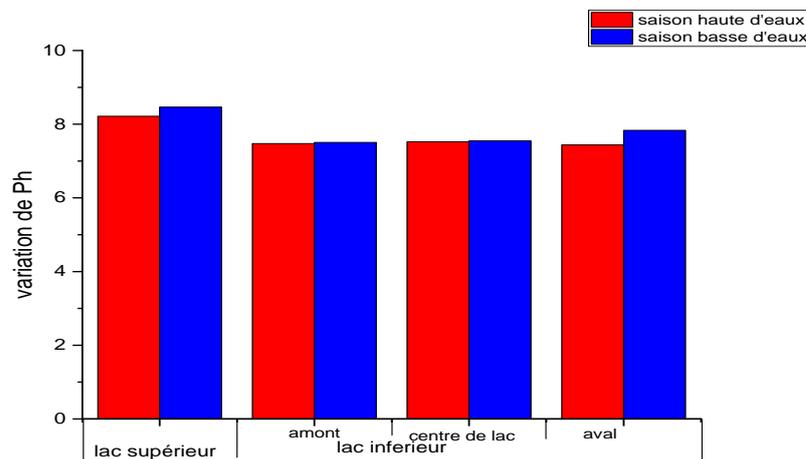


Figure 3.36 : variation de Ph des eaux de lac d'El-Menia

3.5.2. Variation de conductivité

Pour le lac supérieur on remarque une diminution de conductivité pour la saison des basses d'eaux, pour le lac inférieur on note une augmentation de conductivité dans la saison des

basses d’eaux (arrive à 115 ms/cm) liée à l’évaporation intense dans cette période (Figure 3.37).

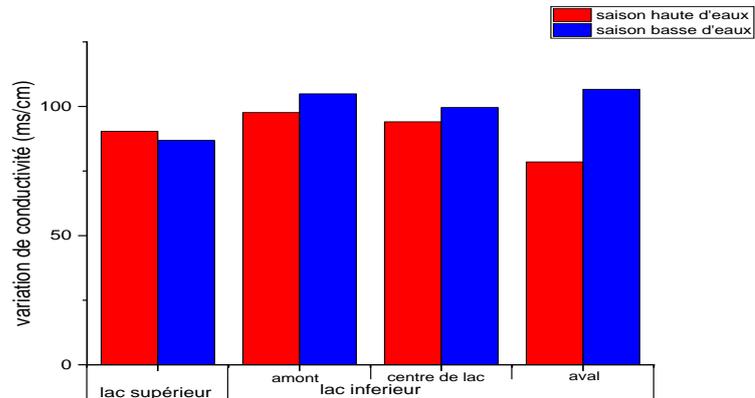


Figure 3.37 : variation de conductivité des eaux de lac d’El-Menia

3.5.3. Variation de salinité

Le lac d’El-Menia est caractérisé par une salinité importante, les concentrations sont entre 60 et 100 g/l (figure 3.38), la salinité dans les périodes de basse d’eaux subit une élévation importante pour le lac supérieur et le centre et l’aval de lac inférieur liée a la précipitation des minéraux et l’évaporation intense dans cette période.

Une valeur de salinité régulière entre les deux saisons dans l’amont de lac inférieur à cause des apports d’eau dans cet endroit.

La concentration élevée au centre de lac résulte de l’accumulation des éléments chimiques dans cette partie.

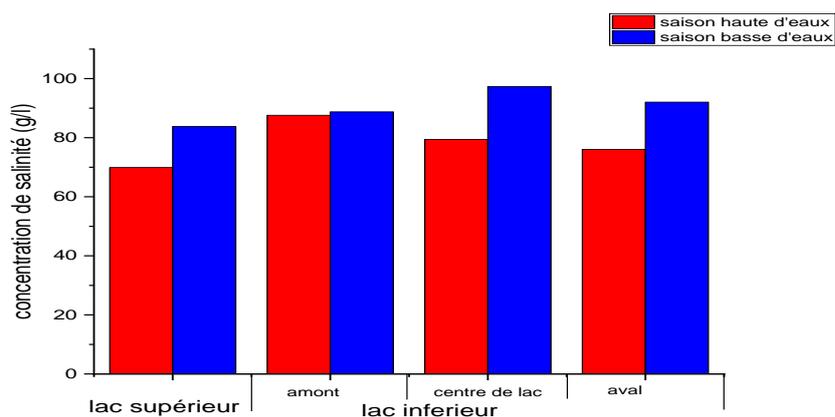


Figure 3.38: variation des concentrations de salinité des eaux de lac d’El-Menia

3.5.4. Variation de concentration de TH

La différence saisonnière de TH entre les deux saisons liées à la dilution des eaux de lac par l'effet de l'absence de l'évaporation sauf au niveau de l'amont de lac inférieur ou on peut interpréter que la raison retour aux apports d'eau situé dans cet endroit (Figure 3.39).

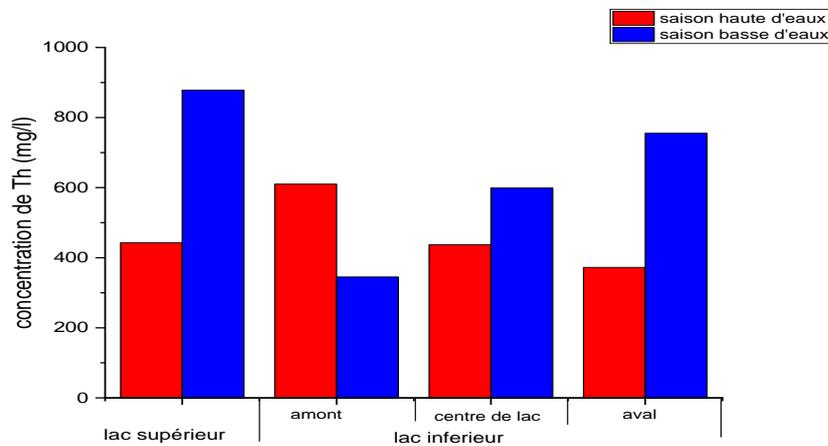


Figure 3.39 : variation de titre hydrométrique saisonnières des eaux de lac d'El-Menia

3.5.5. Variation de nitrite

La pollution atmosphérique favorise l'augmentation des teneurs en nitrites.

L'augmentation des concentrations de nitrite dans la saison estivale par rapport au saison hivernale (figure 3.40) peut être due au lessivage des fertilisants utilisés dans les sols agricoles situés sur les bords de lac.

Les valeurs très élevée des nitrites (NO_2^-) proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque (NH_4^+), soit d'une réduction des nitrates NO_3^- sous l'influence d'une action dénitrifiant, On peut conclure que les teneurs en nitrites enregistrées dans les eaux de surface de lac d'El-Menia (0.2 mg/l à 1.1 mg/l) sont supérieures à la teneur suggérée par les normes (voir annexe 3.1). Ce qui indique que les eaux étudiées sont assujetties à un risque de pollution par les nitrites.

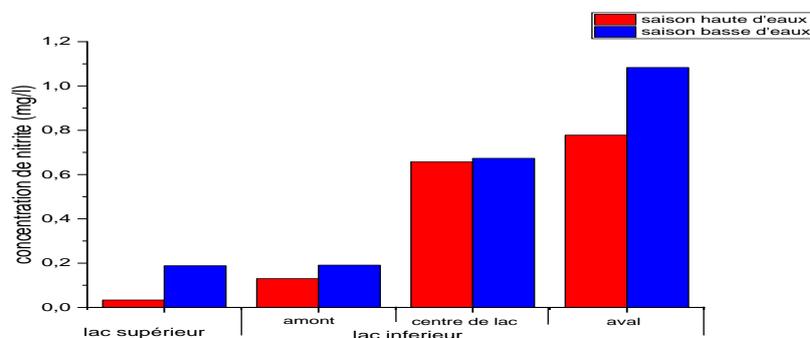


Figure 3.40 : variation des concentrations de nitrite saisonnières des eaux de lac d'El-Menia

3.5.6. Variation de concentration d'ammonium

Il constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau. Dans les eaux superficielles.

L'analyse du profil d'ammonium (figure 3.41), montre que les teneurs varient entre 0,06 mg /l et 8 mg /l en période hivernale et entre 0,11 mg/l et 11,34 mg/l en période estivale. Les valeurs d'ammonium trouvées en période hivernale sont nettement très inférieures à celles de la période estivale sauf en amont de lac inférieur ou on peut expliquer toujours par les apports d'eau dans cet endroit, notamment en aval de lac inferieur, traduisant ainsi l'effet de la dilution et témoigne d'une bonne oxygénation des eaux entraînant ainsi l'oxydation de l'azote en période hivernale. Les teneurs relativement élevées enregistrées on aval et au centre de lac en période estivale traduisent le processus de dégradation incomplète de la matière organique.

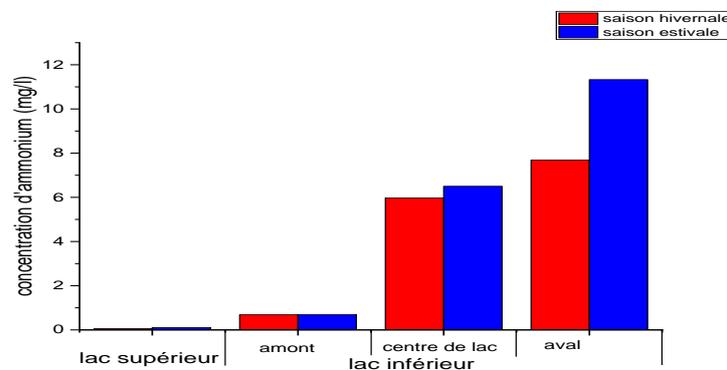


Figure 3.41 : variation des concentrations des ortho-phosphates saisonnières des eaux de lac d'El-Menia

3.5.7. Variation de concentration des ortho phosphates

L'analyse des résultats (figure 3.42) montre que la concentration en orthophosphates dans les eaux de lac d'EL-Menia varie entre 0,05 mg/let 0,65 mg /l en saison hivernale et entre 0,1 mg/l et 1,4 mg/l en saison estivale. Au niveau du secteur amont de lac inferieur, les teneurs en orthophosphates sont faibles et sont inférieures à 1 mg /l pour les deux saisons ces valeurs peut expliquer par les apports d'eau située dans cet endroit. Cependant au niveau du secteur aval, les orthophosphates suivent une variation spatiale marquée relativement par une tendance à l'augmentation en période estivale. Cette disponibilité des orthophosphates peut être expliquée par les agents atmosphériques, vent et pluie, représentent aussi des sources de phosphates surtout quand le débit fluvial est faible.

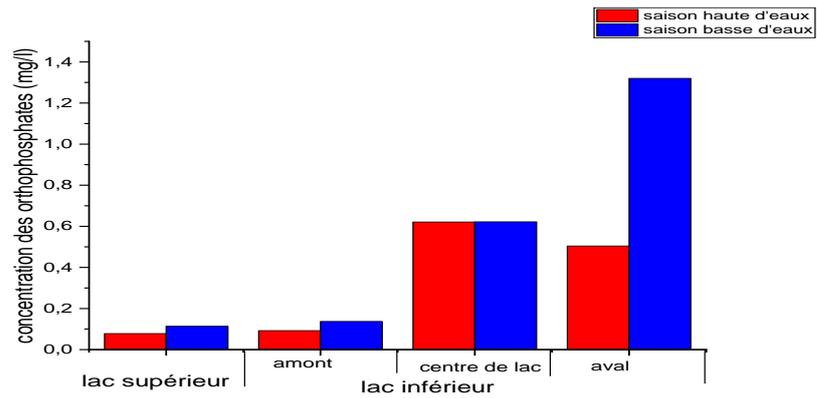


Figure 3.42 : variation des concentrations des ortho-phosphates saisonnières des eaux de lac d’El-Menia

3.5.8. Variation de concentration de Fer

Les valeurs de fer sont supérieures à la norme des eaux de surface (voir annexe 3.1) dans le centre et l’aval de lac pour les deux saisons hivernale et estivale (Figure 3.43).

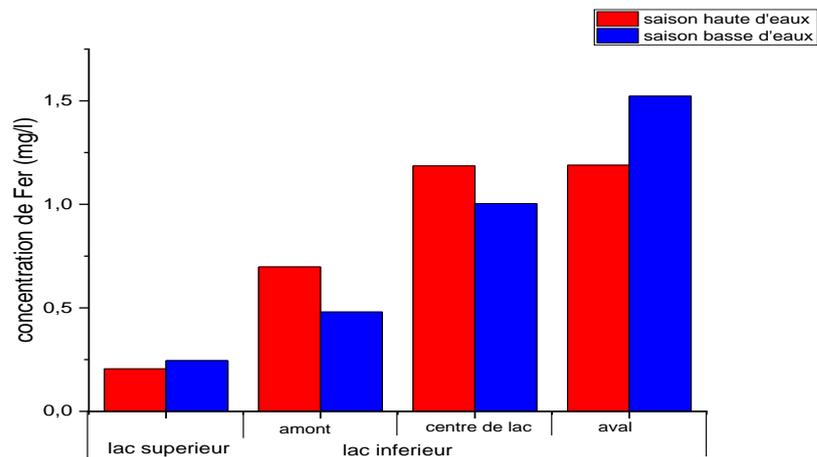


Figure 3.43: variation des concentrations de fer saisonnières des eaux de lac d’El-Menia

Remarque : les résultats des analyses physico-chimiques en 2015 sont présents dans l’annexe 3.15.

3.6. Comparaison des résultats 2016/2017/2018

Les changements climatiques ont depuis longtemps cessé d'être une curiosité scientifique. Ils constituent la question environnementale majeure qui domine notre époque et le défi majeur auquel doivent répondre les organismes de contrôle environnementaux.

Les menaces aux zones humides malgré leur importance dans les processus vitaux et l'accueil de poissons et d'oiseaux, de nombreuses menaces pèsent sur ces zones.

La vulnérabilité des eaux de surface peut se traduire également en cas d'augmentation de la température à leur réchauffement d'où la réduction de leur capacité à biodégrader certains polluants entraînant une baisse de la qualité, qui provoque une disparition des espèces d'oiseaux qui vivent dans la zone.

Pour connaître l'impact des changements climatiques sur le lac d'El-Menia, on étudie la qualité physico-chimique des eaux de lac aux différentes années (2016-2017-2018) on a fait une comparaison des paramètres physico-chimique :

3.6.1. Variation spatio-temporelle de pH

D'après l'histogramme on remarque une variation négligeable de pH dans le lac supérieur à cause de la nature de sol de lac (Figure 3.44).

La variation de pH en amont et au centre de lac inférieur due à l'apport d'eau situer en amont de lac et à la nature de sol de lac.

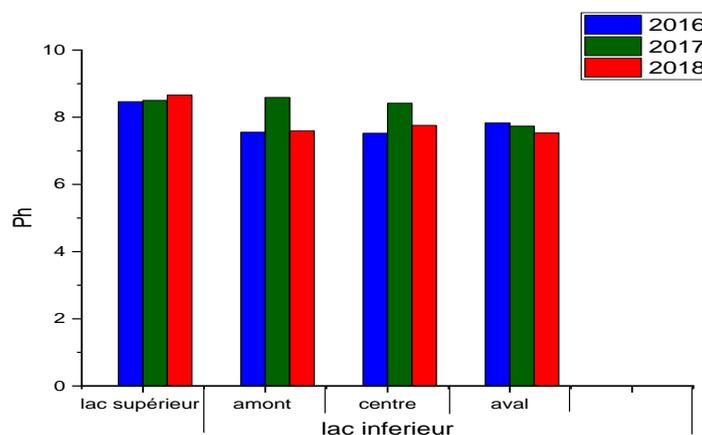


Figure 3.44 : variation spatiotemporelle de pH .

3.6.2. Variation spatio-temporelle de la conductivité :

D'après l'histogramme on remarque une variation négligeable de la conductivité dans le lac supérieur pour les différentes années.

La variation de conductivité dans le centre et l'aval de lac (Figure

3.45) due au lessivage des sols qui entraîne naturellement la dissolution d'un certain nombre de sels (carbonates, bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, calcium, sodium, potassium, magnésium).

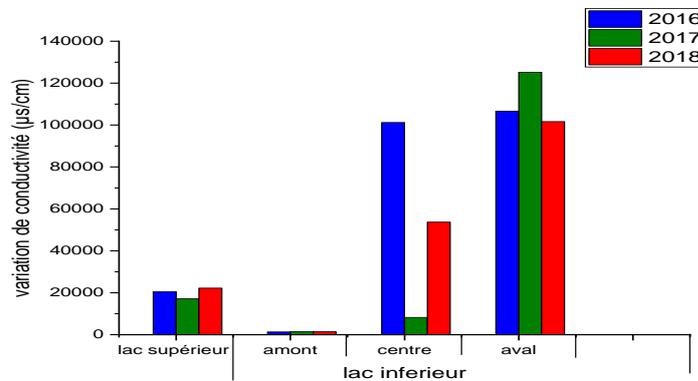


Figure 3.45 : variation spatiotemporelle de conductivité

3.6.3. Variation spatio-temporelle de la salinité

On remarque une élévation significative dans le lac inférieur (Figure 3.46) dans les dernières années due aux changements climatiques (évaporation), une élévation importante au centre et aval de lac qui résulte de l'accumulation des éléments chimiques dans cette partie.

La diminution de la salinité au point amont du lac inférieur où ce trouve deux apports d'eaux qui favorise une diminution de concentrations des éléments chimique dans cet endroit.

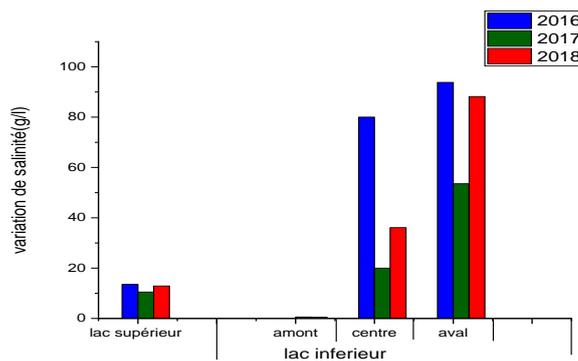


Figure 3.46 : variation spatiotemporelle de salinité

3.6.4. Variation spatio-temporelle de Titre hydrométrique

Le lac d'El-Menia est caractérisé par une eau très dure due à la nature géologique des terrains traversés (Figure 3.47).

Une diminution remarquable de la dureté entre l'année 2016 et 2018 dans le lac supérieur.

Pour le lac inférieur une variation de dureté négligeable en aval de lac due a la nature géologique des terrains.

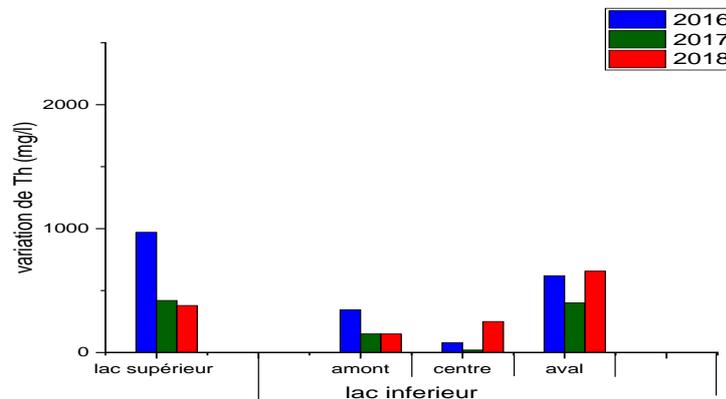


Figure 3.47: variation spatiotemporelle de TH

3.6.5. Variation spatiotemporelle de nitrite

D’après l’histogramme on remarque une variation significative entre les différentes années étudiées (Figure 3.48).

La valeur importante des concentrations de nitrite dans le lac supérieur due au pauvre de ces eaux en oxygène.

La valeur importante des nitrites dans le lac inférieur due aux rejets et aussi au pauvre en oxygène.

La variation temporelle entre les différents années peut définir par l’accroissement de pollution et aussi liée a l’évaporation.

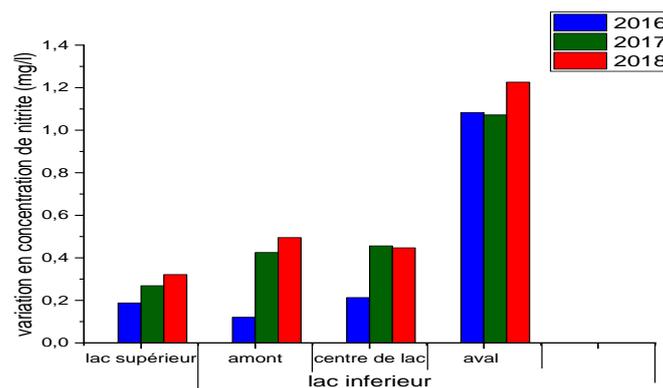


Figure3.48 : Variation spatiotemporelle des nitrites

3.6.6. Variation spatiotemporelle des orthophosphates

Une variation spatiotemporelle importante des orthophosphates surtout dans le centre et l’aval de lac inférieur figure 3.49 peuvent êtres d’origine naturelle (produit de décomposition de la

matière organique, lessivage des minéraux) mais aussi sont présence dans le lac essentiellement due aux rejets.

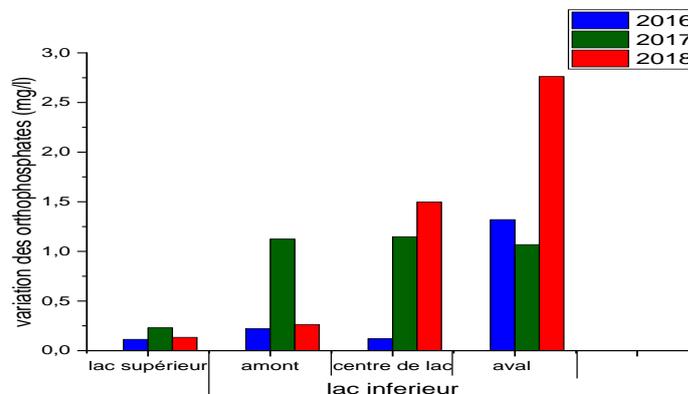


Figure 3.49: Variation spatiotemporelle des orthophosphates

3.6.7. Variation spatiotemporelle d’ammonium

L’azote ammoniacal peut servir de nutriment pour des microorganismes, responsables de saveurs et d’odeurs désagréables.

D’après l’histogramme (Figure 3.50) L’augmentation spatiotemporelle d’ammonium due principalement aux rejets.

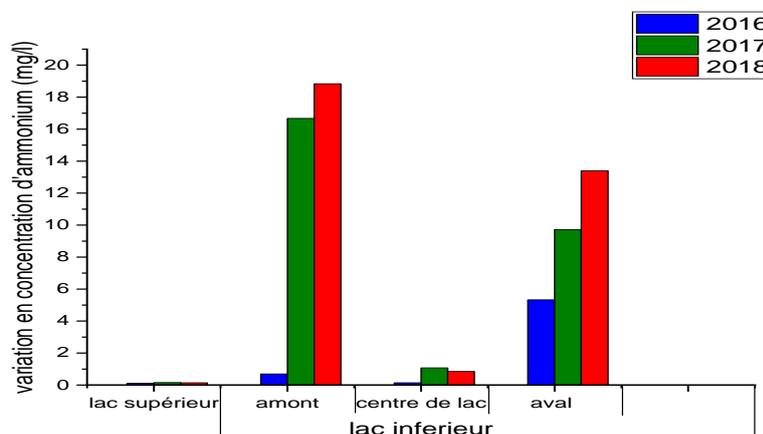


Figure 3.50 : Variation spatiotemporelle d’ammonium

3.6.8. Variation spatiotemporelle de concentration de fer

D’après l’histogramme une variation spatiotemporelle remarquable au niveau de lac inférieur (figure 3.51) due principalement aux :

- lessivage des terrains avec dissolution des roches et des minerais contenus dans le sous-sol;
- rejets industriels (pollutions minières, métallurgiques, sidérurgiques).

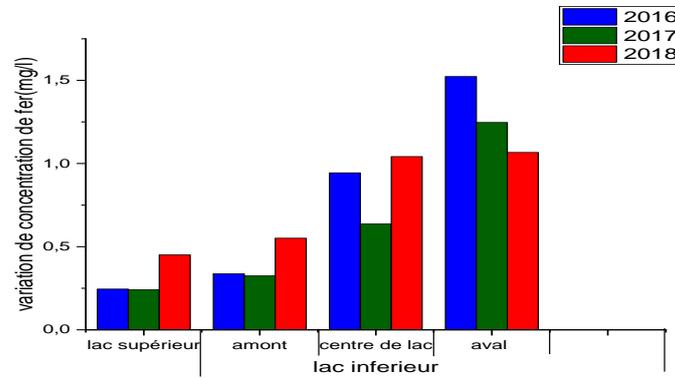


Figure 3.51 : Variation spatiotemporelle de concentration de fer

Chapitre 04

**Généralités, préparation et caractérisation de
charbon actif**

4.1. Généralité sur le charbon actif et le phénomène d'adsorption

4.1. Introduction

Elaborer des charbons activés à partir des déchets végétaux est intéressant du point de vue économique car c'est à partir de transformations simples qu'est effectuée une application directe de ces matériaux de base [77].

Dans ce chapitre nous allons donner quelques généralités sur le charbon actif et sur le phénomène d'adsorption pour mieux définir le charbon actif et son origine aussi pour connaître l'importance de processus d'adsorption, expliquer sa cinétique, ses caractéristiques et les éléments influant l'adsorption

4.1.1. Le charbon actif

Les charbons actifs sont définis comme étant des produits carbonés dotés d'une structure poreuse présentant une très grande surface de contact interne. Ces matériaux sont capables d'adsorber une large variété de substances sur leurs surfaces internes, ils sont en conséquence appelés adsorbants.

Le charbon actif dans son sens le plus large est un terme qui englobe un large éventail de matières carbonées amorphes qui présentent très grande porosité et une aire de surface étendue inter-particulaire[78].

Ces qualités confèrent au charbon actif un grand pouvoir d'adsorption. Ce processus physico-chimique est utilisé dans les filières d'eau pour fixer les substances difficile à éliminer par un traitement classique ainsi que plusieurs substances toxiques non biodégradables[79].

Leur porosité, leur vaste domaine d'application et leur coût font des charbons actifs les adsorbants les plus répandus [80].

4.1.2. La matière première de préparation de charbon actif

Plusieurs chercheurs ont étudiés la fabrication de cet adsorbant à partir d'une variété de matériaux végétaux.

L'inventaire que nous avons fait dans ce sens nous a permis de mieux connaître les sources de fabrication de charbon actif et leurs modes d'exploitation. Nous citons dans cette liste quelques origines avec quelques références bibliographiques.

pulpe de pomme [81], noyaux des dattes [82-85], noyaux d'olives[86,87], les noyaux d'abricot [88], les grains de maïs [88], les résidus de thé [89].

4.1.3. Les processus de préparation de charbon actif

4.1.3.1. Activation physique

Le matériau brut est carbonisé à une température d'environ 600°C pendant 6 à 8 heures. L'activation physique consiste en une oxydation du carbonisât obtenu à haute température (750-1000°C) par un agent gazeux faiblement oxydant pendant 24 à 72 heures. Les gaz principalement utilisés, seuls ou en mélange, sont l'air, la vapeur d'eau ainsi que le dioxyde de carbone. Ce procédé donne un charbon à pores étroits et va créer des millions de microscopiques alvéoles sur la surface du charbon, augmentant de façon très importante sa surface et son pouvoir d'adsorption [82].

4.1.3.2. L'activation chimique

Dans l'activation chimique la carbonisation et l'activation sont normalement réalisées simultanément à des températures plus basses [87].

Des catalyseurs d'oxydation : acide phosphorique, acide sulfurique, sulfure de potassium, chlorure de zinc (interdit pour les applications agroalimentaires), sels de cuivre, potasse.....

Ces agents chimiques favorisent la déshydratation. Parmi ces agents activant l'acide phosphorique H_3PO_4 offre plusieurs avantages[91] :

- C'est un agent non polluant (comparé à $ZnCl_2$).
- L'élimination est possible par lixiviation dans l'eau.
- Le recyclage de cet agent est possible après lavage à l'eau.

Le matériau subit ensuite une pyrolyse entre 400 C° et 800 C° puis est lavé et séché. Le temps d'activation, la température de carbonisation et le taux de chauffage sont des variables importantes pour la préparation de charbon ayant de texture poreuse spécifique[92].

4.1.4. Adsorption par le charbon actif en système batch

L'adsorption comme tout processus de transfert est régie par un mécanisme d'échange entre les phases mises en présence. Le mécanisme d'adsorption dépend des caractéristiques physico-chimiques du système et des conditions opératoires du procédé. Il fait appel au potentiel des forces motrices, au gradient de concentration et au coefficient de diffusion dans les pores [82] .

Expérimentalement, soit un volume V (L) de solution de concentration C_0 mise en contact avec une masse de charbon actif m (g) à l'instant t la concentration de la solution C_e à l'équilibre alors la quantité de soluté passant de la phase liquide vers le charbon actif donner par la relation suivante qui exprime l'isotherme d'adsorption :

$$Q_t = (C_0 - C_e) \cdot V/m \dots \dots \dots 4.1$$

Q_t : quantité adsorbée ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$).

V : volume de la solution (l).

m : masse d'adsorbant (le charbon) (g).

C_0 : concentration initiale de l'adsorbant ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$).

C_e : concentration à l'équilibre de l'adsorbant ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$).

Le rendement d'adsorption calculé par l'équation suivante :

$$R(\%) = (C_0 - C_e) \cdot 100 / C_0 \dots \dots \dots 4.2$$

4.1.5. Les principales équations des isothermes d'adsorption

4.1.5.1. Isotherme de Langmuir

L'isotherme de Langmuir proposé en 1918, repose sur l'hypothèse ci-dessous [93]:

Les molécules sont adsorbées sur des sites bien définis à la surface de l'adsorbant.

- Tous les sites sont identiques.
- Chaque site ne peut fixer qu'une seule molécule donc l'adsorption s'effectue suivant une couche mono moléculaire.
- L'énergie de chaque molécule adsorbée est indépendante de sa position sur la surface.

L'isotherme de Langmuir est représentée par l'équation suivante :

$$Q_e = Q_{\text{max}} + K_L \cdot C_e / (1 + K_L \cdot C_e) \dots \dots \dots 4.3$$

C_e : La quantité de soluté adsorbée à l'équilibre par gramme de solide.

Q_e : La quantité de soluté dans la solution à l'équilibre.

Q_{max} : La capacité maximale d'adsorption en mg/g .

K_L : Constante cinétique de Langmuir qui est égale le rapport entre la constante cinétique d'adsorption et la constante cinétique de désorption.

Le facteur de séparation RL est défini par la relation suivante :

$$RL = 1 / (1 + K_L C_0) \dots \dots \dots 4.4$$

Avec :

K_L (L/mg) : Constante de Langmuir.

C_0 (mg/L) : Concentration initiale de l'adsorbant.

Selon les valeurs de RL obtenues, le procédé d'adsorption comme suit [94] :

- Si $RL = 0$; l'adsorption est irréversible.

- Si $RL < 1$; l'adsorption favorable.
- Si $RL = 1$; Linéaire.
- Si $RL > 1$; l'adsorption non favorable.

4.1.5.2. Isotherme de Freundlich

L'équation de Freundlich ou isotherme d'adsorption de Freundlich, un isotherme d'adsorption, est une relation empirique entre la concentration d'un soluté à la surface d'un adsorbant et la concentration du soluté dans le liquide avec lequel il est en contact [95].

Cette équation est connue sous le nom d'isotherme d'adsorption de Freundlich ou d'équation d'adsorption de Freundlich. Comme cette relation est entièrement empirique, dans le cas où le comportement d'adsorption peut être correctement ajusté par des isothermes à base théorique, il est généralement approprié d'utiliser ces isothermes à la place.

$$X/m = Kp^{1/n} \quad \dots\dots\dots 4.5$$

x = masse de l'adsorbat

m = masse de l'adsorbant

p = Pression d'équilibre de l'adsorbat

c = Concentration à l'équilibre d'adsorbat en solution.

K et n sont des constantes pour un adsorbat donné et un adsorbant à une température donnée.

$$\log x/m = \log K + 1/n \log p \quad \dots\dots\dots 4.6$$

4.1.5.3. Isotherme de Temkin

L'isotherme de Temkin suppose que la décroissance de la chaleur de l'adsorption avec le taux de recouvrement est linéaire plutôt que logarithmique[82].

$$Q_e = R \cdot \frac{T}{b_T} \cdot \ln(ATC_e) = B \ln AT + B \ln C_e \dots\dots\dots 4.7$$

b_T : constante d'isotherme de Temkin. AT : constante d'isotherme de Temkin correspondant l'équilibre des liaisons (L/g).

B : constante associée à la chaleur de sorption (J/mol).

R : constante des gaz parfaits ($8.314 \text{ J.k}^{-1}.\text{mol}^{-1}$).

C_e : concentration à l'équilibre (mg.L^{-1}) et T(K) : température absolue.

4.1.6. Le phénomène d'adsorption

L'adsorption est le phénomène de fixation de l'adsorbant sur la surface de l'adsorbat, quand les molécules se détachent on a la désorption, l'adsorption a été utilisée dès l'antiquité où les propriétés adsorbantes comme les argiles ou les charbons étaient déjà connues [96].

4.1.6. les facteurs influençant sur l'adsorption

Plusieurs paramètres sont à prendre en compte pour favoriser le processus d'adsorption. Il est important de rappeler que la capacité d'adsorption d'une molécule à éliminer est proportionnelle à la surface spécifique de l'adsorbant. De plus, il faut que le diamètre des pores soit supérieur à la taille de la molécule pour que celle-ci puisse diffuser rapidement et atteindre le site d'adsorption [108].

L'équilibre d'adsorption entre un adsorbant et un adsorbât dépend de nombreux facteurs principaux qui sont :

4.1.6.1. Facteur liés à l'adsorbant

La cinétique d'adsorption dépend de la dimension de la surface externe des particules, elle est fondamentale pour l'utilisation d'un charbon actif. Cette surface spécifique externe ne représente pourtant qu'une portion minime de la surface totale disponible à l'adsorption, cette dernière peut être augmentée généralement par traitement ou par broyage de la masse solide qui augmente sa porosité totale [104].

La porosité est liée à la répartition de la taille des pores. Elle reflète la structure interne des adsorbants microporeux [98].

moins une substance est soluble dans le solvant, mieux elle est adsorbée [97].

4.1.6.2. Facteur liés aux conditions opératoires

➤ Température

L'adsorption est un processus exothermique et par conséquent son déroulement doit être favorisé par un abaissement de température [99].

➤ Ph

L'adsorption est maximum au point isoélectrique car les liaisons avec l'eau sont minimum de même [97].

➤ **Concentration de l'adsorbat**

L'adsorption d'une substance croît avec l'augmentation de sa concentration dans la solution. Toutefois, cet accroissement n'est pas proportionnel car il se produit lentement.

Pour qu'il ait une bonne adsorption il faut qu'il ait une affinité entre le solide et le soluté.

En règle générale, les solides polaires adsorbent préférentiellement d'autres corps polaires. Par contre les solides non polaires adsorbent préférentiellement des substances non polaires [101].

Si les dimensions des pores de l'adsorbant sont inférieures aux diamètres des molécules de l'adsorbât, l'adsorption de ce composé ne se fait pas même si la surface de l'adsorbant a une grande affinité pour ce composé [113].

➤ **Vitesse d'agitation**

L'augmentation de la vitesse d'agitation permet d'avoir des conditions hydrodynamiques plus favorables au transfert de matière vers le grain.

➤ **Masse de l'adsorbant**

Généralement le rendement d'adsorption augmente avec l'augmentation de la quantité d'adsorbant.

4.1.6.3. Cinétique d'adsorption

Le phénomène d'adsorption, contrôlé par la diffusion des molécules, atteint son équilibre relativement rapidement (quelques secondes à quelques minutes). Mais peut se prolonger sur des temps très longs pour les adsorbants microporeux en raison du ralentissement de la diffusion des molécules dans ces structures de dimensions voisines du diamètre des molécules du fluide [114].

Le transfert d'une phase liquide contenant l'adsorbat vers une phase solide avec rétention de soluté à la surface de l'adsorbant se fait en plusieurs étapes dans la figure 2.2 [115]:

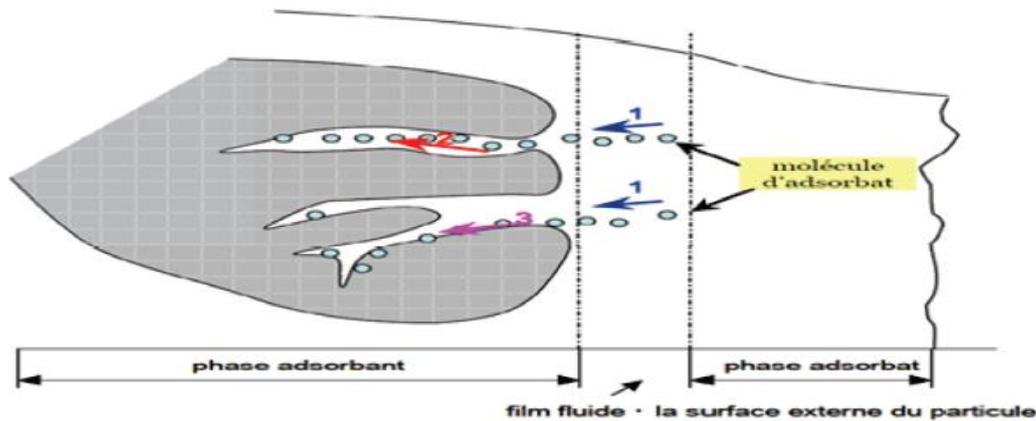


FIGURE 4.1: Schéma de mécanisme de transport de l'adsorbat au sein d'un grain

- **Étape 01** : Transfert de masse externe étape qui implique le transfert de l'adsorbat à la surface de la particule d'adsorbant [104].
- **Étape 02** : Transfert de masse interne dans les pores (diffusion interne) impliquant la pénétration de l'adsorbat dans le système poreux de l'adsorbant[105].
- **Étape 03** : Diffusion de surface pour certains adsorbants, il peut exister également une contribution de la diffusion des molécules adsorbées le long des surfaces des pores à l'échelle d'un grain d'adsorbant [82] .

4.2. Préparation de charbon actif

Dans cette partie on présente :

- une définition des étapes de préparation de charbon actif a partir des noyaux des dattes de la région d'El-Menia,
- les matériels et les différentes méthodes de caractérisation de charbon actif -physico-chimique et des porosités texturales de charbon actif préparés.

4.2.6. Les étapes de préparation de charbon actif

la préparation de charbon actif de grande surface spécifique réalisée par activation chimique, dans cette étude nous avons utilisé l'acide phosphorique H_3PO_4 comme agent d'activant impliquée les étapes suivantes [82 , 86] :

4.2.6.1. La compilation des noyaux des dattes

Dans le but de valoriser les matériaux locaux en charbon actif, nous avons utilisé Comme précurseur les noyaux de dattes provenant de la région d'El-Menia.



Figure 4.2 : la variété Ghars

Variété Ghars :forme variable, très molle, brun foncé, longueur = 4cm,diamètre = 1,6 cm

4.2.6.2. Pretraitement des noyaux de dattes

Après séparation des noyaux de dattes de la pulpe, nous avons lavés les noyaux abondamment à l'eau distillée pour éliminer toutes les matières puis séchés à l'étuve à 105°C pendant 24 heures.

Ensuite, on broyés et tamisés les noyaux de dattes pour obtenu la fraction comprise entre 0,5 et 1 mm à l'aide de Broyeur, Le broyât est retenu et conservé à l'abri de l'air dans des flacons fermés Hermétiquement.

4.2.6.3. La carbonisation

La carbonisation est réalisée dans l'enceinte d'un four électrique préchauffé à 600°C, le charbon obtenu est mis dans des capsules en porcelaine fermées.

Cette température est maintenue pendant une durée de 3 heures pour obtenir un résidu sec [106].

4.2.6.4. L'activation chimique

Nous avons utilisées l'acide phosphorique concentré (85 %) comme agent activant, on imprégné une masse déterminé de broyât de noyaux des dattes (masse de broyât = masse d'acide) dans une mélange de rapport volumique eau-acide de 1/1 [86].

Le mélange réactionnel est maintenu à 100°C pendant un temps de contact de 1 heure.

Le début du temps de contact est fixé à partir de l'instant où la température atteint 100°C [82].

4.2.6.5. La neutralisation de charbon actif

un lavage abondant à l'eau distillée jusqu'à neutralisation de l'eau de rinçage par vérification régulière du Ph.

Le charbon ainsi traité est séché à l'étuve à 105°C pendant au moins 24 heures [106].

4.2.7. Méthodes de caractérisation de charbon actif

4.2.7.1. LE PH

Le pH du charbon actif a été déterminée par immersion de l'échantillon 1 g en 100 ml d'eau distillée et en agitant pendant 1 h ainsi est effectué la mesure par une PH-mètre selon Egwaikhide et al [106].

4.2.7.2. la teneur d'humidite

Quand les charbons actifs préparés sont en contact permanent avec l'air ou lors leurs stockages, les solides se chargent par une certaine humidité due à la diffusion des molécules d'eau dans la structure et sur la surface du solide. L'évaluation du taux d'humidité peut être indicative sur l'hydrophile de ce solide. On met 5 g de charbon actif dans un creuset pèse P1, puis on met l'échantillon dans une étuve à 105°C pendant une heure.

Ensuite, on le laisse refroidir dans un dessiccateur pendant 30 minutes. Après on le repese P2, la relation ci-dessous permet d'obtenir le taux d'humidité H (%) relatif pour les différents charbons actifs préparés [84].

4.2.7.3. La Teneur de cendre

Il s'agit de la partie inorganique, inerte, amorphe et inutilisable, présente dans le charbon actif, le taux de cendre est déterminé par la méthode décrite en littérature [128].

Un échantillon de 0.5g de charbon actif est séché dans une étuve à 80 °C pendant 24 heures puis placé dans un creuset en céramique, ce creuset est introduit dans un four réglé à 650 °C est maintenu pendant 3heures à cette température. Après refroidissement à température ambiante on pèse à nouveau le creuset. Le taux de cendre C (%) est calculé comme suit :

$$C(\%) = (P3 - P1) . 100/P2.....4.8$$

Où :

P1 : la masse initiale du charbon actif utilisée en (g).

P2 : la masse du creuset avant carbonisation en (g).

P3 : la masse du creuset rempli après carbonisation en (g)[107] .

4.2.7.4. La densité apparente

La densité apparente est l'ensemble des fractions solides et pores. Elle est déterminée par la méthode de l'éprouvette graduée. On pèse une éprouvette vide. Puis on la remplit avec le solide jusqu' à 100 ml. Ensuite nous avons repesée. La relation suivante permet la détermination de la densité apparente D (%)[105]:

$$D(\%) = (P1 - P0)/1004.9$$

P₁ : le poids de l'éprouvette remplie (g).

P₀ : le poids de l'éprouvette vide (g)

4.2.8. Microscopie électronique a balayage

La microscopie électronique à balayage (MEB) est une technique de microscopie électronique capable de produire des images en haute résolution de la surface d'un échantillon en utilisant le principe des interactions électrons-matière.

Le principe du MEB consiste en un faisceau d'électrons balayant la surface de l'échantillon à analyser qui en réponse réémet certaines particules. Ces particules sont analysées par différents détecteurs qui permettent de reconstruire une image en trois dimensions de la surface.

Les morphologies des échantillons des charbons actifs ont été réalisées au laboratoire a Ouargla à l'aide d'un microscope électronique à balayage (Quanta 600W environnemental ESEM)[109] .

4.2.9. La diffraction des rayons X (DRX)

Cette analyse permet la caractérisation des différentes phases minéralogiques qui constituent l'adsorbant étudiée :

La diffraction des rayons X est aujourd'hui d'une importance capitale dans la détermination de la structure de substances naturelles complexes. Elle constitue aussi un moyen commode et pratique d'identification qualitative des composés [110].

4.2.10. La fluorescence x (frx)

La spectrométrie de fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire globale permettant d'identifier et de déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent un échantillon. Cette technique peut être utilisée pour des matériaux très variés (minéraux, céramiques, ciments, métaux, huiles, eau, verres...) sous forme solide ou liquide, avec des résultats précis et surtout reproductibles [111].

4.2.11. La spectroscopie infrarouge

La spectroscopie est l'une des méthodes les plus utilisées par les chimistes. Elle consiste en la mesure de l'absorption de différentes fréquences IR par un échantillon traversé par un faisceau IR. Le but principal de cette technique est la détermination des groupes fonctionnels présents dans l'échantillon [84].

La spectroscopie infrarouge par transformée de Fourier est une technique d'analyse qui est liée aux propriétés de vibration des liaisons interatomiques. La méthode consiste à irradier l'échantillon par un rayonnement infrarouge. Quand la fréquence du rayonnement correspond à une fréquence de vibration des molécules exposées, il se produit un phénomène d'absorption. Ceci se traduit par un pic d'absorption sur le spectre en absorbance [113].

4.3. Caractérisation de charbon actif préparé

Les charbons actifs sont des produits carbonés, non dangereux traités ayant une structure poreuse et une grande surface.

Dans cette partie on détermine les caractéristiques physico-chimique et texturale de charbon actif préparé :

4.3.6. Les caractéristiques physico- chimiques

4.3.6.1. PH

Les pH des différents charbons actifs préparés sont rassemblés dans le tableau les valeurs sont comprises entre 5 et 7 . Des quantités résiduelles de l'acide phosphorique après le lavage seraient à l'origine de ces valeurs de pH.

4.3.6.2. Le taux d'humidité H (%)

Les taux d'humidité H(%) des différents charbons actifs préparés par l'activation chimique par l'acide phosphorique sont présentés dans le tableau

4.3.6.3. Le teneur de cendre C (%)

Les teneurs de cendre C (%) des charbons actifs sont rassemblés dans le tableau

4.3.6.4. La densité apparente D (%)

Les densités des charbons actifs ont été mesurées par la méthode décrite dans le chapitre précédent, les résultats sont rassemblés dans le tableau .

Tableau 01 : Caractérisations physicochimiques de charbons actif

	PH	Densité	Taux humidité (%)	Teneur de cendre (%)
C.A	7.15	0.585	0.057	95.95

4.3.7. Caractérisation de la texture de charbon actif

La texture de charbon actif est définie par sa surface spécifique, son volume poreux, la forme de ses pores ainsi que la distribution de la taille des diamètres poreux. L'approche utilisée pour caractériser la texture poreuse des matériaux repose sur l'analyse des isothermes d'adsorption et de désorption. Cependant pour plus de détails sur la morphologie des particules, il est nécessaire de compléter l'analyse par microscopie électronique à balayage MEB.

4.3.7.1. Microscopie électronique à balayage (MEB)

L'image de microscopie électronique à balayage de la surface externe des charbons actifs préparés à partir des noyaux des dattes de la région d'El-Menia présentée sur les figures 4.3, 4.4.

Les images de MEB (obtenues par diffusion des électrons secondaires à une échelle de 100 et 50 μm) de la surface de charbon actif préparé à base des noyaux des dattes variété el-Ghars de la région d'El-Menia montre que la surface de cette dernière est bien développée avec une structure poreuse et homogène.

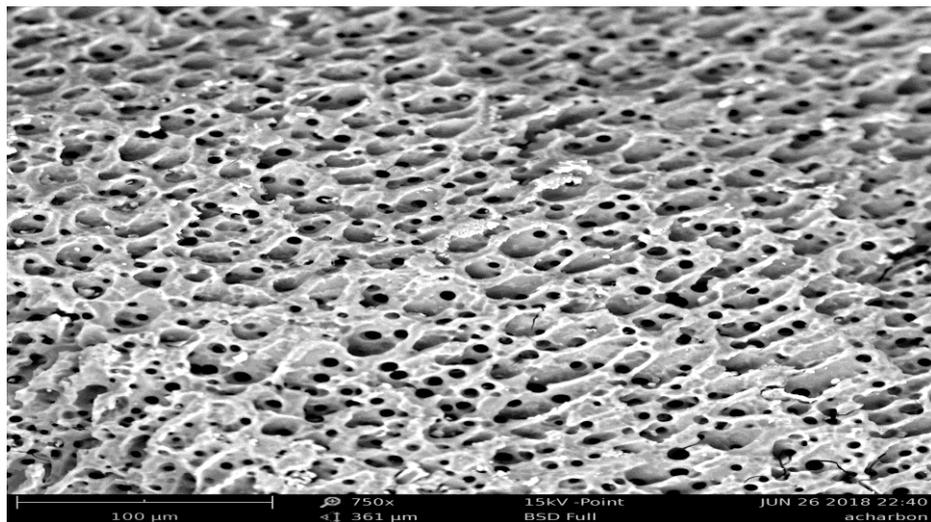


Figure 4.3 : Image MEB de Charbon actif à partir des noyaux des dattes d'El-Menia a 100 μm

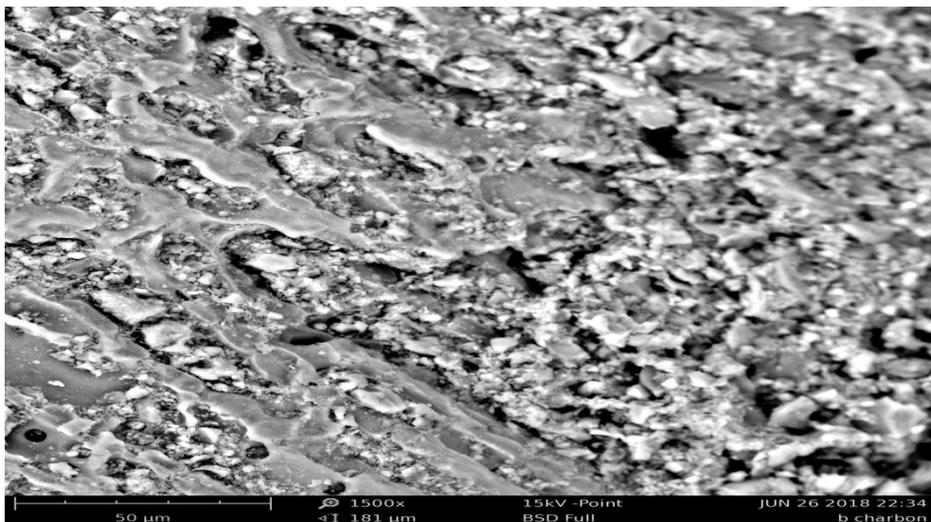


Figure 4.4 : Image MEB de Charbon actif à partir des noyaux des dattes d'El-Menia a 50 μm

4.3.7.2. Analyse structurale par (DRX):

Cette analyse permet la caractérisation des différentes phases minéralogiques qui constituent l'adsorbant étudiée :

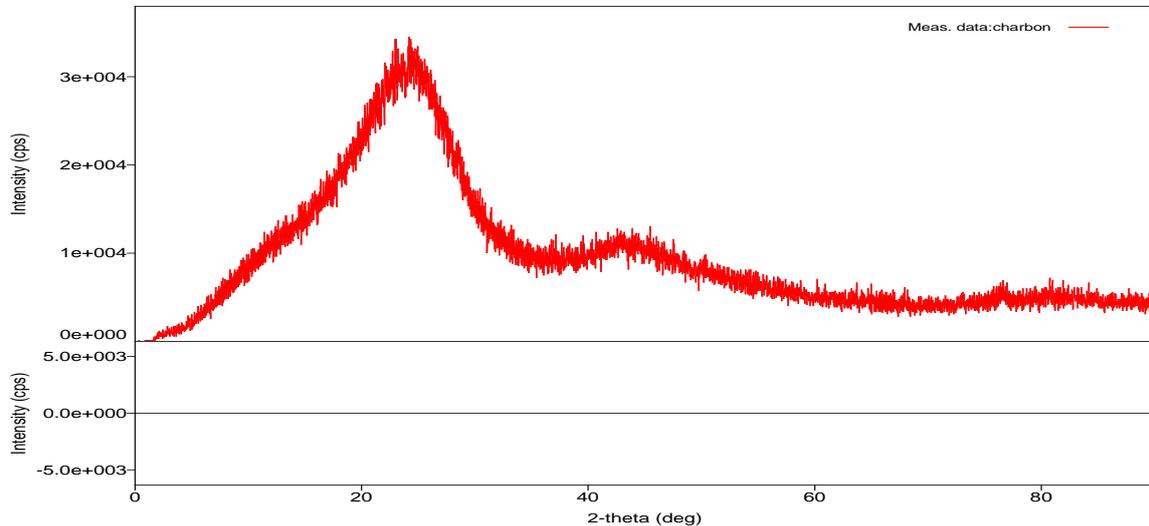


Figure 4.5 : Spectre DRX de charbon

L'analyse radiocristallographie de notre matière est effectuée par diffraction des rayons X à la température ambiante à l'aide d'un enregistrement rapide. Les résultats de notre analyse par DRX est présenté dans la figures 4.5.

Le diffractogramme obtenu Montre que notre matière a une structure amorphe et une faible cristallinité des échantillons.

Le pic présent dans environ $2\theta = 25.05^\circ$ et $2\theta = 43.5^\circ$ est en accord avec la structure du noir du carbone, Ce pic montre la présence de noir du carbone activé par l'activant (acide phosphorique H_3PO_4) [114].

Le pic $2\theta = 25.05^\circ$ correspond à la structure de couche hautement organisé de graphite [115]. Dans le même temps il y a des signaux de bruit correspondant à la poudre du charbon actif, révélant une structure essentiellement amorphe de charbon actif. Ce résultat peut être expliqué par le fait de la réaction de carbonisation de composés organiques consiste en la rupture des liaisons chimiques avec la température et la condensation en outre en composés actifs. Ces composés forment des couches de plans graphitiques typiques au cours de la carbonisation [116].

4.3.7.3. Analyse par spectroscopie infra rouge (IRTF)

Analyse par spectroscopie infra rouge (IRTF) La technique IRTF est indispensable pour l'identification des constituants des charbons actifs préparés. Les spectres d'analyse par infrarouges de charbon actif préparé est représenté sur la figures 4.6 .

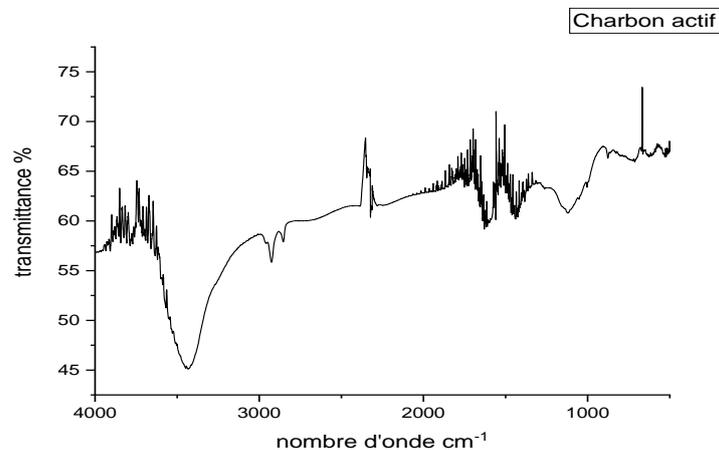


Figure 4.6 : Spectre IR de charbon

- Les bandes observées entre 2800 et 3000 cm^{-1} correspondent à la vibration de valence symétrique et asymétrique des liaisons C-H présentes dans les groupements alkyles, par exemple les groupements méthyles et méthylène [117, 118].
- Les bandes observées dans l'intervalle 2250-2400 cm^{-1} peuvent être attribuées à la vibration de la valence asymétrique du CO_2 [116], ou peuvent correspondre à la vibration de la triple liaison des nitriles, $\text{C}\equiv\text{N}$ [120].
- Les bandes observées dans l'intervalle 1500-1800 cm^{-1} sont attribuées à la vibration des liaisons doubles des groupements carbonyle « $\text{C}=\text{O}$ » présents dans des esters, aldéhydes, groupes cétone et des dérivés acétyles et des aromatiques $\text{C}=\text{C}$ [121].
- Les bandes observées dans l'intervalle 1000-1500 cm^{-1} peuvent être attribuées à la vibration des liaisons simples comme C-O des alcools [119], des esters et éthers.

4.3.7.4. Analyse par FRX (fluorescence des rayons X)

On peut remarquer à partir du Tableau 4.2 que l'essentiel de la matière carbonisée ou activée c'est du carbone. Le pourcentage élevé de cet élément (supérieur à 71.6%) Ceci traduit une bonne structure pyrolyse de charbon actif préparé.

La présence d'un faible pourcentage d'élément phosphore (égale à 0.655%) ne peut pas être expliquée par le résidu de lavage de H_3PO_4 mais est due aux atomes de phosphore liés à la

surface de l'oxygène, ou aux atomes de carbone en raison de la réaction de l'acide phosphorique avec ces éléments durant l'activation [81].

Tableau 4.2. tableau des analyses élémentaire

%	C	O	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Fe	Zn
C.A	71.6	26.9	0.193	0.0249	0.0416	0.655	0.127	0.0780	0.265	0.0842	0.0161	0.0145

CHAPITRE 05

Les essais d'adsorption

5.1. Introduction

D'après les analyses effectuée sur les eaux de lac d'El-Menia nous avons remarqué une pollution par les métaux lourds tel que : le plomb, le cadmium.

La principale cause de ces polluants c'est les eaux rejetées dans ce lac, de ce a nous avons proposé de traité les eaux rejetées de lac par le charbon actif préparé a base des noyaux des dattes.

La qualité de rejet est caractériser par une concentration de plomb= 0.6 mg/l et une concentration de cadmium =0.12 mg/l et avec un Ph =7.5 et une température = 20 C°, nous avons étudié les facteurs suivants :

L'influence de la masse d'adsorbant, le temps de contact, la température, le Ph, La vitesse d'agitation.

5.1.1. Influence de la masse de l'adsorbant

Afin d'étudier l'influence de la masse des charbons sur l'adsorption de plomb et de cadmium, on utilise différentes masses de charbon actif 0.1 à 1g dans 100 mL d'eau usée. La solution est maintenue sous l'agitation de 500 tr/min, pendant 60 minutes. Les valeurs de plomb et de cadmium initiale pour le charbon actif sont ($C_{0\text{plomb}} = 0.6 \text{ mg/l}$), ($C_{0\text{cadmium}} = 0.12 \text{ mg/l}$). Les rendements sont rassemblés dans le tableau:

TABLE5.1: Influence de la masse de charbon actif sur l'adsorption de plomb.

Masse de charbon(g)	R %
0,1	84,4
0,2	92,63
0,4	95,2
0,6	96,03
0,8	96,4
1	96,4

TABLE5.2: Influence de la masse des charbon actif sur l'adsorption de cadmium.

Masse de charbon (g)	R%
0,1	24,92
0,2	33,17
0,4	33,83
0,6	37,83
0,8	38,92
1	38.76

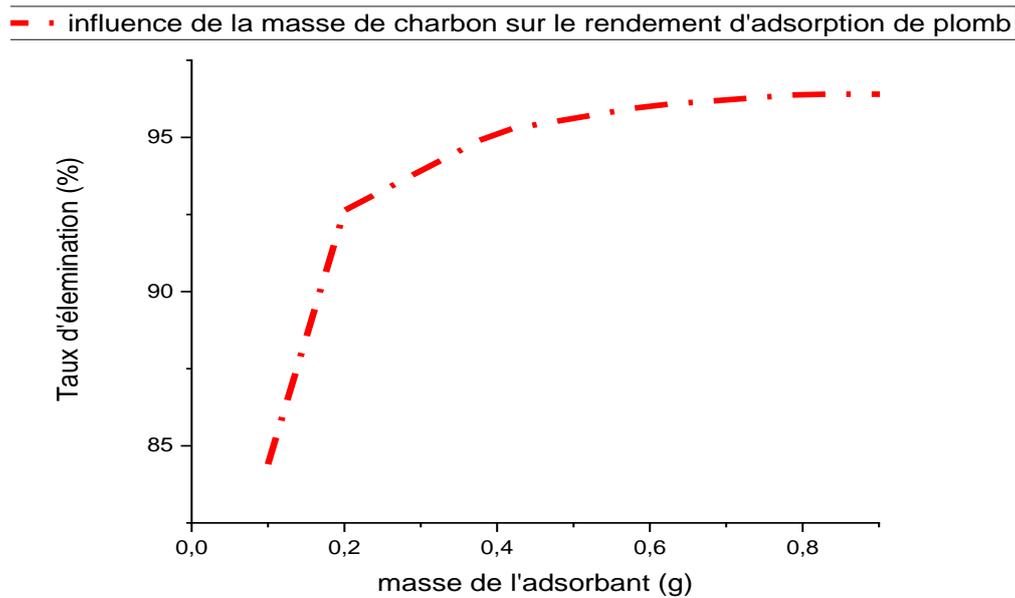


FIGURE 5.1: Influence de la masse de charbon actif sur l'adsorption de plomb.

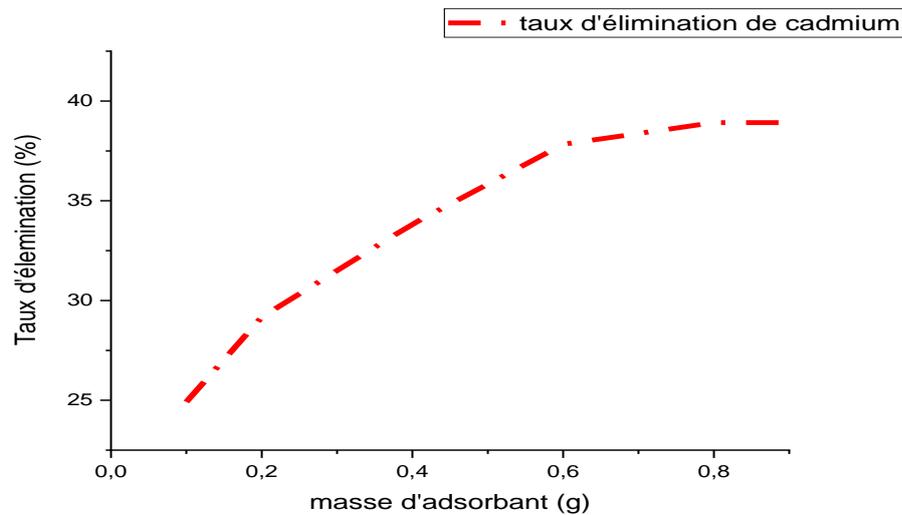


FIGURE 5.2 : Influence de la masse de charbon actif sur l'adsorption de cadmium.

L'étude de l'effet de la concentration du charbon actif sur le processus d'adsorption montre qu'une concentration de 0,8 g/100 ml du charbon actif préparé permet une élimination maximale des deux métaux étudiés (Pb, et Cd). L'augmentation de la concentration du charbon actif de 0,1g/100 ml à 0,8 g/100 ml conduit à l'augmentation du taux d'élimination des deux métaux lourds. Lorsque la concentration du charbon actif dépasse 0,8 g/100 ml, la quantité adsorbée reste pratiquement constante.

Le taux d'élimination du plomb passe de 84.4 à 96.4% et de 24.91 à 38.91% pour le cadmium et cela pour des masses du charbon allant de 0.1g à 0.8g. Ce phénomène s'explique par l'augmentation de nombre de sites actifs intervenant dans le phénomène d'adsorption avec l'augmentation de la masse de charbon actif mise en contact avec la même quantité d'adsorbat [124,126].

La quantité maximale adsorbée est constatée pour une dose de charbon actif de 0.8g/100 ml,

5.1.2. Influence de temps de contact

L'étude de l'influence du temps de contact est réalisée sous les conditions expérimentales suivantes : volume d'eau usée = 100 ml, vitesse d'agitation = 500 tr / min, masse de charbon = 0.8 g et pH = 7.5, Le plomb et le cadmium sont mesurées pour les temps de contact de 10 minutes à 180 minutes.

Pour bien cerner l'influence du temps de contact pour le charbon actif sur l'adsorption du plomb et cadmium, nous avons tracées les courbes de rendement d'adsorption du plomb et de cadmium en fonction du temps du contact qui présente dans les figures 5.3,5.4 suivantes:

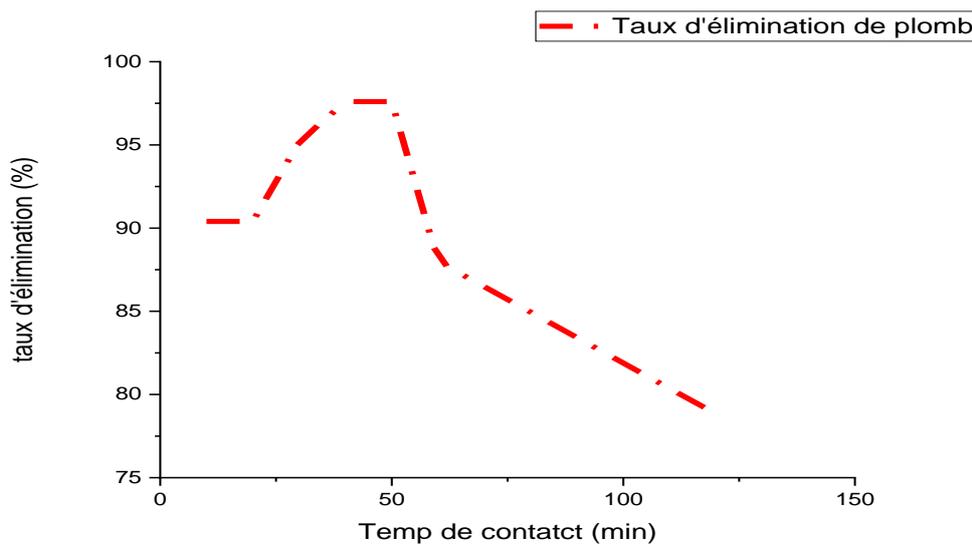


FIGURE 5.3: Influence de temps de contact sur l'adsorption de plomb.

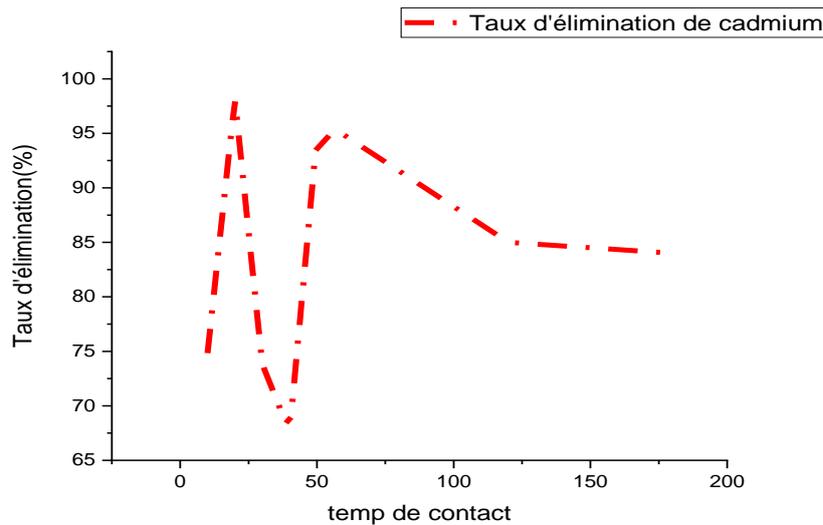


FIGURE 5 .4: Influence de temps de contact sur l'adsorption de cadmium.

Les courbes tracées montrent que l'équilibre est rapidement atteint pour les deux métaux. L'adsorption est très rapide au début du contact entre l'adsorbé et l'adsorbant suite à l'existence d'un nombre important de sites libres. La fixation des métaux lourds devient de plus en plus lente au fur et à mesure que les sites d'adsorption se remplissent [124].

Le charbon actif montre une bonne performance durant les 50 premières minutes d'adsorption pour le plomb, pour le cadmium le rendement atteint son max 98,16 % dans les 20 premières minutes, puis diminue jusqu'à 67,68 % à 40 minutes, à 50 minutes jusqu'à 60 minutes le rendement relevée à 94,8 % avec une quantité absorbée de 14,225 mg/g. Ceci signifie que la résistance de transfert de masse du plomb et du cadmium sur la surface d'adsorption est faible [125].

Les quantités maximales adsorbées sont 73,2 mg/g pour le plomb à 50 minutes, et 14,225 mg/g pour le cadmium à 50 minutes.

5.1.3. Influence de la température

Pour l'étude de l'influence de la température sur la quantité des métaux lourds adsorbés, des solutions de 100 ml à différentes températures ont été mises en contact avec 0.1 gramme d'adsorbant et agitées pendant 50 minutes à un pH de 7,5. La figure N° 5.5, 5.6 montre l'évolution du taux d'élimination du plomb et du cadmium en fonction de la variation de la température.

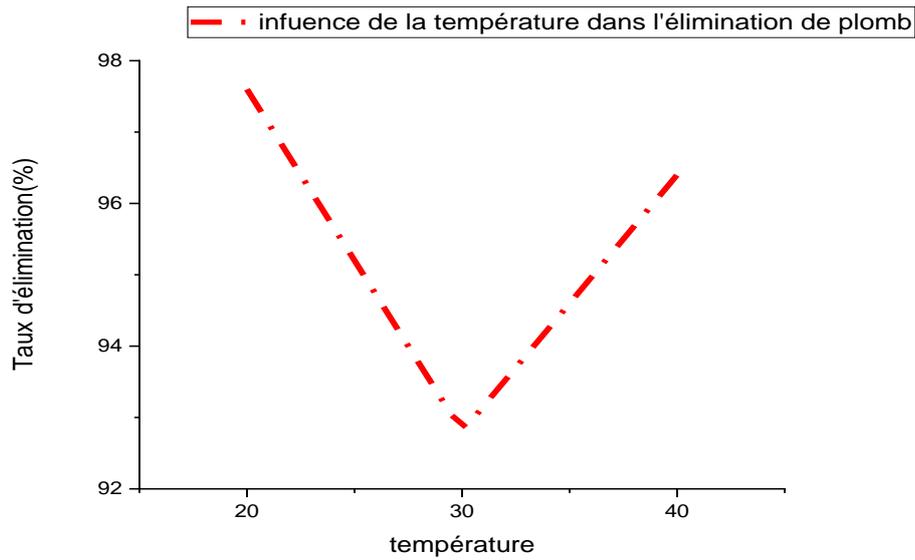


FIGURE 5.5: Influence de la température sur l'adsorption de plomb.

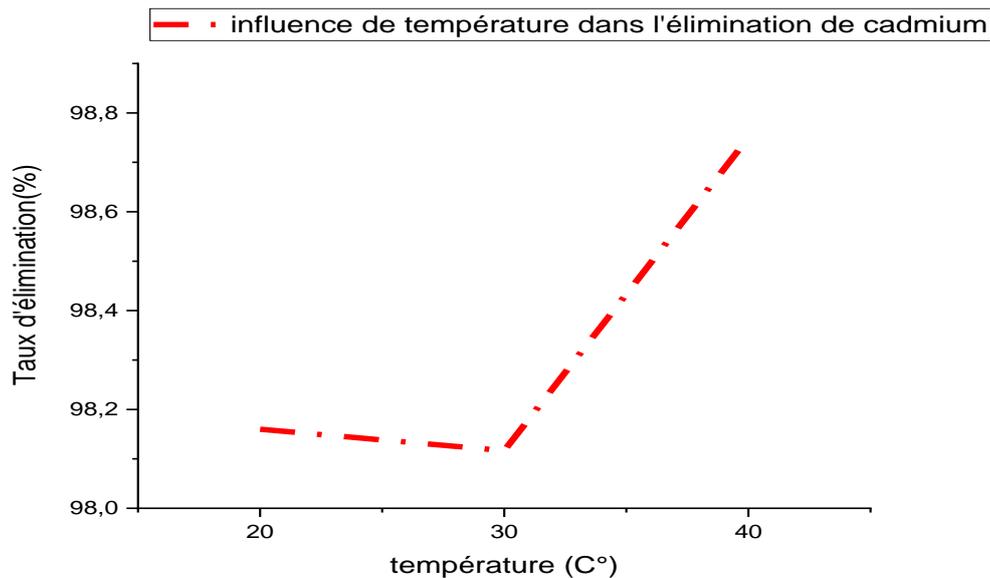


FIGURE 5.6: Influence de la température sur l'adsorption de cadmium.

Une augmentation de la température provoque une diminution du taux d'élimination de plomb (97.9% à 20°C et 93% à 30 minutes) par contre l'augmentation de la température provoque une augmentation de taux d'élimination de cadmium (98.2 % à 20 C° et 98.8 % à 40 C°), ceci confirme que le phénomène d'adsorption est exothermique.

5.1.4. Influence de PH

Le pH est un paramètre essentiel à prendre en compte dans les processus d'adsorption, ce paramètre agit à la fois sur la solubilité et sur l'état d'ionisation de l'adsorbant.

Les pH acides et basique sont obtenus par addition d'une solution d'acide nitrique HNO_3 de 0.1N et l'autre par ajout d'une solution d'hydroxyde de sodium 0.1N.

D'après les figure (5.7, 5.8), Les concentration de plomb et de cadmium de départ sont 0.6 mg/l ,0.12 mg/l respectivement, temps de contact = 50 min, masse de l'adsorbant = 0.8 g, vitesse d'agitation = 500 tr/min et la température ambiante= 20 C°, le volume d'eau usée = 100 ml.

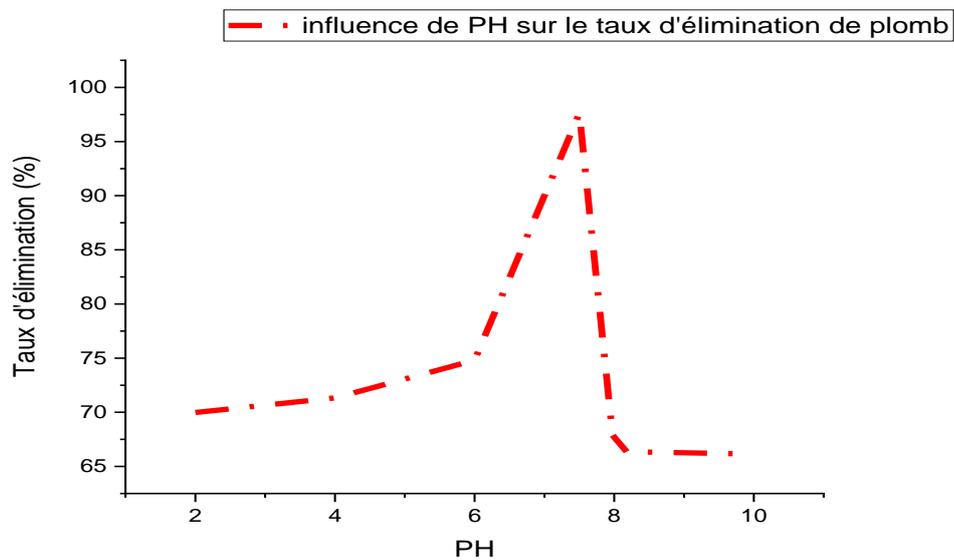


FIGURE 5.7: Influence de PH sur l'adsorption de plomb.

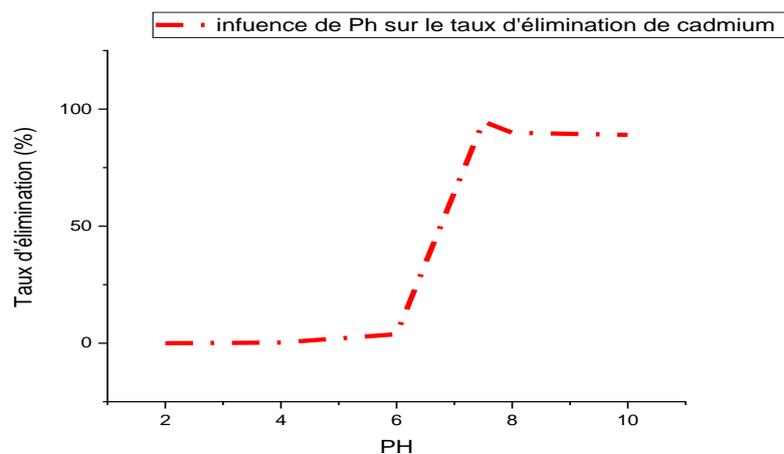


FIGURE 5.8: Influence de PH sur l'adsorption de cadmium

Les résultats obtenus montrent que le taux d'élimination des métaux augmente avec l'augmentation des valeurs du pH jusqu'à atteindre un maximum à un pH égal à 7.5 puis la quantité s'adsorbée décline un peu et stabilise.

5.1.5. Influence de la vitesse d'agitation

Il s'avère très important de déterminer la vitesse optimale d'agitation d'adsorption des polluants sur le charbon actif. Pour ce faire nous avons effectués l'adsorption pour des vitesses d'agitation allant de 50 à 950 tr/min dans les conditions opératoires Suivantes : temps de contact = 50 minutes, pH = 7,5, masse de l'adsorbant = 0.8 g, volume d'eau usée = 100 ml et à température ambiante moyenne (20 °C).

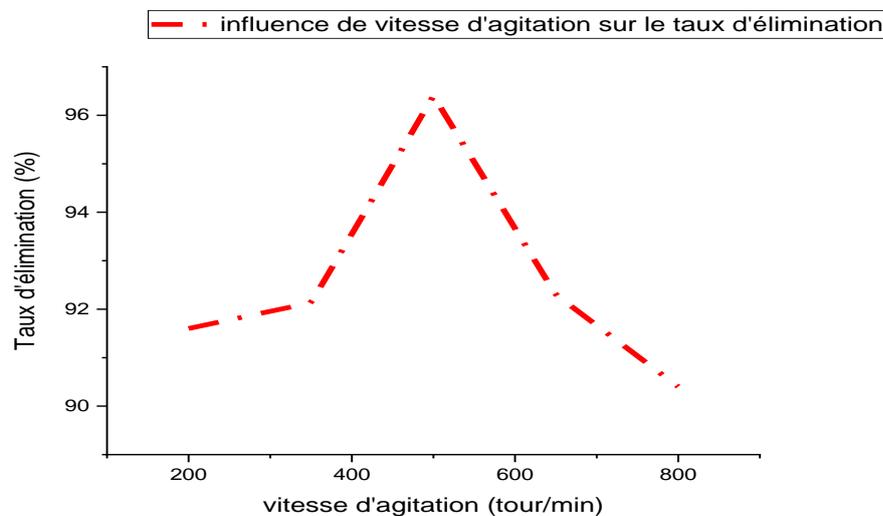


FIGURE 5.9: Influence de la vitesse d'agitation sur l'adsorption de Plomb

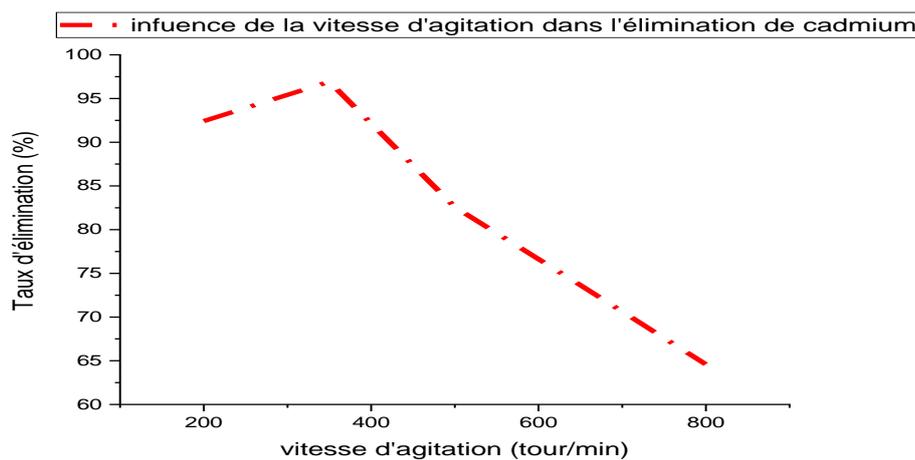


FIGURE 5.10: Influence de la vitesse d'agitation sur l'adsorption de cadmium

D'après les résultats des figures 5.9 et 5.10, nous remarquons que le rendement d'adsorption augmente de 91,6% avec la vitesse d'agitation 200 tr/min jusqu'à 97.6% avec la vitesse d'agitation 500 tr/min , après cette vitesse une diminution négligeable égale a 90.4 % a 800 tr/min pour le plomb ,pour le cadmium avec la vitesse d'agitation de 200 tr/min le rendement est supérieure à 92.5 %,après cette vitesse le rendement d'adsorption a été diminué jusqu'a 64.58 % a 800 tr/min.

La vitesse d'agitation est une condition d'opération physique qui n'est pas en relation avec la nature chimique d'adsorbant utilisé, le rôle de l'agitation est juste d'homogénéiser la répartition des particules en suspension dans la phase liquide.

On obtenue une vitesse optimale 200 tr/min pour le plomb et le cadmium.

5.1.6. Etude comparative entre la capacité adsorbant du charbon actif issu de noyaux des dattes et d'un charbon actif commercial

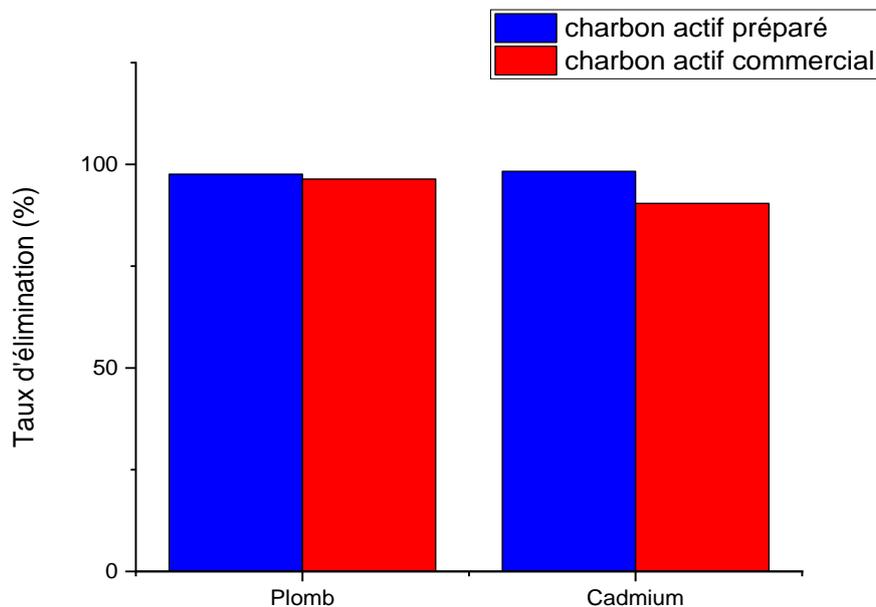


FIGURE 5.11: comparaison entre la capacité adsorbant de plomb et de cadmium entre un charbon actif commercial et un charbon actif issu des noyaux des dattes

La capacité d'adsorption a été testée en présence de deux charbons; actif issu de noyaux de dattes et actif commercialisé.

Les essais ont été effectués aux conditions optimales établies dans le travail précédent.

Au regard de ces résultats, le charbon actif fabriqué à partir de noyaux de dattes a montré une efficacité plus bonne que celle du charbon commerciale.

En effet les noyaux des dattes constituent une source magnifique pour la production d'un charbon actif efficace pour l'élimination des métaux lourds.

5.2. Modélisation des isothermes d'adsorption

Dans le but de modéliser les isothermes d'adsorption des métaux étudiés sur le charbon actif préparé, nous avons exploité les modèles classiques de Langmuir, Freundlich, Temkin .

Nous avons établi l'isotherme simple d'adsorption de plomb et le cadmium dans les conditions opératoires suivantes :

- Le temps de contact : 60 minutes.
- La masse de charbon entre 0.1 a 1 g.
- Le pH : 7.5.
- La vitesse d'agitation : 500 tr/min.
- La température 20 C°.

5.2.1. Isotherme de Langmuir

Les caractéristiques essentielles d'isotherme de Langmuir peuvent être exprimées en termes de facteur constant (sans dimension) de séparation ou paramètre d'équilibre RL qui est utilisé pour prédire si un système d'adsorption est "favorable" ou "défavorable".

Le facteur de séparation comme nous avons décrit dans le chapitre 4, pour évaluer le type optimal de Langmuir qui a été le grand coefficient de corrélation R^2 on applique les cinq équations linéaires de Langmuir, les figures suivantes présentent les différents types de modèle de Langmuir.

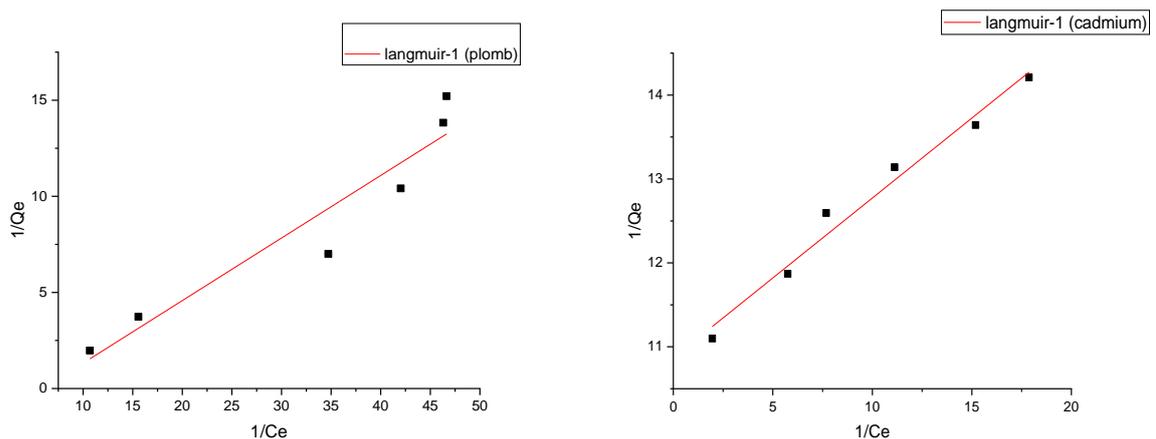


Figure 5.11. Application du modèle de Langmuir-1 à l'adsorption des deux métaux sur le charbon actif préparé.

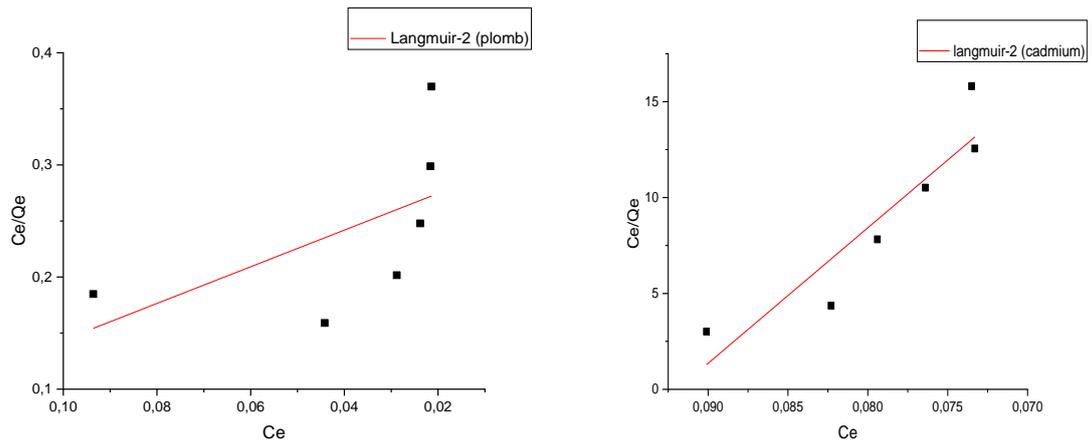


Figure 5.12 Application du modèle de Langmuir-2 à l'adsorption des deux métaux sur le charbon actif préparé.

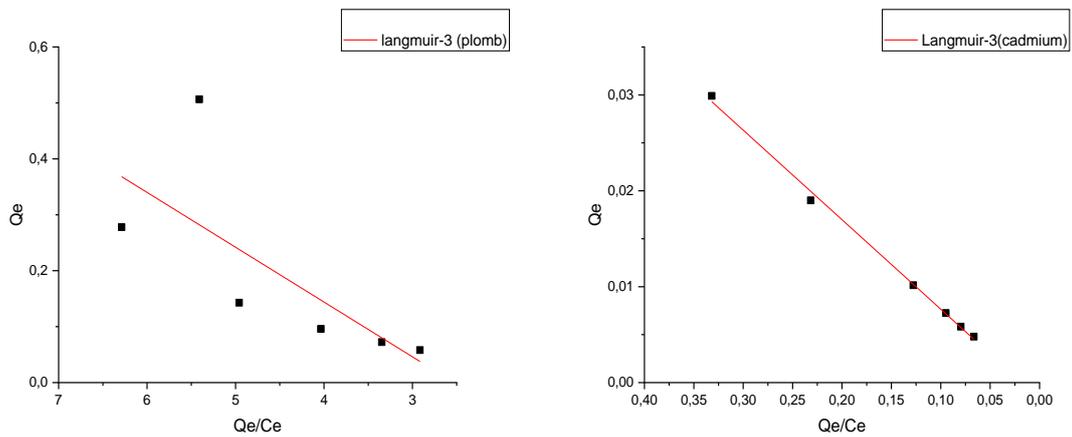


Figure 5.13 : Application du modèle de Langmuir-3 à l'adsorption des deux métaux sur le charbon actif préparé.

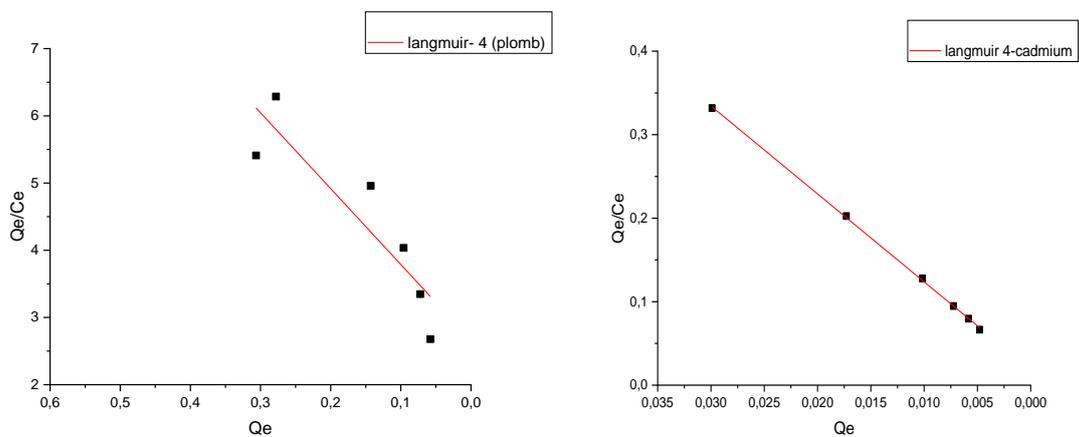


Figure 5.14 : Application du modèle de Langmuir-4 à l'adsorption des deux métaux sur le charbon actif préparé.

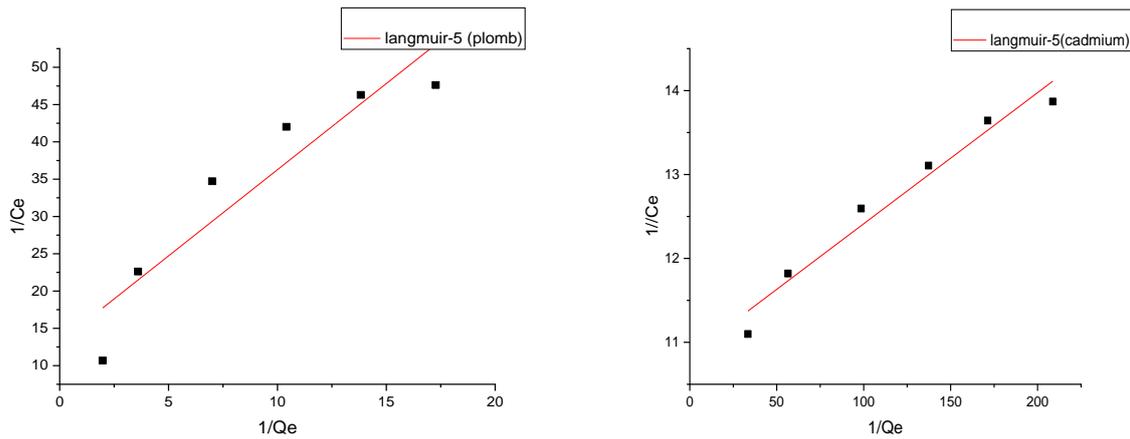


Figure 5.15 : Application du modèle de Langmuir-5 à l'adsorption des deux métaux sur le charbon actif préparé.

Les paramètres des 5 formes de la régression linéaire du modèle de Langmuir appliqué sur l'adsorption des deux métaux sur le charbon actif sont regroupés dans le tableau suivant :

TABLE5.3: Résultats de la modélisation des isothermes d'adsorption du plomb, cadmium sur le charbon actif par le modèle de Langmuir.

	Plomb	Cadmium
<p>Langmuir-1</p> $1/q_e = 1/b \cdot q_m \cdot 1/C_e + 1/q_m$	<p>$R^2=0.34$</p> $Y=0.32x+2.63$ <p>Q max=0.38 mg/g</p> <p>b=8.234</p> <p>R1=0.16<1.</p>	<p>$R^2=0.97$</p> $Y=5.771x+103.6$ <p>qmax=0.009 (mg/g)</p> <p>b=0.94</p> <p>R1=0.50<1.</p>
<p>Langmuir -2</p> $C_e/q_e = 1/q_m \cdot C_e + 1/q_m \cdot b$	<p>$R^2=0.82$</p> $Y=1.0637 \cdot C_e + 0.263$ <p>Q max=0,96 mg/g</p> <p>b=3.81</p> <p>R1=0.30</p>	<p>$R^2=0.84$</p> $Y=104.8 \cdot C_e + 5.87$ <p>Qmax=0.009 mg/g</p> <p>b=20</p> <p>R1=0.29</p>
<p>Langmuir-3</p> $q_e = -1/b \cdot q_e/C_e + q_m$	<p>$R^2=0.59$</p> $Y=0.166x+0.5198$ <p>Qmax=0.5198 mg/g</p> <p>b=6.024</p> <p>R1=0.21<1</p>	<p>$R^2=0.99$</p> $Y=0.055x+0.0098$ <p>Qmax=0.0098</p> <p>B=18.18</p> <p>R1=0.31</p>

Langmuir-4 $Q_e/C_e = -b.q_e + b.q_m$	$R^2=0.81$ $Y= 3.603 x+3.7$ $Q_{max}=1.02(\text{ mg/g})$ $b=3.6$ $R_l=0.31$	$R^2=0.99$ $Y=18 x+0.17$ $B=18.01$ $Q_{max}=0.0094$ $R_l=0.316$
Langmuir-5 $1/C_e = b.q_m/.1/q_e - b$	$R^2=0.82$ $Y=2.927 x-8.3$ $Q_{max}=0.35 (\text{ mg/g})$ $b=8.306$ $R_l=0.16<1.$	$R^2=0.96$ $Y=0.169 x+17.81$ $Q_{max}=0.0094$ $B=17.81$ $R_l=0.32<1 .$

La modélisation des isothermes d'adsorption des deux métaux sur le charbon actif préparé par les cinq formes de régression linéaire du modèle de Langmuir a conduit à des coefficients de régression (R^2) et des facteurs de séparation différents.

Les meilleurs résultats ont été obtenus avec la forme Langmuir-5 pour le système plomb-charbon avec une valeur de $R^2=0.82$ et un facteur de séparation de 0,16.

Dans le cas de l'adsorption du cadmium, la forme Langmuir 3 et 4 permet une meilleure modélisation du système avec un coefficient de corrélation de 0.99 et un facteur de séparation de 0.29.

Les isotherme de Langmuir sont caractériser par une forte coefficient de corrélation R^2 (0.82 pour le plomb et 0.99 pour le cadmium, et des facteurs de séparation <1 ce qui traduit une adsorption favorable [123].

5.2.2. Le modèle de Freundlich

Les figures représentent le tracé de $\ln(q_e)$ en fonction de $\ln(C_e)$. Les tracés permettent de déterminer K_f et $1/n$ (l'ordonnée à l'origine représente $\ln(K_f)$ et la pente ($1/n$)).

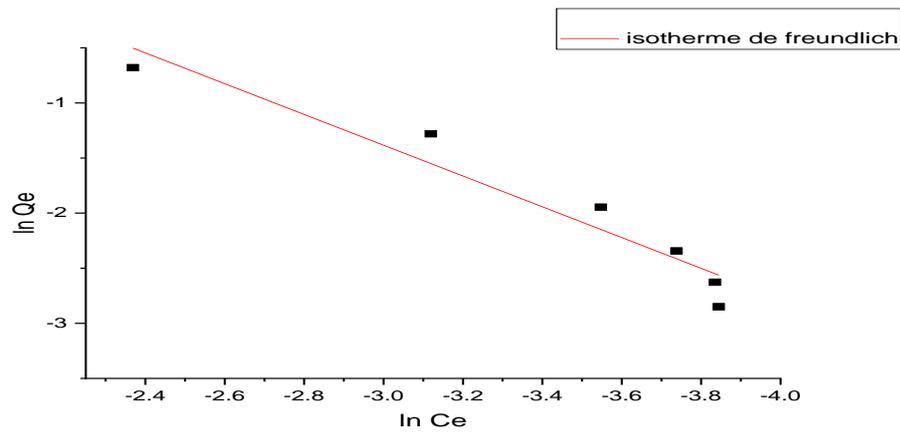


Figure5.16 : Application du modèle de freundlich à l'adsorption de plomb sur le charbon actif préparé.

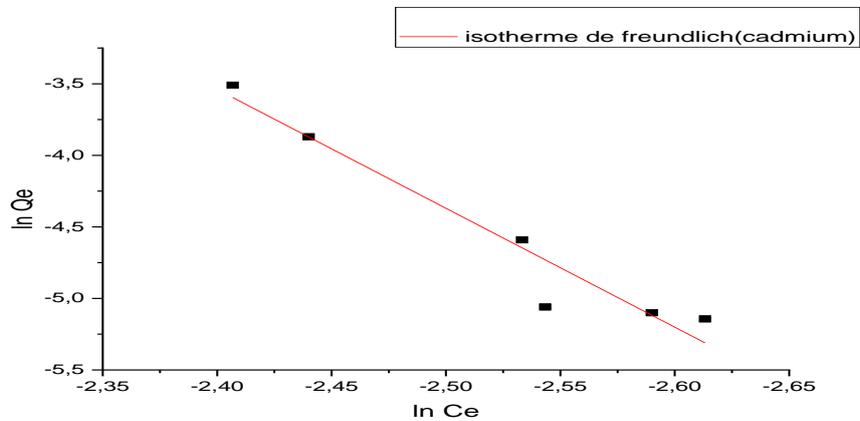


Figure 5. 17 :Application du modèle de Freundlich à l'adsorption des cadmium sur le charbon actif préparé

TABLE5.4: Résultats de la modélisation des isothermes d'adsorption du plomb, cadmium sur le charbon actif par le modèle de freundlich.

	PLOMB	Cadmium
Freundlich	1/n=0.95	1/n=0.97
$Ln qe = ln(Kf) + (1/n) \cdot ln(Ce)$	Kf=5.95	Kf=1.21
	R ² =0.93	R ² =0.94

La modélisation des isothermes d'adsorption des systèmes étudiés par le modèle de Freundlich a permis d'aboutir à des valeurs de coefficient de corrélation importantes. Elle varie de 0.97 pour la modélisation du système plomb-charbon actif à 0.99 pour le système Cadmium-charbon actif.

Les valeurs de $1/n$ trouvées sont toute inférieures à 1 et oscillant dans l'ensemble entre 0,95 pour le plomb et 0,97 pour le cadmium, démontrant ainsi qu'il s'agit d'isothermes de type L (ou H dans le cas du plomb puisque la valeur de $1/n$ est la plus faible).

5.2.3. Modèle de temkin

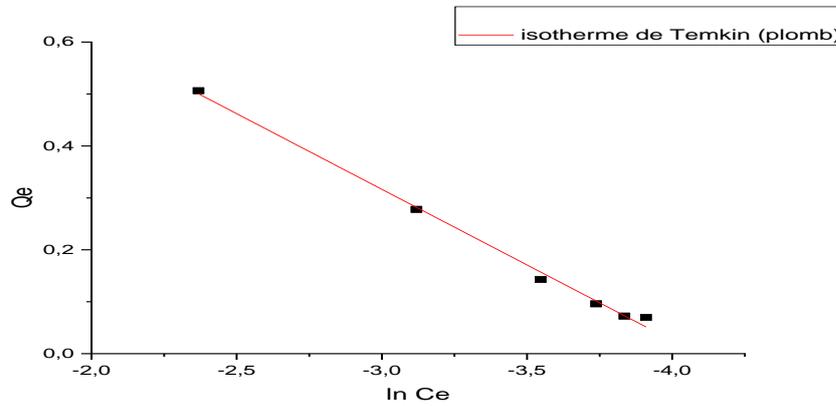


Figure 5.18 Application du modèle de Temkin à l'adsorption de plomb sur le charbon actif préparé.

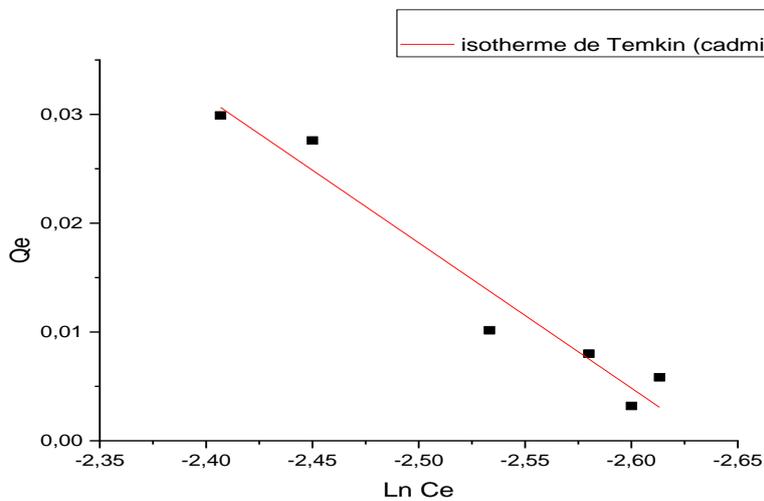


Figure5.19 : Application du modèle de Temkin à l'adsorption de cadmium sur le charbon actif préparé.

TABLE5.5: Résultats de la modélisation des isothermes d'adsorption du plomb, cadmium sur le charbon actif par le modèle de Temkin.

	Plomb	Cadmium
Temkin	B=0.543 A=28.78 b=306.22 R ² =0.99	B=0.037 A=21.98 b=4490 R ² =0.95

Le modèle de Temkin de sa part montre des fortes valeurs de coefficient de corrélation.

A partir de ces résultats, nous déduisons que tous les modèles montrent des forts coefficients de corrélation la différence juste dans les facteurs de séparation.

Le modèle le plus représentatif des isothermes d'adsorptions du plomb et du cadmium sur le charbon actif est le modèle de Langmuir qui suppose une adsorption en monocouche sur des sites actifs d'affinités similaires, confirmant ainsi l'allure des isothermes pour tous les métaux.

5.3. Modélisation de la cinétique d'adsorption

L'équilibre thermodynamique entre l'adsorbat en phase liquide et l'adsorbat fixé sur le solide est atteint avec une vitesse qui dépend non seulement de la vitesse avec laquelle les constituants diffusent dans l'adsorbant et dans le fluide mais aussi de l'interaction adsorbant-adsorbat. L'étude en fonction du temps de l'adsorption d'un composé sur un adsorbant nous permet d'examiner l'influence du temps de contact sur sa rétention. Dans cette partie, le mécanisme de la cinétique d'adsorption de plomb et de cadmium a été modélisé par les modèles suivantes : pseudo-premier et second ordre.

5.3.1. Pseudo premier ordre

Le modèle cinétique du pseudo ordre (Lagergren) est vérifié, en portant $\ln(Q_e - Q_t)$ en fonction du temps (figure 5.20), pour le charbon actif, l'intégration de l'équation de pseudo premier ordre permet d'obtenir la droite de pente $(-K_1)$

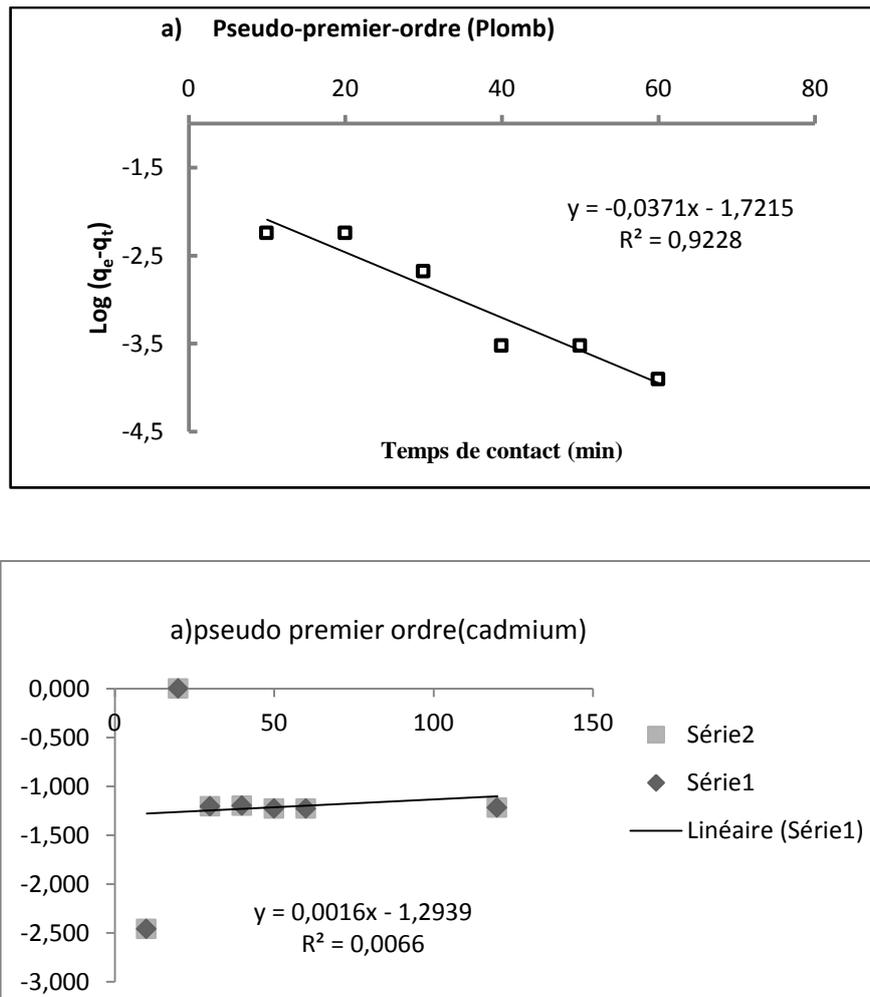


Figure 5.20 : pseudo premier ordre pour le plomb et le cadmium

Les constantes du pseudo-premier ordre ont été déterminées par extrapolation du tracé de $\text{Ln}(Q_e - Q_t)$ en fonction de temps t . Les valeurs des quantités adsorbées Q_e , les constantes de pseudo-premier ordre k_1 et les coefficients de régression R^2 pour pour le charbon actif préparé est dans le tableau :

5.3.2. Pseudo second ordre

Ce modèle basé sur l'équation linéaire t/Q_t en fonction du temps. Le graphique de relation linéaire de t/Q_t en fonction de t .

pour l'adsorption de plomb sur le charbon actif préparé est représenté dans la figure 5.21 Les paramètres K_2 , Q_e ont été obtenues à partir la pente et l'interception des courbes et citées dans le tableau .

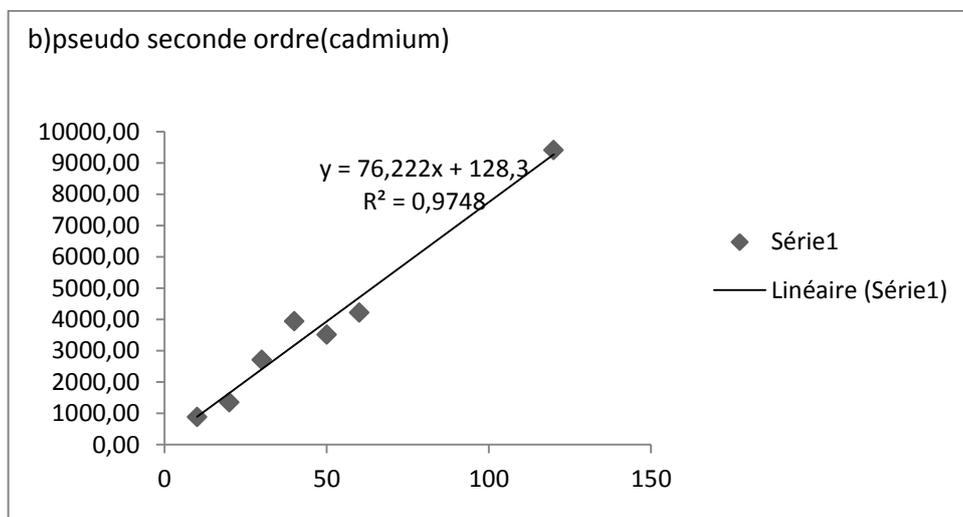
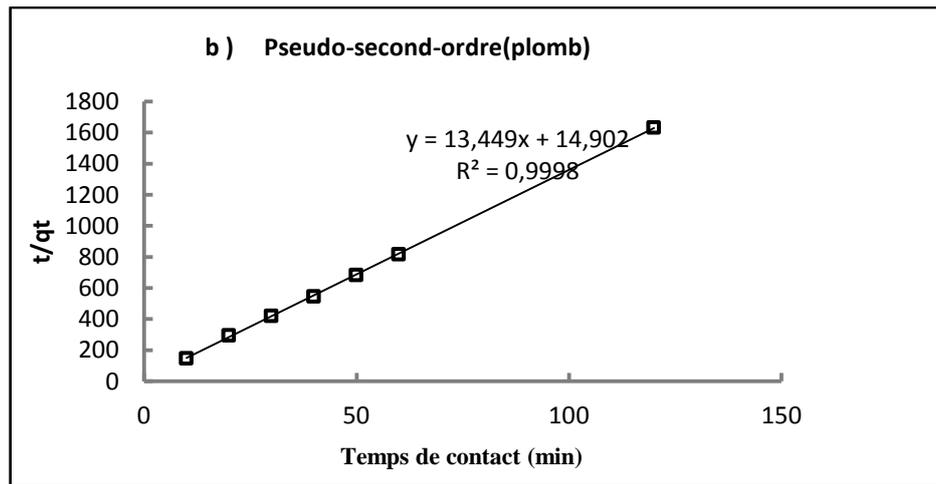


Figure 5.21. pseudo seconde ordre pour le plomb et le cadmium

TABLE5.6: Résultats de la modélisation des cinétiques d'adsorption du plomb, cadmium sur le charbon actif par le modèle pseudo premier ordre et pseudo seconde ordre.

	Pseudo premier ordre $\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$	Pseudo seconde ordre $t/qt = 1/k_2 \cdot q_e^2 + 1/q_e \cdot t$
plomb	$R^2=0.92$ $K=0.0085$ $Q_{max}=0.96\text{mg/g}$	$R^2=0.99$ $K=13.60$ $Q_{max}=0.074\text{ mg/g}$
Cadmium	$R^2=0.006$ $K=0.002$ $Q_{max}=1.001\text{mg/g}$	$R^2=0.97$ $K=50$ $Q_{max}=0.013\text{mg/g}$

Les résultats obtenus montrent que le modèle de second ordre décrit mieux le processus d'adsorption de tous les systèmes étudiés. Ce modèle présente un facteur de corrélation très élevé ($R^2 > 0.97$ pour tous les systèmes étudiés). Nous remarquons aussi que les quantités adsorbées calculées par ce modèle sont très proches des quantités adsorbées déterminées expérimentalement est caractérisé par un coefficient de corrélation très proches de 1.

CONCLUSION

Conclusion

Dans le cadre de la valorisation et la protection des ressources naturelles dans les régions sahariennes, notre travail porte sur l'étude de la ressource hydraulique de lac d'El-Menia.

Pour bien valoriser cette zone humide on a divisé notre travail sur deux parties la première sur les caractéristiques physico chimiques des eaux de lac d'El-Menia et la deuxième porte sur la valorisation des noyaux des dattes de la même région dans le traitement des eaux évacuées dans ce lac.

D'après les résultats des analyses physico chimique spatio-temporelles des eaux de lac on a remarque que Les eaux du lac sont confrontées à une pollution d'origines multiples, qu'elle soit naturelle ou anthropique puisqu'elle reçoit directement des rejets.

Les résultats d'analyses montrent que l'eau du lac se caractérise par un pH alcalin et une conductivité très élevée, très dure.

Ainsi que le Lac d'El-Menia est caractérisé par des eaux de type sodium et potassium. Le faciès chimique dominant dans la plupart des points est les chlorures de sodium et les faciès au sulfate de potassium ou de sodium et au chlorure de sodium.

La valeur du rapport DCO / DBO₅ confirme l'impact des eaux de rejets sur la dégradation de la qualité des eaux de lac.

On a pu montrer aussi que les eaux de lac caractériser d'une pollution multiple notons la pollution par des métaux toxiques tel que le plomb, le cadmium et le cobalt qui entraine et joue un rôle principale dans la dégradation de qualité de lac et bien sûr sur la vie des organismes végétaux et animaux.

On a pu montrer aussi une augmentation spatio-temporelle (année 2015/2016/2017/2018) des paramètres de pollution entrainant une baisse de la qualité, qui peut principalement due à l'évaporation.

La présence des métaux toxiques est en grande partie générée par l'homme, en effet les rejets évacuées dans ce lac , pour cela on a proposé une méthode de traitement applicable et efficace dans la dépollution de ces eaux de rejets ,cette méthode consacré a la valorisation des déchets végétaux ou on a préparé un charbon actif a base des noyaux des dattes de la même région étudié (région d'El-Menia).

L'activation de charbon actif a été réalisée chimiquement à l'aide d'acide phosphorique H₃PO₄ concentré (85 %).

La caractérisation des charbons actifs préparés a portée sur une caractérisation physico-chimique, structurale et texturale.

Conclusion

L'image MEB de la surface de charbons actif préparé à base des noyaux des dattes variété el-Ghars de la région d'El-Menia montre que la surface de charbon est bien développée avec une structure poreuse et homogène.

Le diffractogramme d'analyse DRX obtenu montre que notre matière a une structure amorphe.

Les spectres infrarouges sont marqués par plusieurs bandes d'absorption, indiquant la complexité de la structure chimique superficielle de charbon actif étudié, Les résultats ont indiqué que le charbon étudié présente différents groupes fonctionnels tels que des groupements hydroxyle, carboxyliques, phénoliques, lactoniques, etc.

D'après l'analyse par FRX on pu montrer que l'essentiel de la matière carbonisée ou activée c'est du carbone. Le pourcentage élevé de cet élément (supérieur à 71.6%) Ceci traduit une bonne structure pyrolyse de charbon actif préparé.

On a remarqué que le charbon actif préparé à base des noyaux des dattes constitue une source magnifique pour la production d'un charbon actif efficace pour l'élimination des métaux lourds avec une efficacité aussi bonne que celle du charbon commerciale.

Dans les conditions opératoires optimales on a pu montrer que le rendement d'adsorption atteint 97,6% pour le plomb et 98,3% pour le cadmium.

On a pu montrer que Le modèle de Langmuir fournit la meilleure modélisation des isothermes d'adsorption des systèmes plomb-charbon, cadmium-charbon, Il offre les meilleurs coefficients de corrélation et les quantités adsorbées calculées par ce modèle sont très proches des quantités adsorbées déterminées expérimentalement.

On a pu montrer aussi que le modèle de second ordre décrit mieux le processus d'adsorption de tous les systèmes étudiés. Ce modèle présente un facteur de corrélation très élevé ($R^2 > 0.99$ pour tous les systèmes étudiés).

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] I. touchart, Les lacs,origines et morphologie, L'harmattan. 2000.
- [2] H .Piégay, G. Pautou, C. Ruffinoni, Les forêts riveraines des cours d'eau: écologie, fonctions et gestion, INST.POUR LE DEVELOPPEMENT FO RESTIER ,01/01/2003.
- [3] S. GUERGUEB, A.LAIFA, R.DJAMAI, D FADEL ,S . GOURI , Analyse physicochimique des eaux de surface de la région d'El -Tarf : Cas des eaux de l'oued Kébir – Est. 3ème Conférence Internationale sur l'eau (C.I eau 2013), Alger.
- [4] M. CHEDAD Abdelwahab, M. AMEUR Mohamed, Fiche descriptive Ramsar,Conservation des forêts de Ghardaïa, 8 mars 2018.
- [5] J. O. Okonkwo and M. M. , Physico-chemical characteristics and pollution levels of heavy metals in the rivers in Thohoyandou, South Africa, pp.122-127 ,2005.
- [6] H. guerradi, « etude géochimique et minéralogique du lac d' el-menia, thèse magister université de ouargla. », université de ouargla, 2012.
- [7] B .remini, B.achour,C. ouled belkhir, D.babaamer, « the mzab foggara: an original technique for collecting the water rising », journal of water and land development, No. 16 (I–VI): 49–53,2012.
- [8] D. Dubost, «aménagement et développement agricole des oasis Algériennes Ecologie», (422p), 2002.
- [9] C. Combes, « Ecologie des polystomatidae (Monogenea): Facteurs influencant le volume et le rythme de la ponte », Int. J. Parasitol., vol. 2, no 2, p. 233-238, juin 1972.
- [10] R..Lambert, «Géographie du cycle de l'eau». Presses Univ. du Mirail, 1996.
- [11] R.Arlery, H Grisollet, B.Guilmet. «Climatologie–méthodes et Pratiques», Ed Gauthier – Villars, Paris, France, 433p, 1973.
- [12] E. de Martonne, « L'indice d'aridité », Bull. Assoc. Géographes Fr., vol. 3, no 9, p. 3-5, 1926.
- [13] L. Chebbah, A .Kabbour,« impact-de-la-retenuedun-barrage-sur-le-regime-climatique-local-cas-de-beni-haroun-est-algerien-impact-of-dam-retention-on-the-local-climate-regime-case-of-beni-haroun-east-algeria », Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°33, Mars 2018, pp. 51-69,2018 .
- [14] H. Gaussen et F. Bagnouls, « L'indice xérothermique », Bull. Assoc. Géographes Fr., vol. 29, no 222, p. 10-16, 1952.
- [15] P. Dagget« Le bioclimat Méditerranéen: Analyse des formes climatiques par le systeme d'Emberger »,1977.
- [16] J.P. LABORDE, « Eléments D'hydrologie De Surface», Université de Nice - Sophia . 2000.
- [17] J. Mounier, « Les besoins en eau d'une région, d'après Thornthwaite. Essai d'application à la Bretagne », Norois, vol. 48, no 1, p. 437-448, 1965.
- [18] M. Chibani et A. Kaddouri, « actualisation d'étude hydrogéologique et hydrochimique des eaux thermales – Saida- », thèse doctorat, 2015.
- [19] A. M. Kouassi, K. E. Ahoussi, K. A. Yao, W. E. J. A. Ourega, K. S. B. Yao, et J. Biemi, « analyse de la productivité des aquifères fissurés de la région du n'zi-comoé (centre-est de la côte d'ivoire) », larhyss j. p-issn 1112-3680 e-issn 2602-7828, vol. 0, no 10, mars 2012.

Reference bibliographique

- [20] N .Gousskov, Le problème hydrogéologique du bassin de l'Oued R'hir (La géologie et le problème de l'eau en Algérie., vol. Tome II-Données sur l'hydrogéologie Algérienne). XIX^e congrès géologique international,1952.
- [21] M. Ouled-Baba, « Recharge et paleorecharge du système aquifere du Sahara septentrionalEl Manar 261p. », thèse doctorat, Tunis, 2005.
- [22] PNUD -UNESCO (Nom), . « Projet Reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional. Rapport sur les résultats du projet. » unesco,paris, 1972.
- [23] S. habes, « caractéristiques chimiques d'un lac appartenant aux ecosystèmes humides du nord de l'algerie; cas : lac fetzara nord - est algérien»,thèse doctorat , université badji mokhtar-Annaba, 2013.
- [24] « The List of Wetlands of International Importance (the Ramsar List) | Ramsar ».Disponible sur: <https://www.ramsar.org/document/the-list-of-wetlands-of-international-importance-the-ramsar-list>.
- [25] C. Gherzouli, « Anthropisation et dynamique des zones humides dans le nord-est-algérien: apport des études palynologiques pour une gestion conservatoire », p. 208, Thèse de Doctorat. Université Toulouse 2 Le Mirail,2012.
- [26] B. Oertli ,D. A. Joye, E. Castella, R. Juge « Diversité biologique et typologie écologique des étangs et petits lacs de Suisse», Genève : Office fédéral de l'environnement, 2000.
- [27] R. Bermond , R. Vuichard « Les paramètres de la qualité des eaux», Paris, p.179.
- [28] J. Bernard, « Memento Technique de l'eau», Edition Paris-France, 1989.
- [29] A Boschet, Ressources en eau et santé en Europe- Journal Européen d'Hydrologie, 33, 1, pp.33-39. 2002.
- [30] S. Hébert, S. Légraré, « Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau», Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, envirodoq no ENV-2001-0141, rapport n° QE-123, 24 p, 2000.
- [31] M. M. Baudu, « vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve senegal en mauritanie – etude en laboratoire du comportement de deux pesticides », p. 159.
- [32] A. Belhadj, « Les épidémies d'origine hydrique dans le monde»- Synthèse Techniqueengret centre de Montpellier et OIE de Limoges, pp 1-16. », 2001.
- [33] A. Aghoghovwia ,O. Ayakpo Miri , S. Chibueze ,«Impacts of Anthropogenic Activities on Heavy Metal Levels in Surface Water of Nun River around Gbarantoru and Tombia Towns, Bayelsa State, Nigeria», journal of Annals of Ecology and Environmental Science: P2, (2018).
- [34] D. Adriano, «Trace elements in terrestrial environments: Biochemistry, bioavailability and risks of metals». Springer-Verlag, New York. 2001.
- [35] A. Loué, « Oligo-éléments en agriculture». Ed. Nathan, 45-177. 1993.
- [36] A. Kabata, H Pendias, « Trace elem<l'environnement, 2013.
- [39] J .Rodier, «Analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer ». Paris, Dunod,9^{ème} édition p.134. 2009.
- [40] B. Dussart, «Limnologie. Etude des eaux continentales»,.GauthierVillars, Ed., Paris ; 1966.
- [41] Z. Guerraiche , «Impact de la pollution urbaine sur les eaux de surface du Grand Constantinois», thèse Doctorat en sciences Option : Hydraulique univ biskra, , 2017.
- [42] A. Reffas, « Etude de l'adsorption de colorants organiques (Rouge Nylosan et Bleu de Méthylène) sur des charbons actifs préparés à partir du marc de café ». PhD thesis, Chambéry., 2010.

- [43] Z. Baba amer, Z .Ben Saha ,A Hazzab , «Spatio-Temporal Variation Study of Physico -Chemical Parameters Characterizing Water Quality of Oued M'zab Region», Algeria International Annals of Science Vol. 1 Issue 1, pp: 2-7, October 2016.
- [44] D. Ghazali, A. Zaid, « etude de la qualite physico-chimique et bacteriologique des eaux de la source ain salama-jerri (région de meknès-maroc) », larhyss j. P-issn 1112-3680 e-issn 2602-7828, vol. 0, no 12, janv. 2013.
- [45] M. BELHADJ, « Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la Wilaya de Skikda », Doctorat en sciences Spécialité : Sciences Hydrauliques université biskra, 2017.
- [46] J.E. Sainou, P. Behanzin , S. Mariano, F. I. Johnson «Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation dans la commune de Toffo au Bénin: Cas de l'arrondissement de Sèhouè (Study of the physico-chemical and bacteriological quality of drinking water in the municipality of Toffo in Benin: Case of Sèhouè) », Journal of Applied Science and Environmental Studies JASES,2019.
- [47] Z. Babaamer, M. Taleb bahmed, S .Bouchlaghem, « Impact of industrial waste on the quality of ground water in the M'Zab valley. And Evaluation of the salinity of the ground water used for irrigation in the region of El Atteuf, South Algerian », 2016.
- [48] Y. M. N'guessan, V. A. Wognin, K. G. Kouadio, A. Probst, et J. L. Probst, « Paramètres influençant la distribution des éléments traces métalliques dans les affluents du fleuve Garonne (France) », Int. J. Biol. Chem. Sci., vol. 11, no 3, p. 1363-1372, janv. 2017.
- [49] L. Mazrou , D. Tekili , A. Dahmana, «Analyse de quelques paramètres physicochimiques et de métaux lourds dans les zones humides de la Kabylie et leurs impacts potentiels sur la faune »,université de bejaya,2017.
- [50] J.O. Noyce, H. Michels, C.W. Keevil, « Potential use of copper surfaces to reduce survival of epidemic methicillin-resistant Staphylococcus aureus in the healthcare environment. Role of copper in reducing hospital environment Contamination». Journal of Hospital Infection ,74 (1): 72-77 , 2010.
- [51] B. Belabed, « La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba « Sources de contamination des écosystèmes aquatiques »,thèse doctorat , Université Badji Mokhtar Annaba, 2010.
- [52] V. Cappuyns, R. Swennen, A. Vandamme, M. Niclaes, « Environmental impact of the former Pb–Zn mining and smelting in East Belgium». J. Geochem. Explor. 88, 6–9. », 2006.
- [53] K .Langin, « Rise and fall of Roman Empire exposed in Greenland ice samples] ; Science (News), cf étude publiée dans : Climate Environment , 14 mai 2018.
- [54] N. Micak, « Total and organic lead distribution in water, sediment and organism from the eastern » Adriatic coast. Chemical speciation and bioavailability, 2001.
- [55] G. Cobb, K Sands ,M Waters, B Wixson,« Accumulation of heavy metals by vegetables grown in mine wastes ». Environ Toxicol Chem, 19, 3, 600- 607, 2000.
- [56] B. Benadda, « Etat de l'art concernant la mesure des émissions et le traitement des métaux dans les fumées . Cas du cadmium, du mercure et du plomb », LAEPSI INSA de Lyon, 2002.
- [57] E. Callender, « Heavy Metals in the Environment-Historical Trends ». B.S. Lollar (Ed.), Environmental Geochemistry. Treatise on Geochemistry. Elsevier-Pergamon, Oxford, pp. 67-105, 2003.
- [58] G.Plumlee, T Ziegler, « he medical geochemistry of dust, soils and other earth materials. », 2003.

- [59] V. Benito, V. Devesa, M.Fernandez, M. Ferrer, F.Hiraldo, M.Gonzalez, R. Montoro, O. Munoz , « Trace elements in blood collected from birds feeding in the area around Donana National Park affected by the toxic spill from the Aznalcollar mine». *Science of the Total Environment*, 242(1-3): 309-323 », 1999.
- [60] D.Taylor, « The significance of the accumulation of cadmium by aquatic organisms». *Ecotoxicology and Environmental Safety* 7, 33-42, 1983.
- [61] F. Silvestre, G. Trausch, « Hyper-osmoregulation capacity of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) exposed to cadmium; acclimation during chronic exposure». *Comparative Biochemistry and Physiology - Part C* 140, 29-37, 2005.
- [62] X. Wang, Y. Gao, X. Sheng, « Cadmium stress disrupts the endomembrane organelles and endocytosis during *Picea wilsonii* pollen germination and tube growth». *PloS one*, 9(4), e94721 , 2014.
- [63] R. LANTZY, M. KENZIE, « Atmospheric trace metals: global cycles and assessment of man's impact ». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43: 511-523, 1979.
- [64] P. Sabatier , «Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique »,Thèse En vue de l'obtention du doctorat de l'université de toulouse,2008.
- [65] W. Kirchner, S. Brabowski, « Manganese in lacustrine ecosystem: A review » *Water resources bulletin* p.1259-1264 . 1972.
- [66] P. Hecker, D. Schaezler, G. Kramer, « Effects of heavy metals on micro organisms application to process design Engineering »*Bulletin of Purdue university*, vol. 1, 141 vol. 1972.
- [67] M.-J. Gouillon, « Etude de la cinétique d'oxydation de l'alliage nickel-molybdène », févr. 1974.
- [68] R. Wuana, F. Okieimen. « Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation ». *ISRN Ecology*. 2011.
- [69] A. R. Friedrich et F. P. Filice, « Uptake and accumulation of the nickel ion by *Mytilus edulis* », *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 16, no 6, p. 750-755, déc. 1976.
- [70] M. Minouflet, « Etude du modèle végétal aquatique, pour l'évaluation du risque des métaux : bioaccumulation et effets biologiques », *University of Geneva*, 2008.
- [71] K. Vijayaraghavan, J. Jegan, K. Palanivelu, M. Velan. « Biosorption of copper, cobalt and nickel by marine green alga *Ulva reticulata* in a packed column ». *Chemosphere*,2005.
- [72] P. Guergazi et P. Boudoukha, « Impact de la pollution urbaine sur les eaux de surface du Grand Constantinois », université de biskra,2017.
- [73] N. Ngaram, « Contribution à l'étude analytique des polluants (en particulier de type métaux lourds) dans les eaux du fleuve Chari lors de sa traversée de la ville de N'Djamena ». thèse doctorat en chimie analytique, université de Lyon, p. 166,2011.
- [74] S. Sultana, A. N. Ahmed, S. Sultana, P. K. Biswas, B. Saha, et S. Alam, « Assessment on Water Quality of Waste Water in Sugar Industry and Its Impact on Environment », *OALib*, vol. 04, no 03, p. 1-11, 2017.
- [75] D. Diallo, k. I. Namr, D. N'diaye, h. Garmes, m. Kankou, et o. Wane, « l'interet des methodes d'analyses statistiques dans la gestion du suivi de la qualite physico-chimique de l'eau de la rive droite du fleuve senegal », *larhyss j.* P-issn 1112-3680 e-issn 2602-7828, vol. 0, no 17, mars 2014.

- [76] S.G.Eblin, G.M.Soro, A.P.Sombo, N.Aka, O.Kambiré, N.Soro, « hydrochimie des eaux souterraines de la région d'adiaké (sud-est côtier de la côte d'ivoire) », Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°17, pp. 193-214, Mars 2014.
- [77] M. L. Sekirifa et M. Hadj-Mahammed, « étude comparative de la capacité adsorbante d'un charbon actif issu de noyaux de dattes et un charbon actif commercial », sci. technol. b sci. ing., vol. 0, no 23, p. 55-59, juin 2005.
- [78] G. Couderc et F. Stoeckli, « Contribution à l'étude de l'adsorption binaire par les carbones non poreux et poreux » thèse doctorat en chimie physique, université de Lyon, 2002.
- [79] B. Sancey, « Développement de la bio-adsorption pour décontaminer des effluents de rejets industriels: abattement chimique et gain environnemental », Ecologie, Environnement. Université de Franche-Comté, 2011.
- [80] G. D. Halsey, W. G. Frankenburg, V. I. Komarewsky, et E. K. Rideal, « The Role of Surface Heterogeneity in Adsorption », in *Advances in Catalysis*, vol. 4, Éd. Academic Press, p. 259-269, 1952.
- [81] M. Elena, F. Ibanez, « Etude De La Carbonisation Et L'activation De Précurseurs Végétaux Durs Et Mous », Université De Neuchâtel Des Sciences, 2002,
- [82] O. Belaid, « utilisation d'un charbon actif préparé à partir des noyaux de dattes locales dans l'épuration des eaux usées urbaines. influence de la variété de dattes. », Thèse doctorat en génie des procédés et environnement, 2017.
- [83] M. Sekirifa, « Étude des propriétés adsorbantes des charbons activés issus des noyaux de dattes. Application au traitement d'effluent aqueux », thèse doctorat en génie des procédés, université de Annaba, 2013.
- [84] A.A. El-Hendawy, « Variation in the FTIR spectra of a biomass under impregnation, carbonization and oxidation conditions », *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 75, p:159–166, 2005.
- [85] M. Ziati, « Adsorption et électro-adsorption de l'arsenic (III) sur charbon à base de noyaux de dattes activés thermiquement et chimiquement », thèse doctorat en chimie physique université de Annaba, 2012.
- [86] S. Hazourli, M. Ziati, et A. Hazourli, « Characterization of activated carbon prepared from lignocellulosic natural residue: -Example of date stones- », *Phys. Procedia*, vol. 2, no 3, p. 1039-1043, nov 2009.
- [87] H. Demiral, I. Demiral, B. K. İlu, Fatma Tûmsek, « Production of activated carbon from olive bagasse by physical activation, *chemical engineering research and design*. », p. 206-213, 2011.
- [88] S. Wong, N. Ngadi, I. M. Inuwa, et O. Hassan, « Recent advances in applications of activated carbon from biowaste for wastewater treatment: A short review », *J. Clean. Prod.*, vol. 175, p. 361-375, févr. 2018.
- [89] A. M. Youssef, N. R. E. Radwan, I. Abdel-Gawad, G. A. A. Singer, « Textural properties of activated carbon from apricot stones », *Colloids and Surface A: Physicochem. Eng. Aspects*, 2005.
- [90] O. Gerçel, H. F. Gerçel, « Adsorption of lead (II) ions from aqueous solutions by activated carbon prepared from biomass plant material of *Euphorbia rigida*, *Chemical Engineering Journal*. 132 (2007) 289-297. »
- [91] S.M. Yakout, G. Sharaf El-Deen., « Characterization of activated carbon prepared by phosphoric acid activation », 2011.
- [92] V. H. Montoya et A. Bonilla-Petriciolet, *Lignocellulosic Precursors Used in the Synthesis of Activated Carbon: Characterization Techniques and Applications in the Wastewater Treatment* ». BoD – Books on Demand, 2012.
- [93] I Langmuir, « the adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum ». *Journal of the American Chemical Society*, 40(9), 1361–1403. doi:10.1021/ja02242a004, 1918.

- [94] B.J. Alloway, «Heavy Metals in Soils». Chemical Principles of Environmental Pollution (with D.C. Ayres). Chapman and Hall. 2nd Ed, p. 105-121, 1995.
- [95] H.M.F. Freundlich. «Over the adsorption in solution». Journal of Physical Chemistry 57, p. 385–470, 1906.
- [96] F. Derrouèche, « Décoloration par adsorption des eaux résiduaires textiles chargées en colorants acides par les bentonites locales ». PhD thesis, université de Boumerdes, 2007.
- [97] M. Abbas, « Valorisation du noyau d'abricot dans la dépollution des eaux », thèse doctorat en chimie des matériaux, Université M'hamed Bougara-Boumerdes, 2015.
- [98] R. Ubago-Pérez, F. Carrasco-Marín, D. Fairén-Jiménez, C. Moreno-Castilla, « Granular and monolithic activated carbons from koh-activation of olive stones. » Microporous and Mesoporous materials, 92(1) :64–70, 2006.
- [99] K. Gaid. « Mode d'élimination de polluants sur filtres». Thesis Doctorat es Sciences physiques, Université des Rennes ; France, p. 200-344, 1981.
- [100] L. Lartundo-Rojas , « Influence de l'adsorption de protéine (BSA) sur le comportement électrochimique et la composition de surface d'un alliage Fe-17Cr en solution aqueuse », Thèse doctorat de L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE (PARIS VI),2007.
- [101] S.J. Gregg, « Adsorption, surface area and porosity academic ». New York, pages 242–245, 1982.
- [102] F. Çeçen, Ö Aktas., « Activated carbon for water and wastewater treatment : Integration of adsorption and biological treatment». John Wiley & Sons, 2011.
- [103] C. Creanga-Manole., « Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradables (par adsorption puis oxydation catalytique). PhD thesis, INP,Toulouse, France, 2007. »
- [104] f. Almardini, « étude de l'adsorption du pesticide bromacil sur charbon actif en poudre en milieu aqueux - effet compétiteur des matières organiques naturelles », thèse doctorat de l'université de Poitiers ,2008.
- [105] G.P Atheba, « Traitement des eaux par action combinée de la photocatalyse solaire et de l'adsorption sur charbon actif : conception et réalisation du procédé », thèse de doctorat, Université de Metz, 2009.
- [106] P. A. Egwaikhide, E. E. Akporhonor, F. E. Okieimen, « Utilization of coconut fibre carbon in the removal of soluble petroleum fraction polluted water », International Journal of Physical Sciences Vol. 2 (2), pp. 047-049, February 2007.
- [107] M. A. Nahil et P. T. Williams, « Pore characteristics of activated carbons from the phosphoric acid chemical activation of cotton stalks », Biomass Bioenergy, vol. 37, p. 142-149, févr. 2012.
- [108] R.Baccar, J.Bouzid,M.Feki,A.Montie,« Preparation of activated carbon from Tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions - Science Direct », Journal of Hazardous Materials, Volume 162, Issues 2–3, Pages 1522-1529, 2009.
- [109] M. Harry, F. Reinoso. « Activated carbon ». Elsevier, 2006.
- [110] F.A.Settle, « « Handbook of instrumental techniques for analytical chemistry », Library of Congress, 1997.
- [111] N. Farhana , A Megat., W Ngah, « Adsorption of Cu(II) onto Cross-Linked Chitosan Coated Bentonite Beads: Kinetic and Isotherm Studies», Key Engineering Materials journal,2017.
- [112] V. Thiron-Merle, « Spectrométrie de fluorescence X », in Circulation et provenance des matériaux dans les sociétés anciennes, Editions des archives contemporaines, 2014.

- [113] J. Lynch, « Analyse physico-chimique des catalyseurs industriels - J. Lynch - Librairie Eyrolles, Manuel pratique de caractérisation » edition technip, 2001.
- [114] B. Guo, F. Deng, Y. Zhao, X. Luo, S. Luo, C. Au, 2013 «Magnetic ion-imprinted and-SH functionalized polymer for selective removal of Pb(II) from aqueous samples», Applied Surface Science, p1-39.
- [115] C -Manole. «Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradables (par adsorption puis oxydation catalytique) ». PhD thesis, INP, Toulouse, France, 2007.
- [116] A.C. Lua, T. Yang, «Effect of activated temperature on the textural and chemical properties of potassium hydroxide activated carbon prepared from pistachio-nut shell. Journal of Colloid Interface Science. 274, p:594-60, 2004
- [117] A.-N. A. El-Hendawy, « Variation in the FTIR spectra of a biomass under impregnation, carbonization and oxidation conditions », J. Anal. Appl. Pyrolysis, vol. 75, no 2, p. 159-166, mars 2006.
- [118] M. Trachi, N. Bourfis, S. Benamara, H. Gougam, «Préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir de la coquille d'amande (Prunus amygdalus) amère», Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2014
- [119] R.M. Silverstein, G.C. Bassler et T.C. Morrill, « Identification spectrométrique de composés organiques », livre, édition de Bouek. 1991.
- [120] H. Aksas, « « Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels » », thèse de doctorat, université de Boumerdes, 2013.
- [121] T. Yang, A. C. Lua, « Characteristics of activated carbons prepared from pistachio-nut shells by physical activation », J. Colloid Interface Sci., vol. 267, no 2, p. 408-417, nov. 2003.
- [122] T. M. Alslaihi, I. Abustan, M. A. Ahmad, et A. A. Foul, « Kinetics and equilibrium adsorption of iron (II), lead (II), and copper (II) onto activated carbon prepared from olive stone waste », Desalination Water Treat., vol. 52, no 40-42, p. 7887-7897, déc. 2014.
- [123] Y. Huang, S. Li, H. Lin, et J. Chen, « Fabrication and characterization of mesoporous activated carbon from Lemna minor using one-step H₃PO₄ activation for Pb(II) removal », Appl. Surf. Sci., vol. 317, p. 422-431, oct. 2014.
- [124] M. K. Sahu, S. Mandal, S. S. Dash, P. Badhai, et R. K. Patel, « Removal of Pb(II) from aqueous solution by acid activated red mud », J. Environ. Chem. Eng., vol. 1, no 4, p. 1315-1324, déc. 2013.
- [125] M. Minceva, R. Fajgar, L. Markovska, et V. Meshko, « Comparative Study of Zn²⁺, Cd²⁺, and Pb²⁺ Removal From Water Solution Using Natural Clinoptilolitic Zeolite and Commercial Granulated Activated Carbon. Equilibrium of Adsorption », Sep. Sci. Technol., vol. 43, no 8, p. 2117-2143, mai 2008.
- [126] L. Mouni, D. Merabet, A. Bouzaza, et L. Belkhir, « Adsorption of Pb(II) from aqueous solutions using activated carbon developed from Apricot stone », Desalination, vol. 276, no 1, p. 148-153, août 2011.

Annexe

Annexe chapitre 03

1. Les normes des eaux de surface [69]

paramètre	norme
La conductivité	400 $\mu\text{s/cm}$
PH	6 -9
potassium	12 mg/l
Sodium	200 mg/l
Les chlorures	250 mg/l
Les sulfates	400 mg/l
Le résidu sec	1500 mg/l
Nitrite	0,1 mg/l
nitrate	50 mg/l
L'ammonium	0,5 mg/l
Les orthophosphates	0,2 mg/l
Le fer	0,3 mg/l
DBO ₅	5 mg/l

Les normes des métaux lourds [20]

Polluant	Norme OMS (mg/l)
le plomb	0.05
le cadmium	0.005
le cuivre	0.2
le zinc	0.5
le nickel	0.02
le manganèse	0.1
le fer	0.3

2. Statistique descriptive des résultats physico-chimiques des analyses effectués en 2018

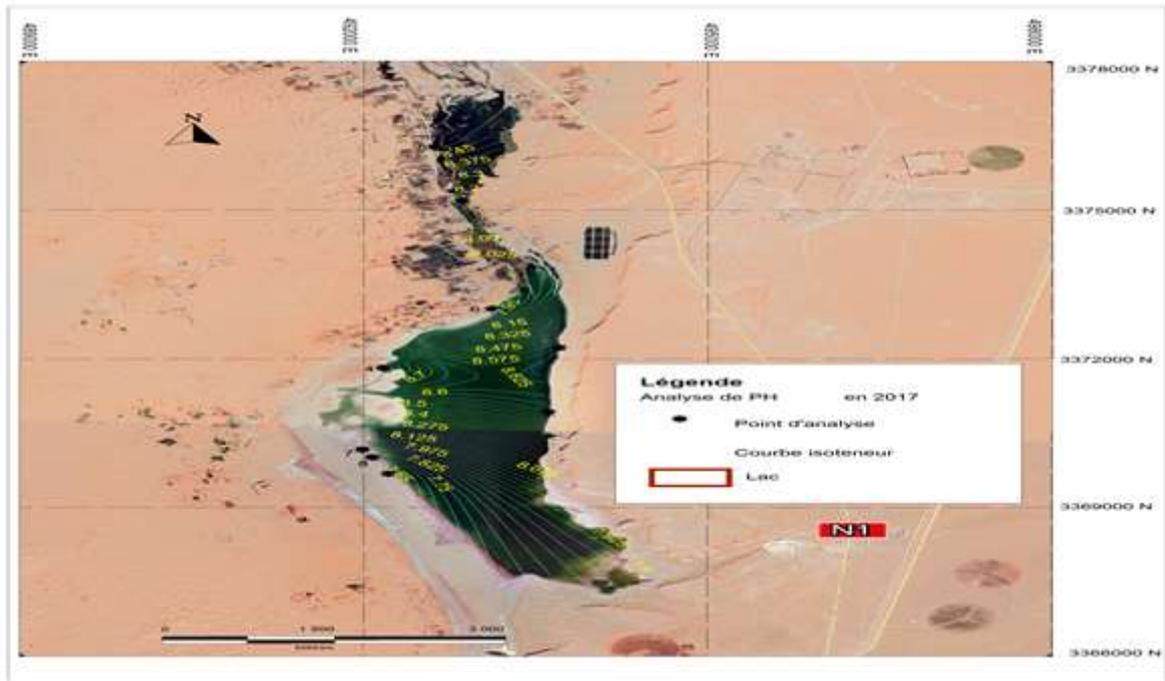
Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Température	23	33,7	27,16	
Conductivité $\mu\text{s}/\text{cm}$	948	121200	39798	46328,442
Salinité (g/l)	0,3	88,2	22,79	27,242
PH	7,21	8,66	7,721	0,437
Calcium (mg/l)	38,476	496,992	211,641	161,865
Magnésium (mg/l)	8,748	2211,3	296,062	675,692
La dureté totale TH(mg/l)	148	910	360,1	226,407
TAC	190,32	897,92	429,82	203,304
Sodium (mg/l)	260	60000	13088	17978,343
potassium (mg/l)	50	62000	7946	19219,953
résidu sec SM à 105 °C	1060	239208	67723,8	81609,545
Les chlorures (mg/l)	140,393	23994,59	9497,707	10387,215
Les orthophosphates (mg/l)	0,056	4,936	0,927	1,531
Les nitrites mg/l	0,079	1,84	0,696	0,555
Les nitrates (mg/l)	1,037	30,921	10,806	10,51
L'ammonium (mg/l)	0,008	18,84	7,452	6,777
fer (mg/l)	0,112	1,692	0,89	0,618
sulfate (mg/l)	151,861	21070,125	6862,479	8261,198
DCO d'O ₂ (mg/l)	60	115	85,7	20,806
DBO ₅ d'O ₂ (mg/l)	100	160	136	20,111
Cd(mg/l)	0,026	0,034	0,029	0,004
Cu(mg/l)	0,006	0,016	0,011	0,005
Pb(mg/l)	0,000	0,216	0,131	0,094
Mn(mg/l)	0,011	0,045	0,027	0,014
Cr(mg/l)	0,000	0,001	0,000	0,000
Ni(mg/l)	0,001	0,007	0,004	0,003
Zn(mg/l)	0,000	0,000	0,000	0,000
Co(mg/l)	0,018	0,057	0,034	0,019

3. Statistique descriptive des résultats physico-chimiques des analyses effectués en 2017 :

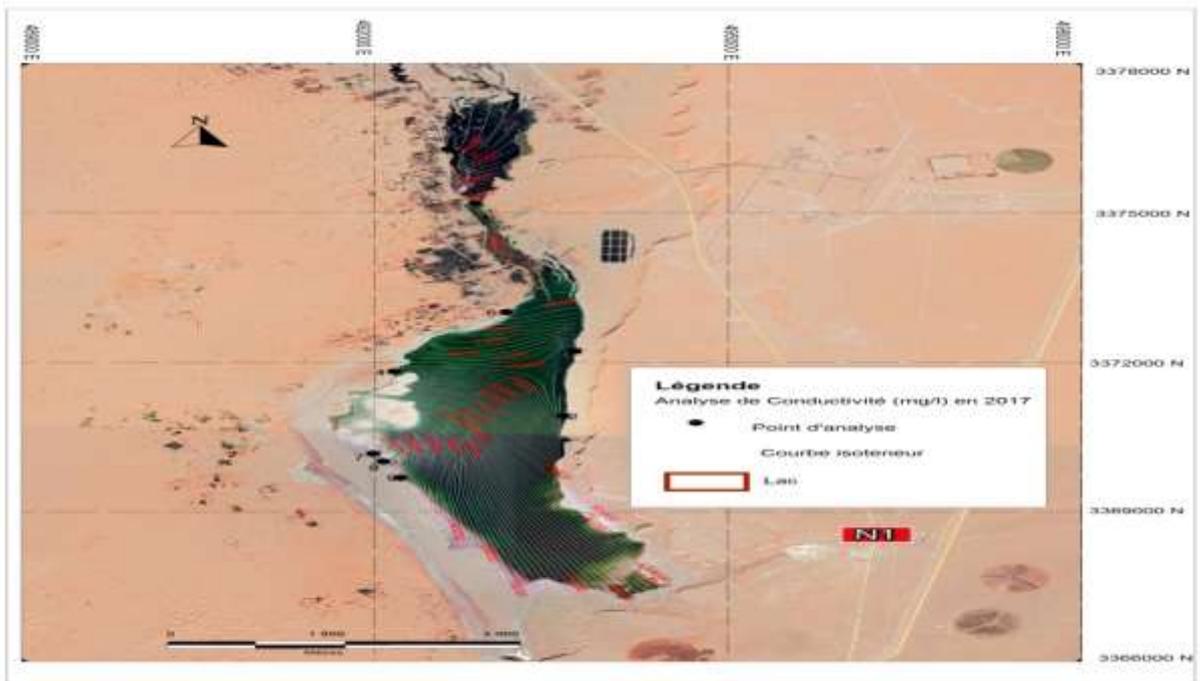
Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
PH	7,600	8,820	8,148	0,460
Conductivité $\mu\text{s/cm}$	1428,000	160000,000	52147,500	63133,353
salinité	0,600	98,200	34,350	30,117
TDS	5,300	312,000	131,138	113,414
TAC	143,600	809,920	446,564	213,194
Dureté totale (TH)	150,000	980,000	540,250	288,696
Calcium (mg/l)	43,567	596,879	317,270	200,152
Nitrite (mg/l)	0,098	1,490	0,668	0,433
Les orthophosphates	0,123	2,936	1,006	1,147
L'ammonium (mg/l)	0,402	17,560	10,042	5,522
Fer (mg/l)	0,116	1,436	0,867	0,482
Nitrate (mg/l)	1,417	27,731	8,346	8,329
Les Chlorures (mg/l)	140,665	24654,432	10572,486	10355,538
DBO ₅ (mg/l)	60,000	120,000	86,875	23,290

Les cartes iso teneurs des analyses prélever en 2017

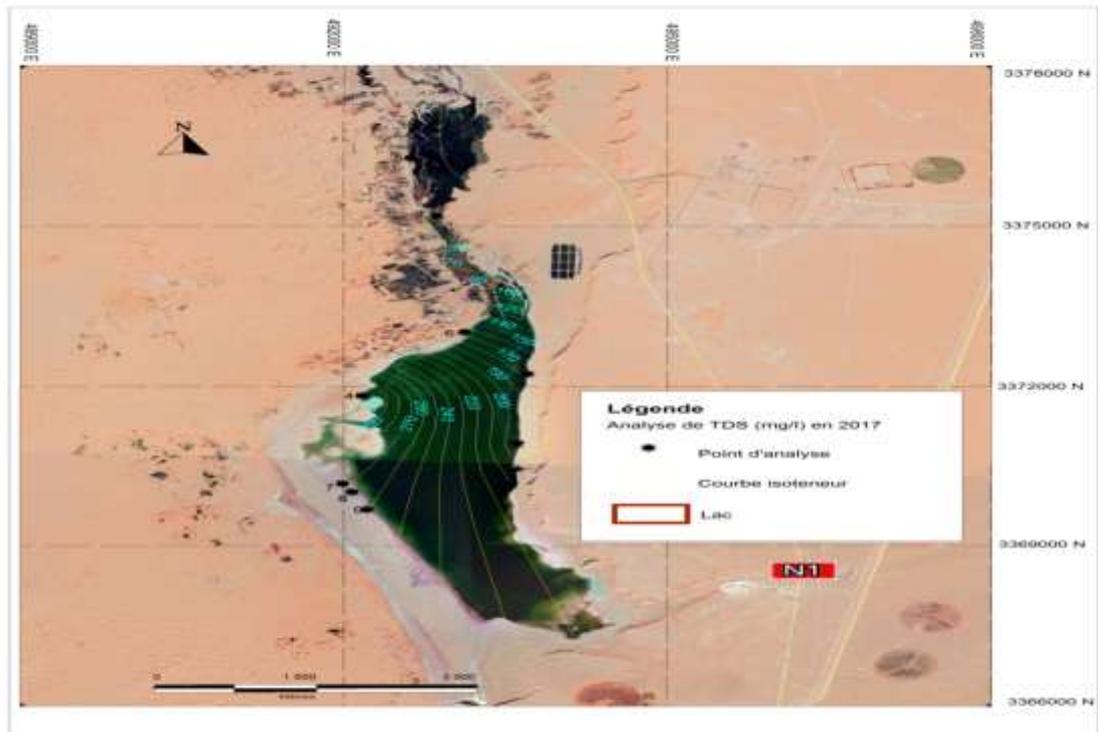
4. Carte iso teneurs de PH



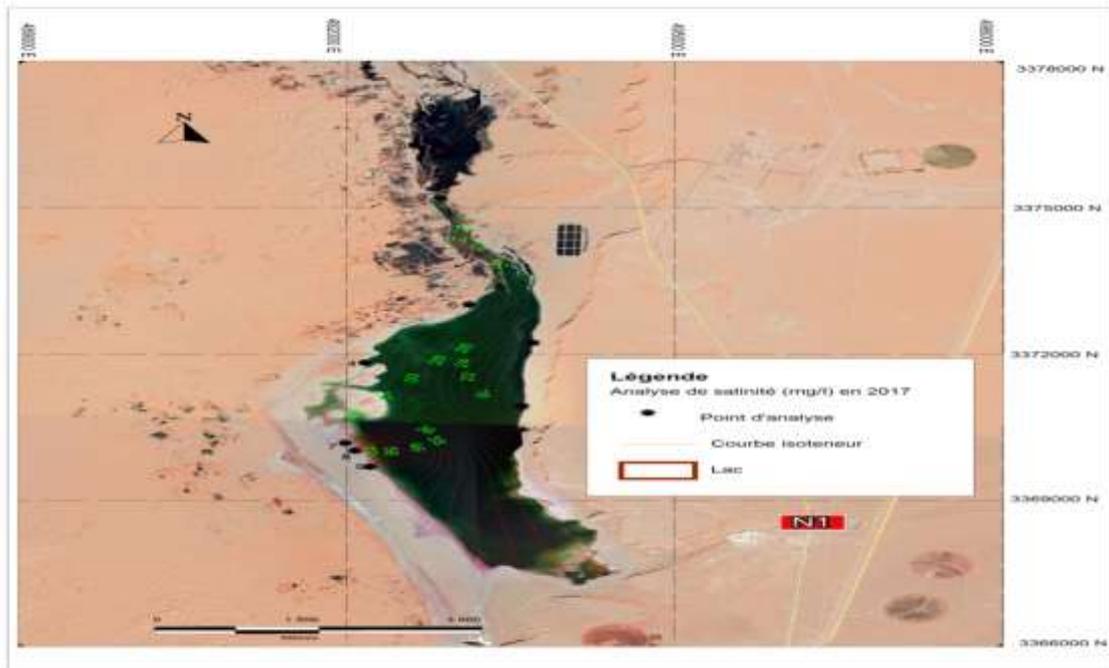
5. Carte iso teneurs de conductivité



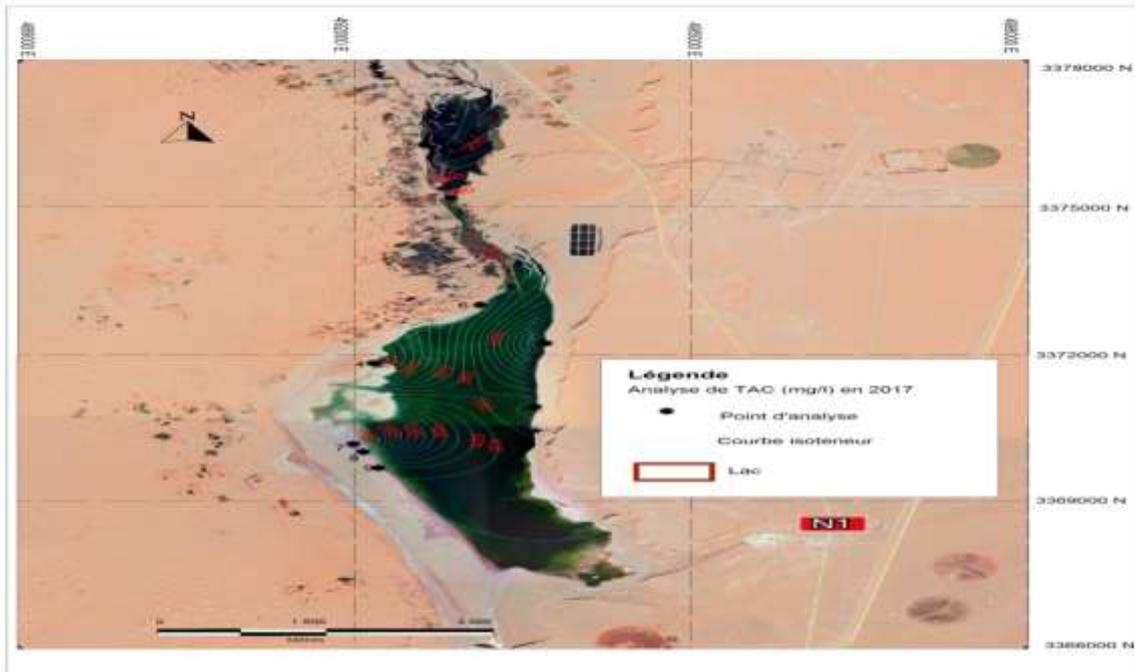
6. Carte iso teneurs de TDS



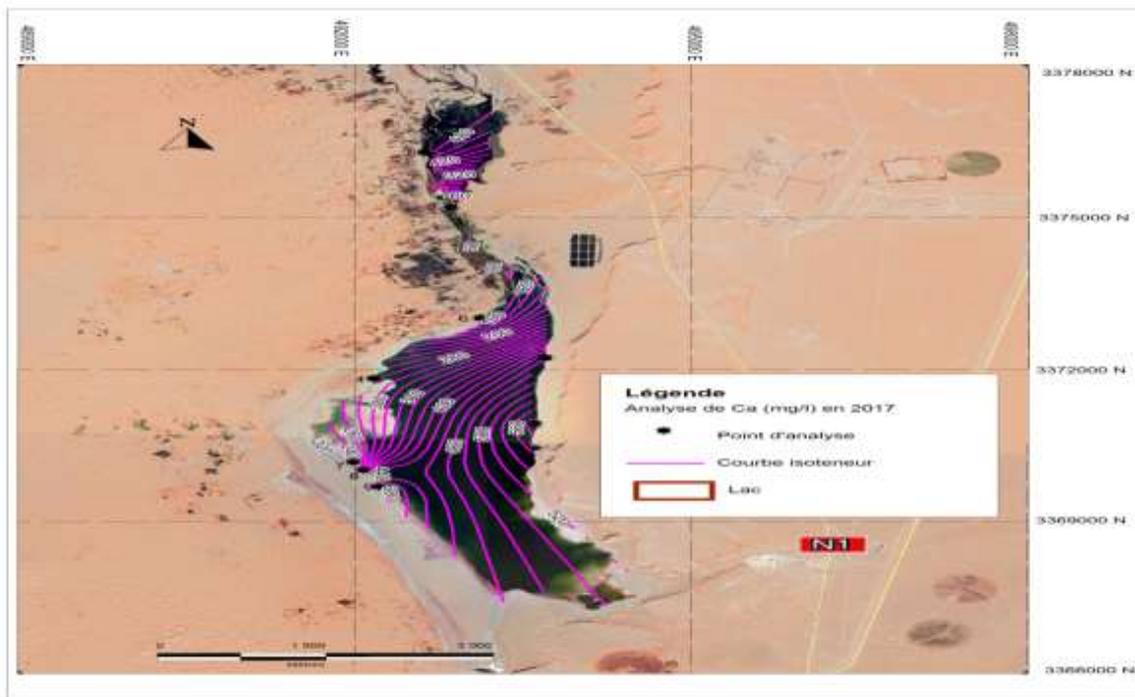
7. Carte iso teneurs de salinité



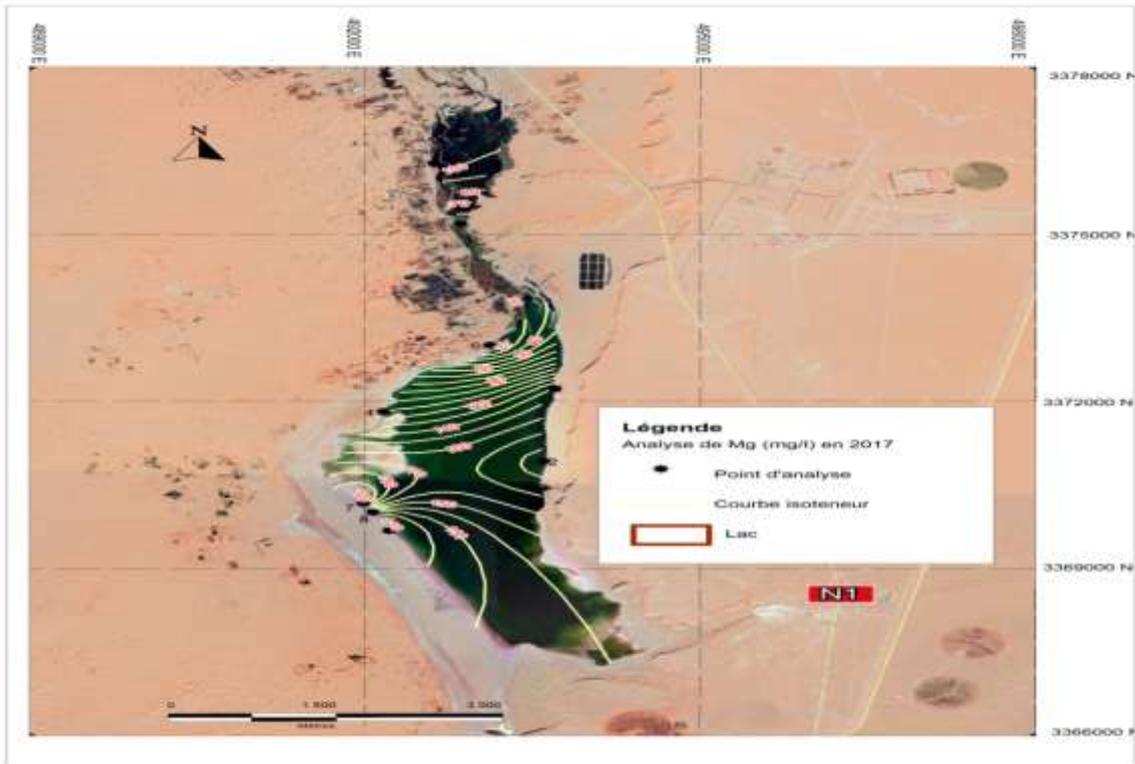
8. Carte iso teneurs de TAC



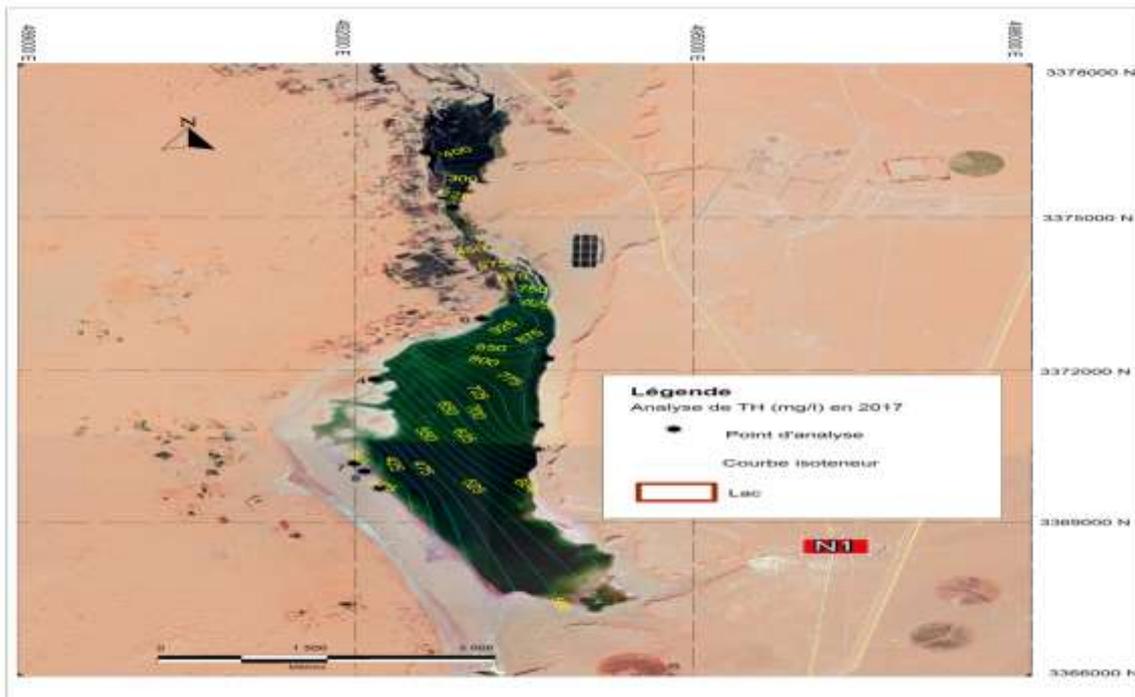
9. Carte iso teneurs de calcium



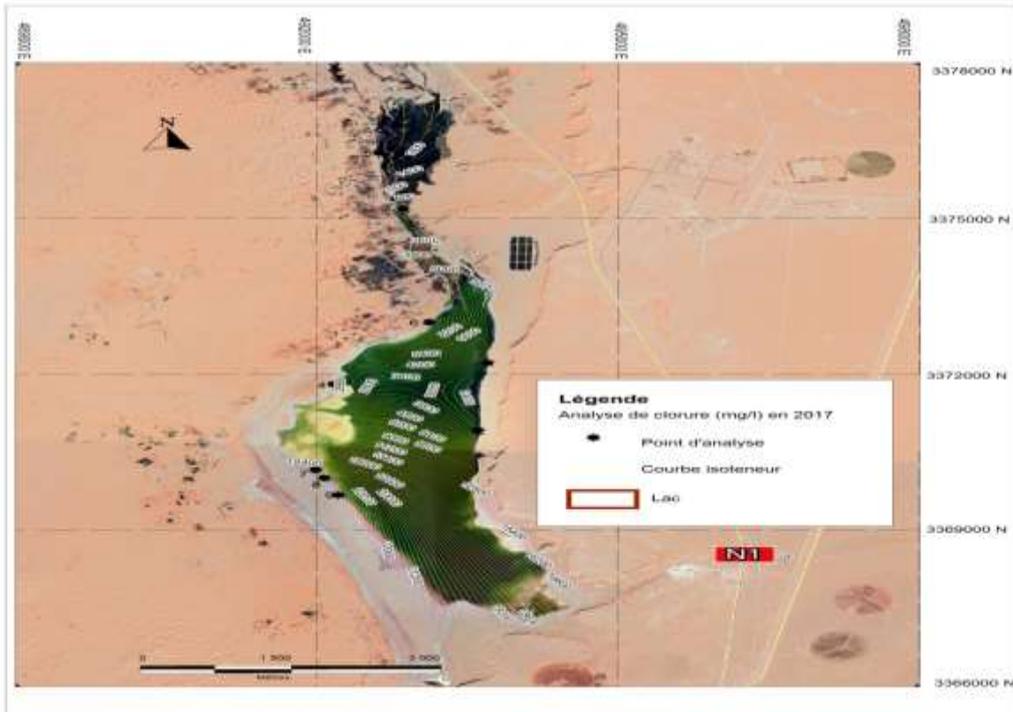
10. Carte iso teneurs de magnésium



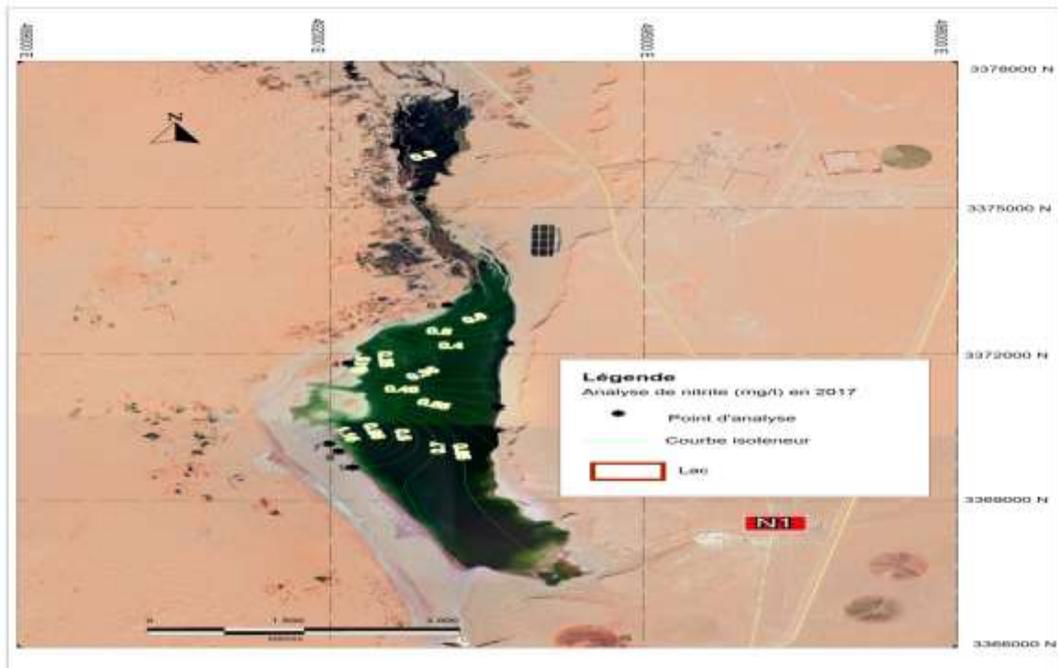
11. Carte iso teneurs de TH



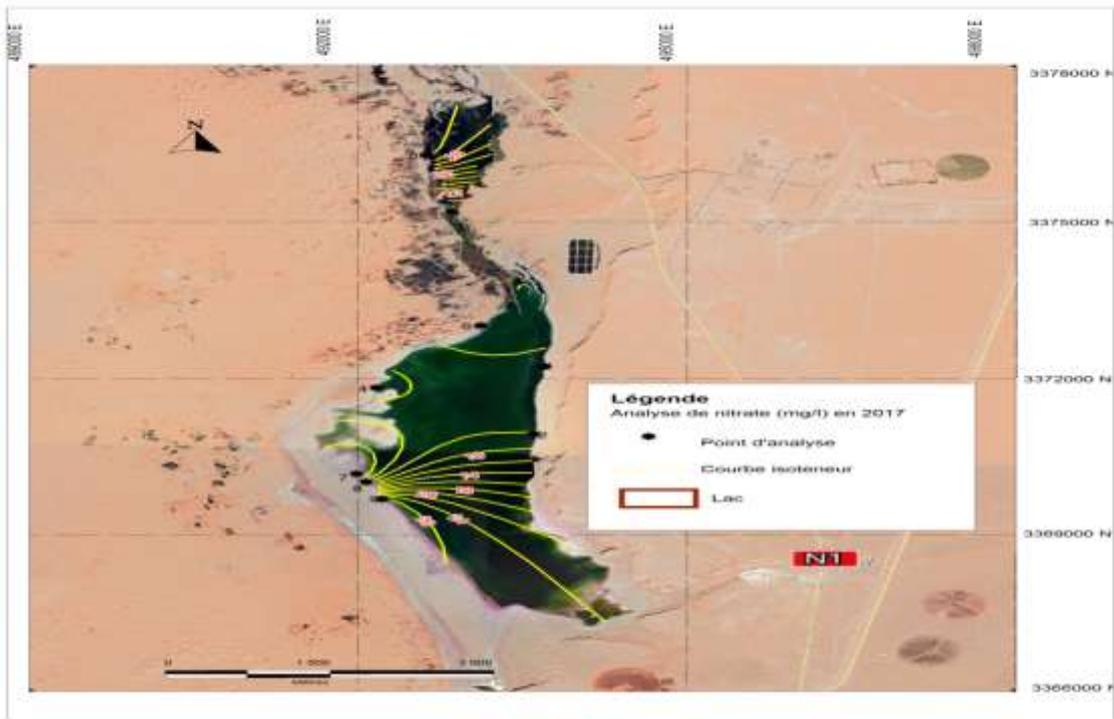
12. Carte iso teneurs des chlorures



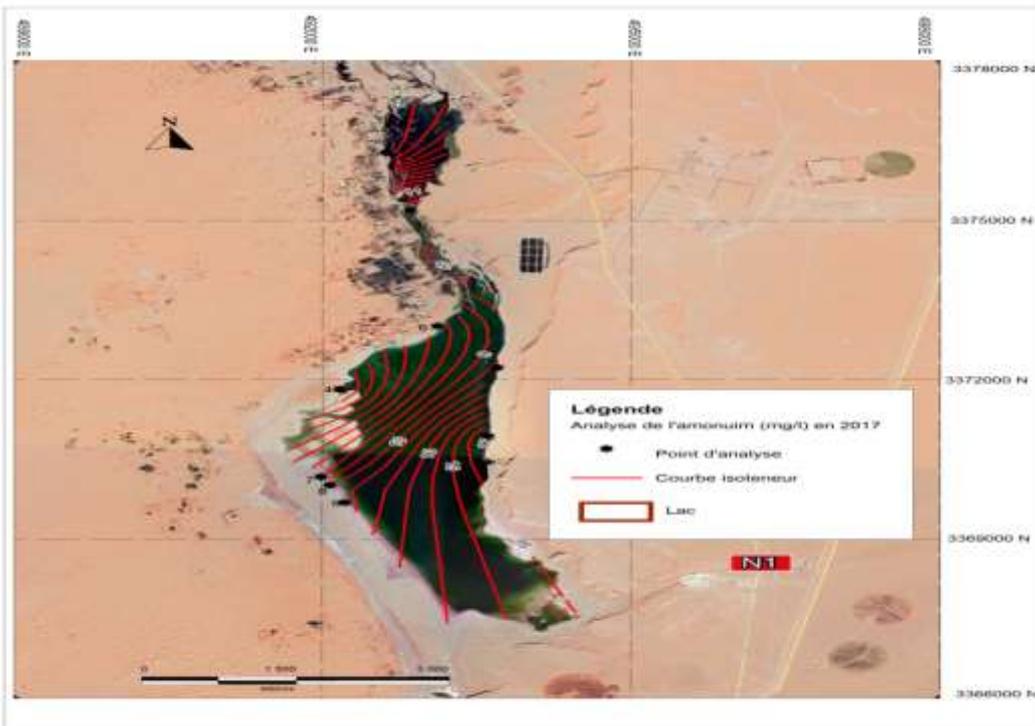
13. Carte iso teneurs des nitrites



14. Carte iso teneurs des nitrates



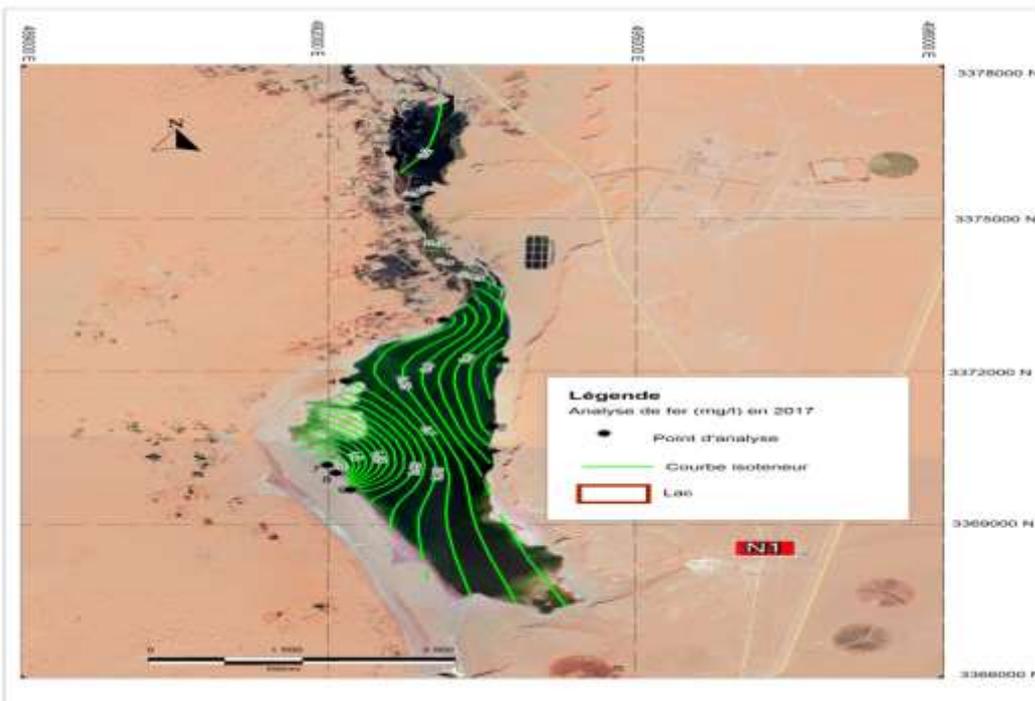
15. Carte iso teneurs d'ammonium



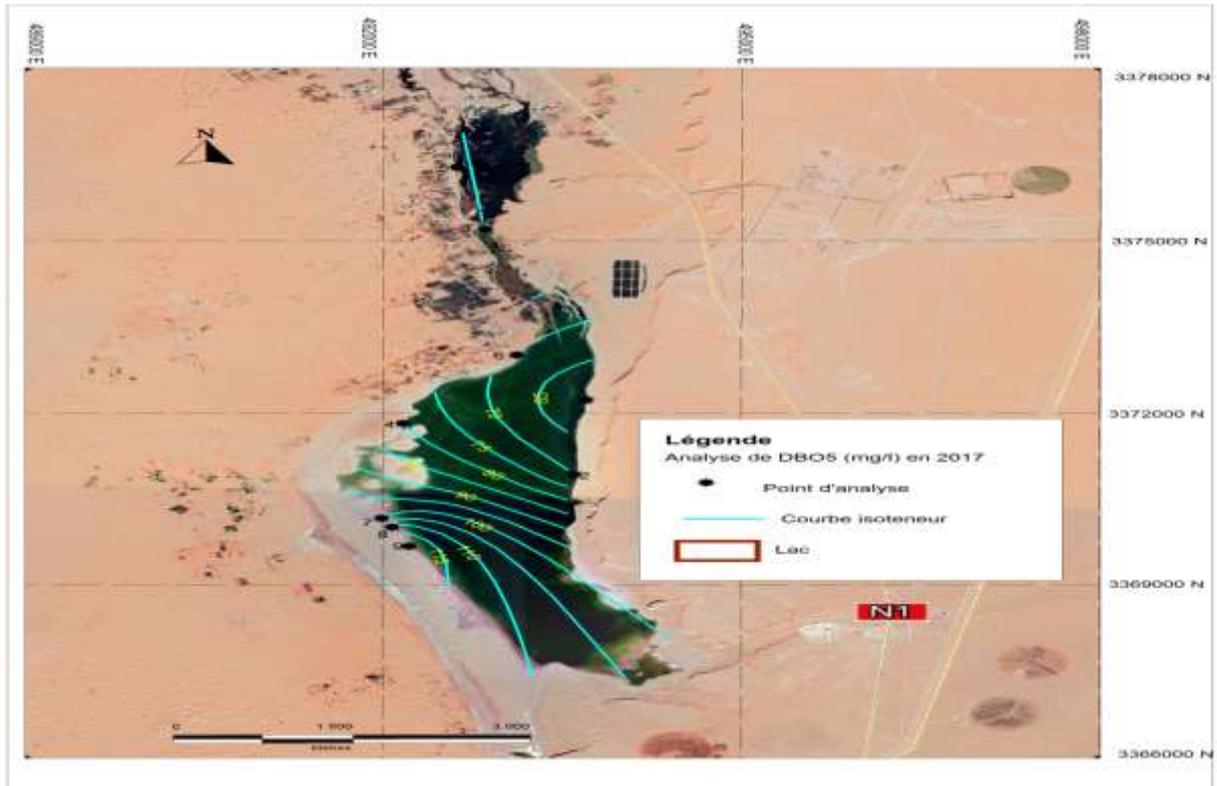
16. Carte iso teneurs des ortho phosphates



17. Carte iso teneurs de fer



18. Carte DBO₅



19. Statistique descriptive des résultats physico-chimiques des analyses effectués en 2015

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Température	25	34	29,16	4,35
Ph	7,1	8,45	7,642	0,501
Conductivité ms/cm	2,8	106	68,127	20,443
Turbidité NTU	2,2	160	68,311	46,875
salinité	45,7	1240	130,112	242,258
TDS	1	97,3	52,302	17,489
résidu sec (mg/l)	212	994	568,675	215,336
Dureté totale (mg/l)	148	820	426,783	156,251
le magnésium (mg/l)	17,657	465,766	127,715	93,278
Le calcium (mg/l)	36,765	438,992	277,745	120,152
Le nitrite (mg/l)	0,008	1,84	0,618	0,527
Les ortho phosphate (mg/l)	0,009	4,147	0,517	0,856
L'ammonium (mg/l)	0,002	18,66	6,185	5,519
Le fer (mg/l)	0,324	1,693	0,76	0,447