République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la

Recherche Scientifique

Université Echahid Larbi Tébessi – Tébessa

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et

de la vie

Département de Sciences de la Terre et de l'Univers

MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers.

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

THEME :

Impacte envirenemental et conséquences dynamique de l'injection des eaux usées dans l'oued de chéria (plain de chéria;NE Algérie)

Réalisé Par : Bennadji Zaineb

Soutenu le : 10-06-2025 **Devant le jury composé de :**

Fahdi Chams Eddin	**Pr**	**Président**	**Echahid Larbi Tébessi – Tébessa**
Baali Fathi	**Pr**	**Examinateur**	**Echahid Larbi Tébessi – Tébessa**
Belfar Dalila	**MCA**	**Encadreur**	**Echahid Larbi Tébessi – Tébessa**

Année universitaire : **2024/2025**

Remerciements

Ce travail, qui représente ***grâce à Dieu*** *l'aboutissement d'un parcours riche en apprentissages et en expériences, n'aurait pas pu voir le jour sans le soutien, l'aide et la bienveillance de nombreuses personnes à qui j'exprime ici ma profonde reconnaissance.*

Je remercie tout d'abord ma professeure encadrante ***Belfar Dalila,*** *mon encadrante, pour ses remarques et orientations qui m'ont permis*

D'avancer avec assurance tout au long de ce projet.

Mes remerciements vont également à ***labo de somiphos Bir EL Ater et labo de science de la terre et l'univers de l'université de tébessa et de constentine,*** *pour la mise à disposition des équipements et des moyens matériels nécessaires à la partie pratique de ce travail.*

Je n'oublie pas ***mes enseignants de département de science de la terre et l'univèr univèrsité de tébessa*** *, dont le dévouement et la passion pour la transmission du savoir ont fortement influencé mon parcours académique.*

Un grand merci à ***mes camarades et amis****, pour leur soutien, leur entraide et leur présence constante dans les moments difficiles.*

Je remercie aussi ***Dr.Rihabe*** *.* ***Dr.Mahdi*** *.* ***Mr.Taher*** *et Mes collègues* ***S.Radja*** *et* ***O.Nousaiba*** *pour leur soutien dans la partie pratique de ce travail.*

Enfin, à ***ma famille****, qui a toujours été là, discrètement mais profondément, avec tout son amour et sa confiance. Vous avez été ma force dans chaque étape.*

Merci à chacun et chacune d'entre vous, pour votre empreinte dans cette étape de ma vie

Dédicace

À mes chers parents,

Pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices et votre confiance tout au long de mon parcours.

À ma sœur,

Merci pour ta présence constante et ton soutien sincère.

À mes amis fidèles,

Pour votre soutien, votre écoute et les moments partagés.

À mon oncle et son épouse,

Pour le soutien concret que vous m'avez offert, qui a contribué à ma persévérance.

À toute ma famille,

Pour votre présence, vos gestes et pensées bienveillantes.

Je vous dédie ce travail avec gratitude et respect.

Résumé

La pollution des eaux représente une menace croissante pour l'environnement et la santé humaine. Il est donc essentiel de caractériser les eaux en termes de polluants, qu'ils soient métalliques ou microbiologiques. La plaine de Chéria, au sud-ouest de Tébessa, constitue notre zone d'étude. Elle dispose d'importantes ressources en eaux souterraines, utilisées principalement pour l'agriculture, activité dominante, ainsi que pour les besoins domestiques, notamment au niveau de l'agglomération. Cependant, cette région connaît une dégradation importante de la qualité de ses eaux. Pour cette étude, 19 échantillons ont été prélevés à partir de puits et de forages considérés comme points de forte contamination. L'analyse a porté sur les métaux traces (Cd, Pb, Fe, Cu) par spectrométrie d'absorption atomique, et sur les éléments majeurs par dosage classique. Les résultats ont été interprétés à l'aide du diagramme de Piper et de l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Trois types d'eaux ont été identifiés : bicarbonatée magnésique (57 %), sulfatée magnésique (21 %) et chlorurée calcique (15 %). Les concentrations en fer, cuivre et plomb sont très faibles (<5 mg/L), tandis que celles du cadmium sont élevées, en raison des rejets industriels (métallurgie, batteries, plastiques), des fertilisants phosphatés, des eaux usées ou encore de la dégradation des canalisations métalliques. Par ailleurs, les analyses microbiologiques ont révélé la présence importante de coliformes totaux et d'Escherichia coli, liée principalement au rejet des eaux usées dans le milieu naturel.

***Mots-Clés:** Oued de Chéria. Les eaux soutérains. Contamination. Analyses hydrochimiques. Analyses microbiologiques. Eaux usées

Abstract

Water pollution represents a growing threat to the environment and human health. It is therefore essential to characterize water in terms of pollutants, whether metallic or microbiological. Our study area is the Chéria plain, south-west of Tébessa. It has significant groundwater resources, used mainly for agriculture, the dominant activity, as well as for domestic needs, particularly in the urban area. However, the region is experiencing a significant deterioration in water quality. For this study, 19 samples were taken from wells and boreholes considered to be highly contaminated. Trace metals (Cd, Pb, Fe, Cu) were analyzed by atomic absorption spectrometry, and major elements by conventional assay. Results were interpreted using Piper diagrams and Principal Component Analysis (PCA). Three types of water were identified: magnesium bicarbonate (57%), magnesium sulfate (21%) and calcium chloride (15%). Concentrations of iron, copper and lead are very low (<5 mg/L), while cadmium levels are high, due to industrial discharges (metallurgy, batteries, plastics), phosphate fertilizers, wastewater and the degradation of metal pipes. Microbiological analyses also revealed the presence of high levels of total coliforms and Escherichia coli, mainly due to the discharge of wastewater into the natural environment.

***Key words:** Oued de Chéria. Souterain waters. Contamination. Hydrochemical analysis. Microbiological analysis. Waste water

ملخص

يمثل تلوث المياه تهديدًا متزايدًا للبيئة وصحة الإنسان. لذلك من الضروري توصيف المياه من حيث الملوثات، سواء كانت معدنية أو ميكروبيولوجية. منطقة دراستنا هي سهل الشريعة الواقع جنوب غرب تبسة. وهي تحتوي على موارد كبيرة من المياه الجوفية التي تُستخدم بشكل رئيسي في الزراعة، وهو النشاط المهيمن، وكذلك للاحتياجات المنزلية، خاصة في المنطقة الحضرية. ومع ذلك، فإن نوعية المياه في هذه المنطقة آخذة في التدهور بشكل كبير. بالنسبة لهذه الدراسة، تم أخذ 19 عينة من الآبار والآبار التي تعتبر ملوثة بشدة. تم تحليل المعادن النزرة (الكادميوم والرصاص والحديد والنحاس) بواسطة مطياف الامتصاص الذري، والعناصر الرئيسية عن طريق الفحص التقليدي. تم تفسير النتائج باستخدام مخطط بايبر وتحليل المكونات الرئيسية (PCA). تم تحديد ثلاثة أنواع من المياه: بيكربونات المغنيسيوم (57%)، وكبريتات المغنيسيوم (21%) وكلوريد الكالسيوم (15%). كانت تركيزات الحديد والنحاس والرصاص منخفضة جداً (أقل من 5 ملغم/لتر)، بينما كانت تركيزات الكادميوم مرتفعة بسبب النفايات الصناعية (المعادن والبطاريات والبلاستيك) والأسمدة الفوسفاتية ومياه الصرف الصحي وتدهور الأنابيب المعدنية. كما كشفت التحاليل الميكروبيولوجية عن وجود مستويات عالية من القولونيات الكلية والإشريكية القولونية، ويرجع ذلك أساساً إلى تصريف مياه الصرف الصحي في البيئة الطبيعية.

***الكلمات الرئيسية:** وادي الشريعة. المياه السطحية. التلوث. التحاليل الهيدروكيميائية. التحليل الميكروبيولوجي. مياه الصرف الصحي

Table des Matieres:

Résumé

Abstracte

الملخص

Table des Matiers

Liste des tableaux

Liste des Figures

Introduction générale

Chapitre01:Généralité

1 Situation géographique: 1

..... 2

2 Couverture végétale: 3

3 Contexte économique: 3

4 Contexte Hydrographique: 3

Chapitre02: Géologie

1 Introduction: 5

2 Stratigraphie : 6

1.2 Le Secondaire: 6

1.2.1 Crétacé supérieur 6

1.3 Le Tertiaire 7

1.3.1 Eocène moyen inférieur : 7

1.3.2 Mio-Pliocène : 8

1.4 Le Quaternaire 8

1.5 Les dépôts actuels : 8

3 La tectonique : 9

3.1 Phase initiale (post-miocène) : 9

3.2 Deuxième phase (post-pontienne) : 10
4 Paléontologie: 10
4.1 Les poissons..... 10
4.2 Les mammifères..... 10
5 Conclusion : 11

Chapitre03:Hydro-Climatologie

Hydrologie

1 Introduction:..... 12
2 Etude des caractéristiques physique du bassin versant de Chéria:..... 12
2.1 Délimitation du bassin versant:..... 12
2.2 Etude des paramètres géométriques 13
2.2.1 Superficie du bassin versant:..... 13
2.2.2 Périmètre du bassin versant:..... 13
2.2.3 L'indice de compacité de Gravellius: 13
2.2.4 Rectangle équivalent : (Fig. N° 7) 13
2.2.5 Courbe hypsométrique : 16
..... 17
2.2.6 Les altitudes caractéristiques:..... 17
2.2.7 Les indice de pente 17

Climatologie

1 Introduction..... 20
2 Les stations de mesure :..... 20
3 Les Caractéristiques climatiques de la région de Chéria..... 20
3.1 La température 20
3.1.1 Le vent..... 23
3.1.2 La neige..... 23

3.1.3 L'humidité 23
3.1.4 Etude de l'évaporation 24
3.1.5 Etude de la pluviométrie 25
3.1.6 Détermination des indices climatique 27
..... 30
3.2 Détermination des paramètres du bilan hydrique 30
3.2.1 Etude de l'évapotranspiration 30
3.3 Bilan hydrique 33
3.3.1 Estimation du ruissellement 38
3.3.2 Estimation de l'infiltration 38
4 Conclusion 39

Chapitre04:Hydrogéologie

1 Introduction : 40
2 Description générale: 40
2.1 L'aquifère des calcaires maestrichtiens: 40
2.2 L'aquifère des calcaires Éocènes (aquifère Karstique): 41
2.3 L'aquifère Mio-Plio-Quaternaire: 42
3 Géométrie des aquifères : 42
4 Conditions aux limites des aquifères du plateau de Chéria : 43
5 Aperçus Hydrodynamiques des eaux souterraines 45
5.1 La piézométrie 45
6 Conclusion 47

Chapitre05: Hydrochimie et Microbiologie

Hydrochimie

1 Introduction : 48
2 Matériels et Méthodes : 48

3 Les paramètres physico-chimiques : 49
3.1 Mesure in situe : 49
3.2 Variation temporelle de la composition chimique(paramètre physique et chimique): 50
3.2.1 Conductivité électrique : 50
3.2.2 Le potentiel d'hydrogène (pH) : 51
3.2.3 Température : 51
3.2.4 Les cations majeurs 52
3.2.5 Les anions majeurs : 53
4 Interprétation dé facies chimique : 54
4.1 Diagramme de Piper : 54
4.2 La représentation graphique sur le diagramme de Schoeller Berkaloff : 55
4.3 Utilisation agricole des eaux souterraines (diagramme de Wilcox et Riverside): 56
5 Evolution spatiale des paramètres physico-chimiques : 58
5.1 Conductivité électrique : 59
5.2 Le calcium : 60
5.3 Le magnésium : 62
5.4 Le sodium : 64
..... 65
5.6 Potassium K^+ : 65
5.7 Les Bicarbonates HCO_3^-: 67
5.8 Les Chlorures Cl^-: 68
..... 69
5.9 Les sulfates : 70
5.10 Les nitrates : 71
5.11 Les Nitrite : 74
5.12 Les Métaux lourds : 74

5.12.1 Fer: 74
..... 76
5.12.2 Zinc: 76
5.12.3 Cadmium: 78
5.12.4 Le Plombe: 79
5.12.5 Le Cuivre: 81
6 Analyse statistique des éléments physico-chimiques : 82
6.1 Analyse en Composantes Principales (ACP): 82
7 Conclusion : 84
Microbiologie
1 Introduction : 86
2 Les Analyses Microbiologique 86
2.1 Matériels et Méthodes : 86
2.2 La présence des bactéries : 87
2.3 Interprétation des résultats : 88
3 Conclusion : 89
4 L'impact des éléments dont les concentrations et les bactéries dépassent la limite de l'OMS sur l'environnement : 90
5 La relation entre l'hydrochimie et microbiologie 91
Conclusion générale
Recommandation
Bibliographie
Annexe01
Annexe02

Liste des Tableau:

Tableau 1: La répartition de la surface en fonction de la tranche d'altitude..... 16
Tableau 2: Classification du relief en fonction de «Ds» d'après L'O.R.S.T.O.M..... 18
Tableau 3: Définition des paramètres caractérisant le bassin versant de Chéria..... 19
Tableau 4: Les coordonnées des stations de mesures. 20
Tableau 5: Températures moyennes mensuelles en °C à la station de Tébessa (1975-2019). 21
Tableau 6: Humidité relative moyenne en % à la station de Tébessa. 24
Tableau 7: Evaporation en % à la station météorologique Tébessa. 24
Tableau 8: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) des stations de Hammamet et Chéria (1975-2019). 26
Tableau 9: Répartition saisonnière des précipitations de l'année 1975-2014. 27
Tableau 10: Résultats de calcul de l'ETP par Thornthwaite. 32
Tableau 11: Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Cheria (1975/2019). 35
Tableau 12: Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Cheria (1995/1996). 37
Tableau 13: Résultats du calcul du ruissellement. 38
Tableau 14: Résultats du calcul d'infiltration. 38
Tableau 15: Résultats des analyses microbiologiques..... 88

Liste des Figure:

Figure 1: carte de situation géografique de plain de chéria 2
Figure 2: réseaux hydrographique de plain de chéria 4
Figure 3: Carte des altitudes du bassin versant de Chéria (in Djellali 2024) 5
Figure 4: Géologie de la région de Chéria ces environs (extrait de la carte géologique de L'Algérie 1/500000) 7
Figure 5: Coupe géologique dans le BV de chéria (In Ben hammadi 2016) 8
Figure 6: Esquisse tectonique des environs de Tébessa et Hammamet avec l'emplacement des directions des contraintes maximales. (Kowalski2002). 9
Figure 7: Réctangle équivalant (In Baali.2007) 15
Figure 8: Courbe hypsométrique et des fréquences altimétriques (In baali,2007) 17
Figure 9: Répartition mensuelle des températures 1975-2019. 21
Figure 10: Répartition annuelle des températures 1975-2019 22
Figure 11: Répartition interannuelle des précipitations à la station de Chéria (1975-2019) 25
Figure 12: Distribution interannuelle des précipitations mensuelles de la station de Chéria (1975-2019). 26
Figure 13: Répartition saisonnière des précipitations Chéria (1975 /2019). 27
Figure 14: Climagramme d'EMBERGER 28
Figure 15: Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martone 1923 29
Figure 16: Diagramme pluviothermique de la station de Chéria (1975- 2014) 30
Figure 17: Coupe hydrogéologique à travers le plateau de Chéria (In Baali F. 2004) 41
Figure 18: Localisation des profils électriques au plateau de Chéria (In Baali F. 2007) 43
Figure 19: Carte des conditions aux limites d'après Gaud B. 1978 modifié (in Baali.F 2006) 44
Figure 20: Schéma théorique montrant les relations entre les aquifères au sud de Cheria. 45
Figure 21: Les carte piézométrique. (Baali. F, 2007). 46
Figure 22: Carte piézométrique.Octobre 2010 (Chamekh. K, 2010). 47
Figure 23: Mesure in situ des paramètres physiques (T, Cond Et, PH). 49
Figure 24: Courbe des Conductivités électrique(oued chéria) (Avril 2025) 50
Figure 25: Evolution de la valeur du pH dans la région d'étude(oued chéria) 51
Figure 26: Evolution de la valeur de T°C dans quelques points d'eau de la région d'étude(oued chéria) 52
Figure 27: Evolution du taux des cations dans le plateau de Chéria(oued chéria) 2025. 53

Figure 28: Evolution du taux des anions dans le plateau de Chéria (oued chéria) 2025. 54
Figure 29: digramme de piper de la région de Chéria(oued chéria) (Avril 2025) 55
Figure 30: digramme de Schoeller Berkalof de la région de Chéria(oued chéria) (Avril 2025) 56
Figure 31: digramme de Wilcox de la région de Chéria(oued chéria) en Avril 2025. 57
Figure 32: digramme de Riverside de la région de Cheria (oued chéria) (Avril 2025) 58
Figure 33: carte d'évolution de la conductivité dans la plaine de chéria Oued Chéria (Avril 2025) 59
Figure 34: Graphe d'évolution du conductivité de la région de chéria (oued chéria) en Avril 2025 60
Figure 35: Carte d'évolution du Calcium dans la plaine de Chéria (oued chéria) (Avril 2025) 61
Figure 36: Graphe d'évolution du Calcium de la région de chéria(oued chéria) Avril 2025 62
Figure 37: carte d'évolution du Magnésium dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025) 63
Figure 38: Graphe d'évolution du Magnésium de la région de chéria(oued chéria) Avril 2025 63
Figure 39: Carte d'évolution du Sodium dans la plaine de chéria(oued chéria) (Avril 2025) 64
Figure 40: Graphe d'évolution du Sodium dans la plaine de chéria(oued chéria) (Avril 2025) 65
Figure 41: carte d'évolution du Potassium dans la plaine de Chéria (oued chéria) (Avril 2025) 66
Figure 42: Graphe d'évolution du Potassium dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025) 66
Figure 43: carte d'évolution du Bicarbonates dans la plaine de Chéria (oued chéria) (Avril 2025).. 67
Figure 44: graphe d'évolution du Bicarbonates dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025)68
Figure 45: carte d'évolution du Chlorure dans la plaine de Chéria (oued chéria) (Avril 2025) 69
Figure 46: carte d'évolution du Chlorure dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025) 69
Figure 47: carte d'évolution du Sulfates dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025) 70
Figure 48: graphe d'évolution du Sulfates dans la plaine de Chéria (oued chéria) (Avril 2025) 71
Figure 49: le cycle de l'azote dans le sol (Hill, 1991) in Fahdi 2008 72
Figure 50: Carte d'évolution du Nitrate dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025) 73
Figure 51: graphe d'évolution du Nitrate dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025) 73
Figure 52: Evolution du Nitrite dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025) 74
Figure 53: carte d'évolution du Fer dans la plaine de chéria (oued chéria) Avril 2025 75
Figure 54: Graphe d'évolution du Fer dans la plaine de chéria (oued chéria) Avril 2025 76
Figure 55: Carte d'évolution du Zinc dans la plaine de Chéria (oued chéria) (Avril 2025) 77
Figure 56: Graphe d'évolution du Zinc dans la plaine de Chéria (oued chéria) (Avril 2025) 77
Figure 57: Carte d'évolution du Cadmium dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025) 78
Figure 58: Graphe d'évolution du Cadmium dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025) 79
Figure 59: Carte d'évolution du Plombe dans la plaine de Chéria(oued chéria) Avril 2025 80
Figure 60: Carte d'évolution du Plombe dans la plaine de Chéria(oued chéria) Avril 2025 80

Figure 61: carte d'évolution du Cuivre dans la plaine de chéria (oued chéria) Avril 2025..... 81
Figure 62: Graphe d'évolution du Cuivre dans la plaine de chéria (oued chéria) Avril 2025..... 82
Figure 63: projection des variables sur le plan factoriel F1 et F2..... 83
Figure 64: Représentation graphique des Individus dans la région de Chéria (Avril 2025). 84
Figure 65: Boîtes de Pétri contenant des milieuxde filtration. 87

Introduction Générale:

La pression croissante exercée par les activités humaines sur les ressources en eau et le changement climatique a conduit à une pénurie d'eau. Cette dernière est devenue l'une des crises les plus pressantes de notre époque menaçant la vie quotidienne de millions de personnes à travers le monde.

Dans de nombreuses régions, notamment dans les zones fortement urbanisées ou dédiées à l'agriculture intensive, les systèmes d'assainissement sont fréquemment déficients, voire absents ont accru, de manière chronique ou accidentelle, la pollution des ressources en eau. Cette pollution chimique provient entre autres des engrais de synthèse et des pesticides utilisés par l'agriculture et des rejets toxiques de l'activité industrielle. ce que nous demande de faire une évaluation et une gestion constante et attentive des ressources en eau douce disponibles (soit s'il s'agisse d'eaux souterraines soit de surface).

Dans des zones semi-arides telles que Tébessa, l'accès à l'eau est de plus en plus difficile en raison du manque de pluie et de l'augmentation des demandes dans les secteurs agricole et domestique (ANRH, 2021). L'oued de Chéria, qui se trouve dans la région de Chéria, représente une voie hydrologique cruciale pour les habitants de la région. Cependant, il a subi actuellement une détérioration alarmante causée par les rejets domestiques et agricoles.

La région de Chéria, se distingue par l'existence de plusieurs nappes phréatiques. Bien qu'ils soient une ressource stratégique pour la région, leur susceptibilité à la pollution n'a pas encore été largement étudiée.

L'objectif de ce travail est d'essayer de savoir si les eaux usées ont une influence sur la nappe phréatique locale ? Cette question soulève des préoccupations majeures concernant la santé publique, la sécurité en matière d'eau et la durabilité environnementale.

Afin d'identifier les sources de pollution potentielles et de suggérer des mesures appropriées à mettre en œuvre, une étude d'impact a été effectuer pour atteindre ce but.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres : Il implique Une vue d'ensemble de la région et de son cadre naturel, une description géologique et tectonique, hydroclimatologique, et hydrogéologique de la région, suivie d'un échantillonnage des eaux souterraines destiné à une analyses physico-chimiques et microbiologiques. Les résultats obtenus ont été analysés et interprétés, dans le but de présenter une perspective claire et scientifique sur la situation des ressources en eau dans cette région vulnérable.

Chapitre 01: Généralité

1 Situation géographique:

La plaine de Chéria se trouve dans le nord-est de l'Algérie (Fig. 1), à une distance de 47 kilomètres au sud-est de la ville de Tébessa. L'étude porte sur une superficie de bassin versant de 720 km². Elle est totalement intégrée au bassin versant ChottMelghir, qui a une forme approximativement triangulaire et est une composante essentielle des hauts plateaux. Ces derniers forment un ensemble dense de montagnes d'altitude moyenne à élever, plus ou moins séparées par des dépressions. Avec une altitude moyenne de 1189 m, elle est grossièrement délimitée entre les parallèles 35°50 et 36°. En périphérie, un relief montagneux surplombant la cuvette de 200 à 300 mètres. La lisière montagneuse atteint des hauteurs culminant à plus de 150 mètres (Djebel Doukane 1650 m). (Ben hammadi.2016, Rouabhia.2010)

Les limites de bassin versant de cheria sont:

- Dans le Nord DJ Serdies, DJ Troubia et DJ Tezbente;
- Dans le sud DJ Zora et DJ Boukammech;
- Dans l'Est DJ Doukane ;
- Dans l'ouest DJ Sourieu.

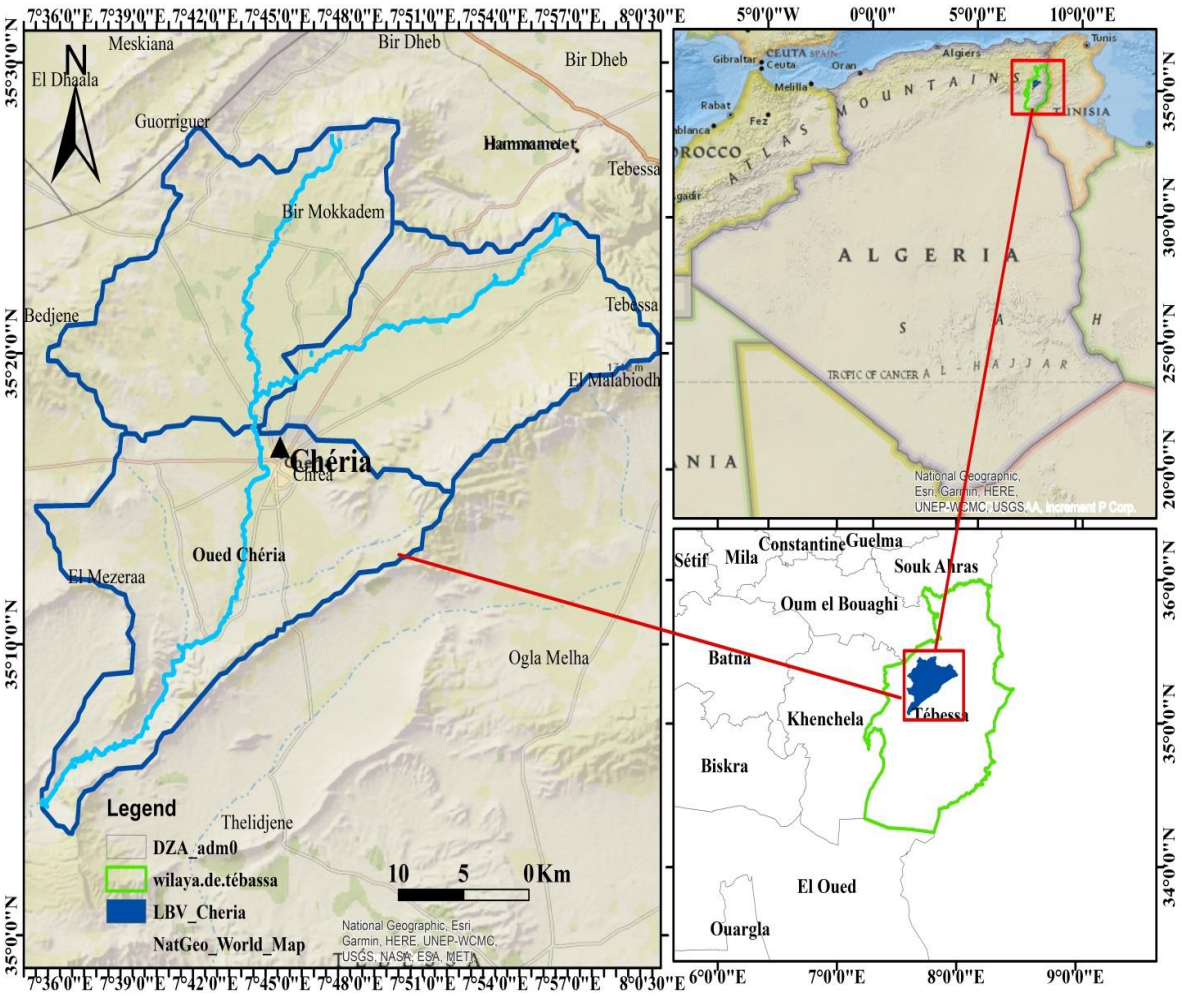


Figure 1: carte de situation géografique de plain de chéria

2 Couverture végétale:

La cuvette de Chéria fait partie du bassin versant de Chott Melghir, qui est un versant sud caractérisé par une végétation peu dense due à l'exposition aux courants chauds et secs durant les saisons estivales. (Zereg .2010)

3 Contexte économique:

La région d'étude est à forte vocation agropastorale, connue à l'échelle nationale par son cheptel ovin et ses vastes étendus de parcours steppiques, qui constituent la principale source de revenu des populations, la sécheresse qui a sévit pendant la décennie précédente a entraîné un déficit important en matière d'alimentation du cheptel, ce qui a poussé la multiplication des aires irriguées, surtout avec l'émergence du soutien agricole basée sur la mobilisation des ressources en eau souterraine .

Dans Toute la région d'étude, on trouve quelques vestiges archéologiques qui témoignent de conditions biogéographiques différentes du milieu, à des époques reculées.

On dénombre ainsi des sites néolithiques, dénommés escargotières, à cause de l'importance considérable des tests d'escargots d'eau douce. Ces sites se développaient en bordures des lacs existant à l'époque capsienne.

Le paysage est ponctué de sites romains plus récents et d'envergure, notamment des ruines d'anciennes stations d'extraction d'huile qui témoignent de l'importance de la culture de l'olivier. L'abondance de la région était notable, à tel point qu'elle était nommée « région du blé » par les romains. (Zereg.2010)

4 Contexte Hydrographique:

La plaine de Chéria est traversée par l'Oued Chéria, un cours d'eau à écoulement intermittent qui descend vers le sud. Ce dernier est constitué d'un réseau de canaux qui naissent des montagnes entourant la plaine.

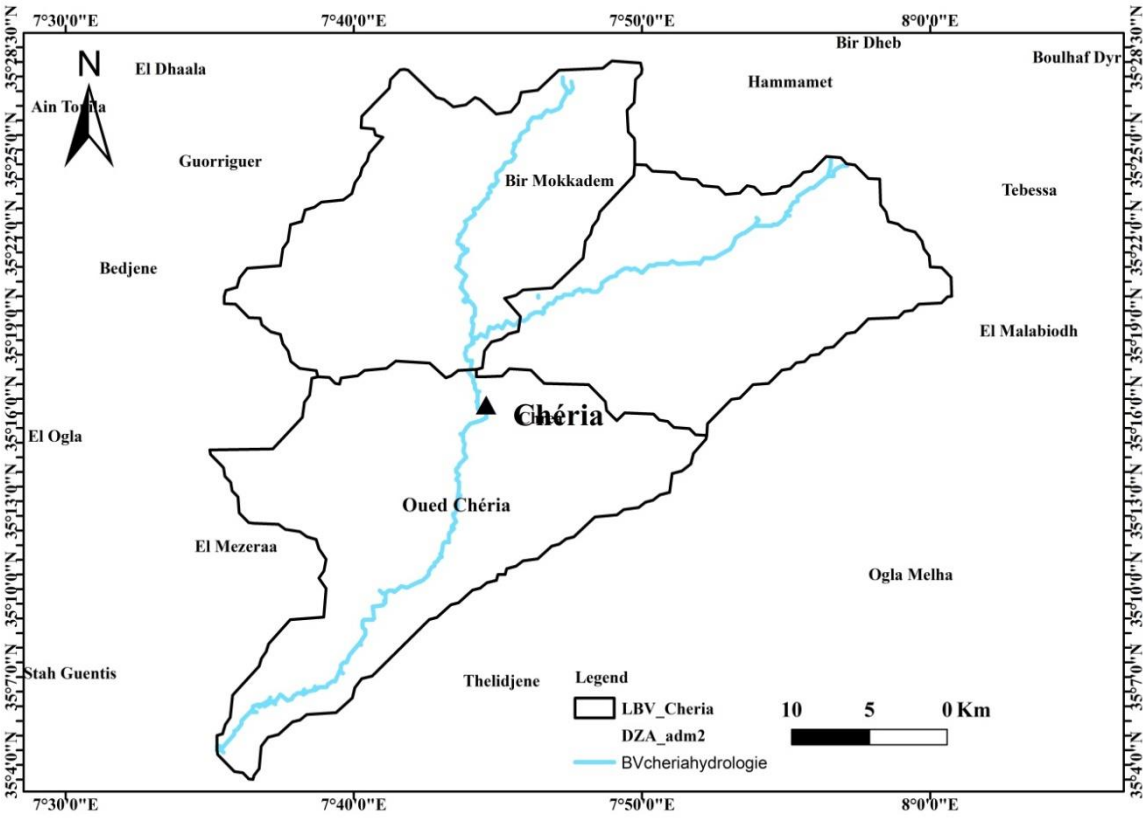


Figure 2: réseaux hydrographique de plain de chéria

Chapitre 02: Géologie

1 Introduction:

Le plateau de Chéria, qui fait partie des systèmes hydriques souterrains situés dans la wilaya de Tébessa, se distingue par un système carbonaté qui constitue le réservoir d'eau principal de cette région.

1. Aspect géomorphologique:

Afin d'atteindre une bonne compréhension du comportement hydrogéologique de la région d'étude un aperçu géomorphologique est indispensable.

Plusieurs études réalisées sur cette zone, abordant l'aspect géologique, sont à mentionner, dont les auteurs comme L. Durozoy (1947), Ricard (1979), etc.

Une chaîne de montagnes constitue les différentes limites du bassin, situées à sa périphérie. L'altitude maximale de ces montagnes s'élève à 1685m (pic du Doukkane). Les inclinaisons de ces montagnes varient de manière significative (figure 03). L'inclinaison générale du bassin se dirige du nord au sud. Du fait de sa configuration triangulaire, le bassin s'étend davantage au nord qu'au sud, où les reliefs montagneux se dirigent vers l'évacuation.

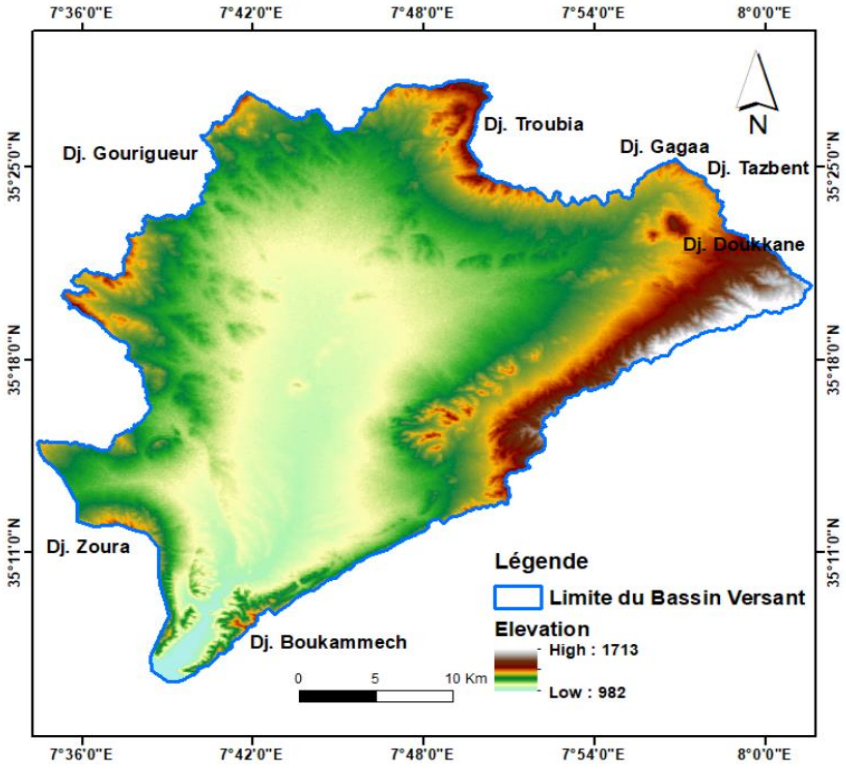


Figure 3: Carte des altitudes du bassin versant de Chéria (in Djellali 2024)

2 Stratigraphie :

l'aspect stratigraphie du plus anciens vers le plus récent sont:

2.1 Le Secondaire:

2.1.1 Crétacé supérieur

La période de crétacé est caractérisée par de puissants dépôts marneux, témoin d'une sédimentation vaseuse généralisée, mais la fin de l'époque est marquée par l'apparition d'une sédimentation essentiellement calcaire : calcaire à Inocérames(figure 04).

2.1.1.1 Turonien

Affleure au Nord (Dj. Essenn, Dj. Gaaga) et au Sud (Outa Oum Khaled) sous forme des calcaires beiges, roses à patine, parfois sombres et piquetés d'hématite.

2.1.1.2 Sénonien supérieur

2.1.1.2.1 Campanien

D'après R. Laffitte (1956); il s'agit des marnes grises en profondeur, verdâtre a la surface altérée et contiennent de nombreux cristaux de gypse a la surface provenaient de la décomposition des pyrites. Elles se localisent dans la plus grande bordure externe du bourrelet montagneux limitant le plateau de Chéria, d'une épaisseur varie entre 300 et 400m.

2.1.1.2.2 Maestrichtien

Des calcaires tendres crayeux surmontent ces marnes, subit de notables variations de faciès du Nord au Sud. Les bancs supérieurs se chargent en silex et présentent une grande analogie de faciès avec certains niveaux de l'Éocène moyen. L'épaisseur peut être estimée à 250m ; les forages Bir Droudj, J8-9 et F2 ont traversé.

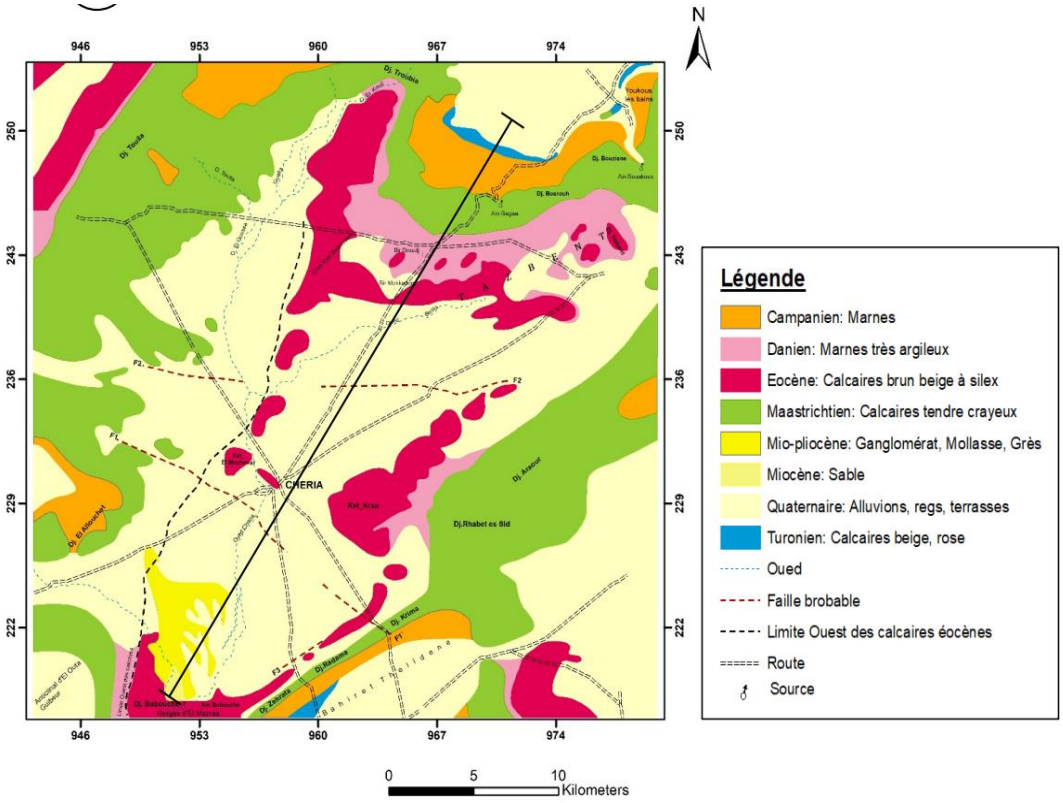


Figure 4: Géologie de la région de Chéria ces environs (extrait de la carte géologique de L'Algérie 1/500000).

2.2 Le Tertiaire

2.2.1 Eocène moyen inférieur :

Les formations calcaires du Maestrichtien sont suivies par celles du Danien et du Thanétien. Elles sont caractérisées par des couches marneuses noirâtres qui peuvent atteindre une épaisseur de 150 m (Mont de Tazbent). Vers le sud, dans la région de Télidjène, on peut observer des calcaires lumachélliques qui caractérisent le Thanétien.

On retrouve ensuite les strates de l'Yprésien et du Lutétien, caractérisées par des formations carbonatées (calcaires et marnes) ainsi que la présence de niveaux phosphatés qui signalent l'Yprésien. Le Lutétien est quant à lui caractérisé par la présence de calcaires à gypse vulnérables qui provoquent fréquemment des phénomènes d'effondrement dans cette région (figure 05).

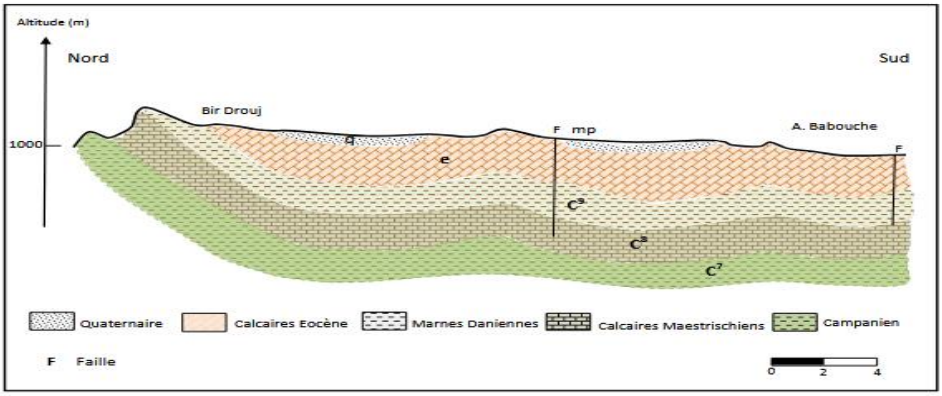


Figure 5: Coupe géologique dans le BV de chéria (In Ben hammadi 2016)

2.2.2 Mio-Pliocène :

Le Mio-Pliocène, qui se compose de strates d'argiles à gypses s'alternant avec des taches de sables jaunes, recouvre les calcaires du milieu de l'Éocène moyen en discordance. Elle peut parfois dépasser une épaisseur de 60 m.

2.3 Le Quaternaire

Présentés en strates avec une inclinaison dirigée vers la zone sud du bassin, on peut le distinguer au nord aux alentours de Tazbent (Nord-Est). Plus au sud, on identifie le quaternaire qui se présente sous forme de cailloutis.

On distingue actuellement trois catégories d'alluvions : les alluvions de remplissage, les alluvions de piedmont et les éluvions. Ils sont composés de cailloutis et de galets de taille réduite enveloppés dans un ciment plus ou moins argileux, formant ce que l'on désigne comme les marécages de Chéria.

Les cailloutis purifiés constituent les alluvions de piedmont et se trouvent aux abords de la plaine de Chéria (Fig. 5). Les éluvions sont des fragments de dimensions variées (de quelques centimètres).

2.4 Les dépôts actuels :

Ils apparaissent en deux variants:

-Le marécage de Chéria, qui se distingue par l'occupation d'une succession d'argiles et de niveaux de cailloutis, est caractérisé par la colmatation des fonds dans la section amont de la plaine de Chéria, qui peut dépasser les 50 mètres de profondeur. Ce phénomène est dû à la présence de caillouts et de petits galets enveloppés dans le limon.

-Les dépôts alluviaux des piedmonts qui couvrent toute la bordure de la plaine sont majoritairement composés de graviers calcaires, issus de l'altération des formations calcaires du Maestrichtien.

3 La tectonique :

La constitution tectonique de la zone examinée a probablement été formée à la suite de l'apparition de deux phases orogéniques (J. M. Villa 1977)

3.1 Phase initiale (post-miocène) :

Elle apparaît dès la fin du Crétacé supérieur et inférieur. Son apogée se trouve entre le Lutétien supérieur et le Miocène inférieur. Effectivement, nous sommes en présence de la phase atlasique, qui est sans doute la phase prédominante de plissement dans la zone d'étude. Selon l'étude d'R. Laffite (1949) sur l'Aurès, il identifie cette phase comme étant la principale phase orogénique de l'Atlas Saharien. C'est au cours de cette étape que les plissements de couverture de direction SW-NE se sont formés, fournissant ainsi les grandes lignes des structures anticlinaux (Dj. Bouroumane).

Le diapirisme du Trias devait commencer pendant cette étape tectonique qui s'est poursuivie jusqu'au villafranchien inclus.

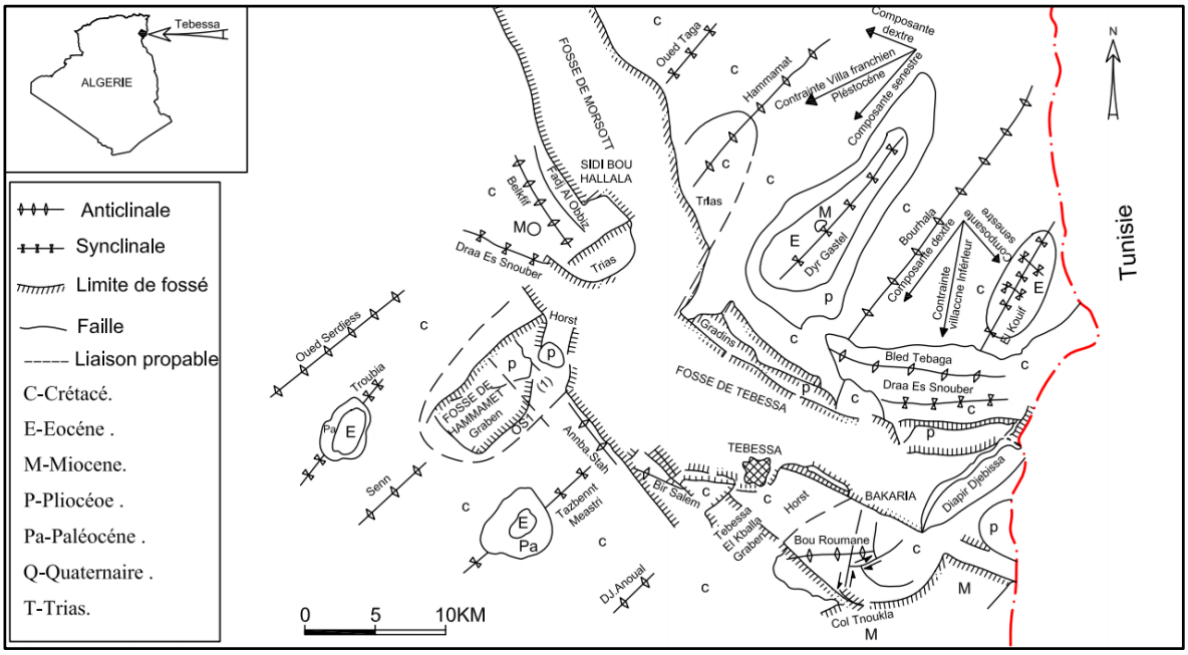


Figure 6: Esquisse tectonique des environs de Tébessa et Hammamet avec l'emplacement des directions des contraintes maximales. (Kowalski2002).

3.2 Deuxième phase (post-pontienne) :

Cette phase vient après les plissements antérieurs. Elle est à l'origine d'une tectonique de fracture, caractérisée par des déplacements du socle. L.D. Visse (1956) estime, après avoir analysé les mouvements de cette phase, que les vastes bassins circonscrits par les chaînes montagneuses anticlinales ont indubitablement été soumis à des actions d'affaissement, ce qui a conduit à la formation de la plaine de Chéria (figure 6).

Deux systèmes des fractures post-miocènes, l'un orienté Est-Ouest et l'autre Nord-Ouest Sud-Est, caractérisent le plateau de Chéria. Les fractures Est-Ouest ont principalement un impact sur les affleurements plus anciens situés au sommet des crêtes et influencent les flexures sahariennes, semblant être en lien avec les accidents profonds qui génèrent ces structures.

En revanche, les fractures Nord-Ouest Sud-Est affectent l'ensemble de la chaîne Dj. Labiod, Dj. Oung et Dj. Oum El Kemmakem, marquées par des rejets moindres comparativement aux fractures précédemment mentionnées.

Les plis sont caractéristiques de ceux couramment identifiés dans l'Atlas Saharien. Ils sont de type isopaque, leur origine provenant donc du niveau de structure intermédiaire. Ils sont fréquemment compactés, érigés en plans verticaux, ce qui indique une réduction significative de la couverture sédimentaire. Étant donné sa rigidité, le socle étant plus rigide, n'a pas pu être réduit en taille comme la couverture. C'est donc une tectonique de couverture.

4 Paléontologie:

Dans ce passage, nous tentons de mentionner certains extraits relatifs aux formations de la région, tirés du livret sur la paléontologie des vertébrés en Afrique du Nord (Français) par C. Arambourg de 1952.

4.1 Les poissons

Les niveaux de phosphate de l'Éocène, tout comme ceux du Maestrichtien, contiennent une abondance de débris de vertébrés. Dans les zones du Sud constantinois et du Sud tunisien, ils constituent des gisements significatifs qui sont actuellement en exploitation active. L'âge de leurs dépôts varie du montien au lutétien supérieur (Baali2007).

4.2 Les mammifères

Le site du projet déclare : « Nos connaissances sur les faunes de mammifères du tertiaire en Bérie sont très lacunaires. »

Aucun document certain n'a encore été entièrement fourni pour l'Éocène et l'Oligocène. Les faunes du miocène inférieur et moyen ne sont que partiellement connues à travers quelques témoignages sporadiques.Je mentionnerai, en ce qui concerne les strates les plus basses du Miocène, les dents de Proboscidiens découvertes, l'une dans la région de Khenchla (Aures) et associée, selon Gaudry, à celles du *Mastodon turicensis* Schinz. L'autre a été trouvée en Kabylie par Depéret (1897) et attribuée au genre *Phiomia* par Osborne (1936).

« Il est probablement approprié d'attribuer les restes de *Mastodon* et de *Dinotherium* trouvés dans les strates continentales superposées aux niveaux phosphatés marins du Sud constantinois aux horizons de base du miocène (Brives, 1919, 1920) ».

5 Conclusion :

Les recherches effectuées sur le plateau de Chéria ont mis en lumière une série stratigraphique qui témoigne d'une séquence temporelle allant du Campanien au Plio-Quaternaire. Cette formation se distingue par une succession de strates calcaires et marneuses, témoignant des diverses étapes de sédimentation qui ont influencé la région au cours de son histoire. Elle finit avec des couches plus modernes, composées de sédiments et de sables, qui attestent du développement géologique plus récent de l'espace. De plus, deux étapes tectoniques importantes ont eu un impact profond sur la structure géologique de la région, conduisant à l'apparition d'un synclinal qui illustre les répercussions des mouvements tectoniques ayant touché cette région au fil des différentes périodes géologiques.

Chapitre 3: Hydro-climatologie

Hydrologie:

1 Introduction:

Le régime des cours d'eau sur le plateau de Chéria varie considérablement du Nord au Sud. Dans la région nord, les oueds se dirigent des bordures vers la cuvette, présentant un grand nombre de talwegs. Deux Oueds majeurs recueillent les eaux des tempêtes et les conduisent vers le cœur de cette zone du plateau. Oued Blilia suit un parcours de Dj Tazbent en direction de la route de Chéria El Hammamet (nord-est au sud-ouest). Oued Troubia s'étend sur une quinzaine de kilomètres depuis Dj Troubia et se dissipe dans la plaine de Bir Djelmda. À l'exception des périodes de fortes crues, leur déversement peut atteindre la ville de Chéria.

Ces crues majeures entraînent une inondation de la cité, poussant les autorités à construire un rempart protecteur autour de la ville, qui se déverse ensuite dans l'oued Chéria.

Ce cours d'eau fait office de canal d'évacuation jusqu'au défilé de Mazraa, deux vallées qui le bordent : à l'ouest, l'oued El Allouchet et à l'est, Oued Tbaga.

À l'exception de celui de Chéria, tous les oueds sont intermittents et n'ont pas d'intérêt.

Dans les années 1970, divers points d'eau approvisionnaient le réseau hydrographique de cette région, mais ils ont disparu en raison de la sécheresse et d'une surexploitation (les sources du Nord : Tazbent, Oglat Eddieb, Gueriene et Bouchguifa). Celles situées dans le Sud: Chéria et Ain Babouche.

Selon les informations précédentes, notre stratégie hydrologique se fondera sur l'oued de Chéria. (baali.2007)

2 Etude des caractéristiques physique du bassin versant de Chéria:

Cette recherche vise à détailler les différentes techniques de quantification, de calcul et de présentation utilisées pour décrire les principaux paramètres morphologiques qui influencent la variation du régime hydrologique.

2.1 Délimitation du bassin versant:

Le bassin versant pour une portion rectiligne d'un cours d'eau est défini comme la zone de conversion des précipitations en débits évacués par ce cours d'eau et ses tributaires.

Les attributs hydrologiques d'un bassin versant sont influencés par le climat, la morphologie du terrain, la composition de ses sols et la végétation présente. Dans notre cas, chaque bassin versant est distinct

des autres par une ligne de séparation des eaux. Cette frontière est dessinée sur les cartes topographiques à l'échelle 1/50 000 en suivant les lignes de crête qui délimitent le bassin. (Baali.2007)

2.2 Etude des paramètres géométriques

2.2.1 Superficie du bassin versant:

Selon une carte à l'échelle 1/50.000 et par le biais d'un planimétrage, le bassin de Chéria couvre approximativement une superficie de 810 km².

2.2.2 Périmètre du bassin versant:

La principale utilité du périmètre réside dans sa capacité à définir l'indice de compacité de Gravellius (Kc). La circonférence du bassin d'Oued Chéria est de 148 km.

2.2.3 L'indice de compacité de Gravellius:

On désigne également cela comme l'indice de forme du bassin, qui va influencer le flux global. Cet indice est défini comme le quotient du périmètre du bassin versant et du périmètre d'un cercle ayant une surface équivalente.

$$Kc=0.28P / (S)^{-½}$$

$Ks=0.28P/(S)^{-½}$

Si : **Kc < 1** : Cela signifie que le bassin versant a une forme compactée.

Si : **Kc > 1** : Cela signifie que le bassin versant a une forme étendue.

Nous avons :

P=148 Km

S = 810 Km2

Kc = 1.34 > 1

Autrement dit, le bassin versant de Chéria présente habituellement une forme étendue.

2.2.4 Rectangle équivalent : (Fig. N° 7)

Cette configuration permet de faciliter la comparaison entre les bassins versants à partir du point géométrique où :

Le contour du bassin se transforme en rectangle de périmètre identique ;

Les courbes de niveau se présentent sous forme de lignes droites parallèles à la largeur du rectangle ;

Le point d'évacuation est situé sur l'un des petits côtés du rectangle.

La longueur (L) et la largeur (l) sont définies comme suit :

$$\boldsymbol{l = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12}\left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2}\right)}$$

$$\boldsymbol{L = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12}\left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2}\right)}$$

On aura donc : Réctangle équivalant

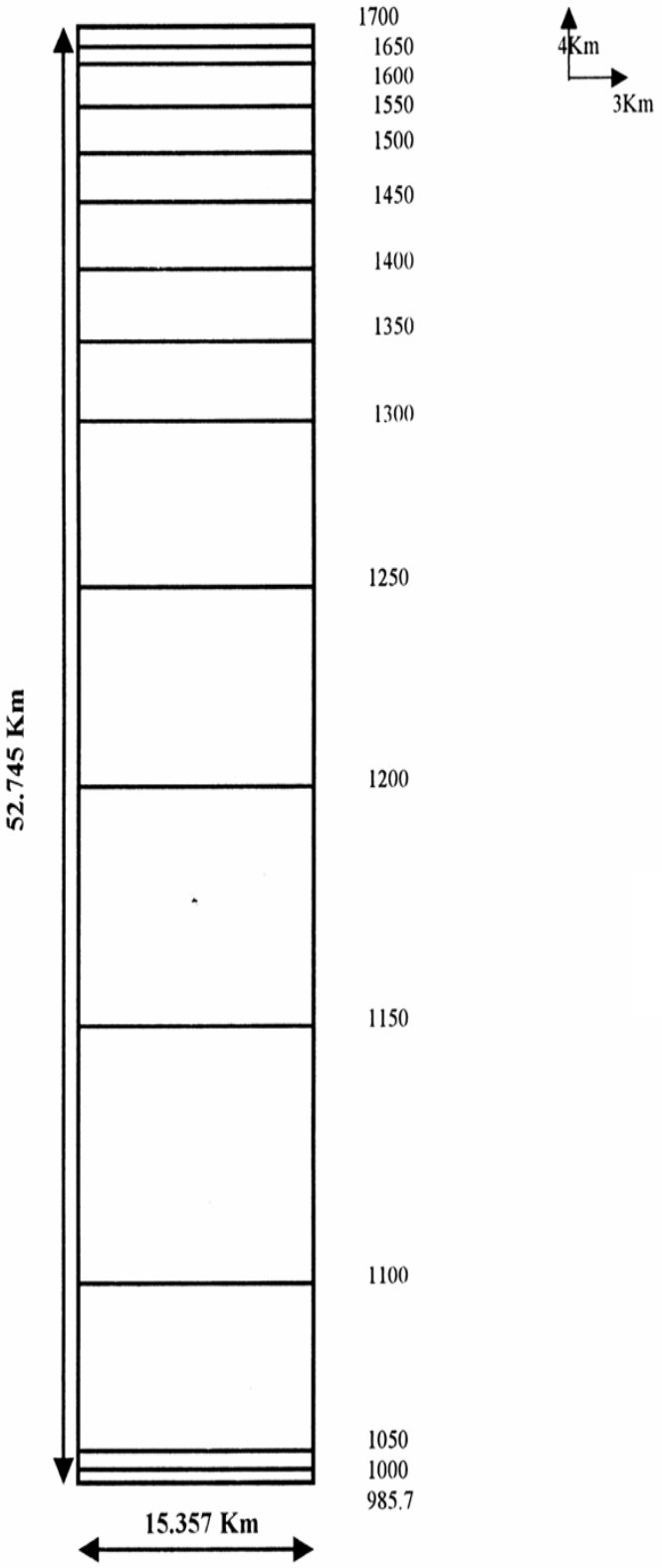


Figure 7: Réctangle équivalant (In Baali.2007)

Le relief joue un rôle crucial, car il influence largement la capacité des terrains à ruisseler. C'est un élément clé dans l'analyse hydrologique d'un bassin, et ses propriétés hypsométriques permettent de procéder à la classification du relief.

2.2.5 Courbe hypsométrique :

Le relief est défini par sa courbe hypsométrique, qui fournit des informations sur la distribution de la surface en fonction des intervalles d'altitude, affichant les tranches d'altitude sur l'axe des ordonnées et l'étendue du bassin sur l'axe des abscisses. Chaque point correspond à une altitude minimale égale à celle-ci. Les surfaces indiquées sur l'axe des abscisses sont présentées sous forme de pourcentage de la superficie totale du bassin. La représentation altimétrique du bassin versant de l'Oued Chéria est illustrée dans le tableau N°1

La courbe hypsométrique du bassin versant de Chéria présente généralement un profil irrégulier.

Tableau 1: La répartition de la surface en fonction de la tranche d'altitude

Tranches D'altitudes	Surfaces Partielles	Surfaces Cumulées	Surface Partielles	Surface Cumulées	Surfaces Dénivelée	VaiHi
H (m)	Sj (Km^2)	LSi (Km^2)	ai = Si /S (%)	Lai (%)	Hi (m)	(%)
1700-1650	1.05	1.05	0.13	0.13	50	0.25
1650-1600	0.95	2.02	0.12	0.25	50	0.24
1600-1550	5.21	7.23	0.64	0.89	50	0.57
1550-1500	6.32	13.55	0.78	1.69	50	0.62
1500-1450	7.11	20.66	0.88	2.55	50	0.66
1450-1400	14.15	34.81	1.75	4.3	50	0.94
1400-1350	15.62	50.43	1.93	6.23	50	0.98
1350-1300	20.07	70.5	2.48	8.71	50	1.11
1300-1250	92.87	163.37	11.46	20.17	50	2.41
1250-1200	129.12	292.49	15.94	36.12	50	2.82
1200-1150	185.33	477.82	22.88	59	50	3.38
1150-1100	242.94	720.76	30	89	50	3.87
1100-1050	84.07	804.83	10.37	99.37	50	2.28
1050-1000	3.8	808.63	0.47	99.84	50	0.48
1000-985.7	1.37	810	0.17	100	14.3	0.16

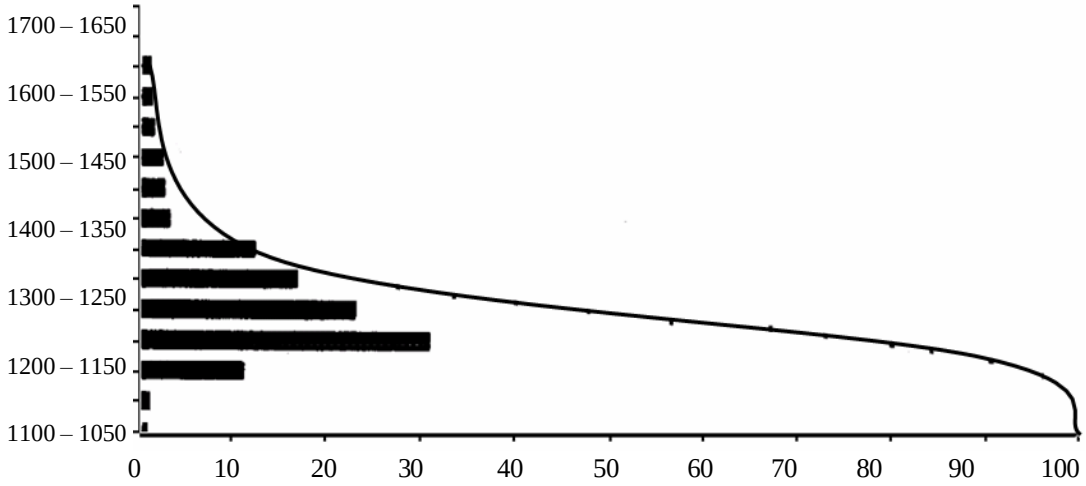


Figure 8: Courbe hypsométrique et des fréquences altimétriques (In baali,2007)

2.2.6 Les altitudes caractéristiques:

Les élévations spécifiques requises pour les calculs hydrologiques sont :

2.2.6.1 Altitude moyenne:

On obtient cela par l'expression suivante :

$$\boldsymbol{Hmax} = \sum \frac{\boldsymbol{V}}{\mathbf{5}}$$

Étant donné que :

V = [(h1+h2)/2]S1=HmoySi ; Nous recevons pour notre réservoir : Hmoy=1189,11m.

L'altitude moyenne correspond au point de coordonnée S/2 sur la courbe hypsométrique, pour notre bassin, elle est de 1189 m.

2.2.6.2 Altitude maximale et altitude minimale

L'altitude du bassin versant fluctue entre 985,70 m et 1685 m.

2.2.7 Les indice de pente

2.2.7.1 Indice de pente global:

Cet indice est utilisé pour classer la topographie du bassin. Il diminue lorsque la surface croît, et il a l'avantage d'être extrêmement simple.

$$Ig(m/km) = H\mu/L$$

Hu = H5% - H95% = 1370m – 1085m = 285m □ Hu = 285m

Ig = 285/52.745 = 5.4 m/Km d'ou Ig = 5.4 m/Km

Les zones montagneuses se trouvent sur le pourtour et présentent un terrain fortement accidenté où les pentes oscillent entre 12,5% et 40%. Elles couvrent approximativement 30% de la superficie de notre domaine d'étude.

2.2.7.2 La dénivelé spécifique:

$$Ds = Ig.\sqrt{S}$$

On a :

Ig = 5.4m/Km ; S = 810 Km2

Ds = 153.69 m

L'utilisation de la classification de l'O.R.S.T.O.M. est rendue possible grâce à l'élévation spécifique. (Office des Recherches Scientifiques dans les Territoires Outre-Mer) qui permet d'identifier les diverses formes de relief des bassins versants, indépendamment de leurs tailles. Selon la classification de l'O.R.S.T.O.M., notre bassin versant présente un relief assez prononcé (R5) du fait que 100 < Ds <250m.

Tableau 2: Classification du relief en fonction de «Ds» d'après L'O.R.S.T.O.M

Ri	**Ds<10**	**Très faible**
R2	**10<DS<25**	**Faible**
R3	**25<Ds<50**	**Assez faible**
R4	**50<Ds<100**	**Modère**
Rs	**100<Ds<250**	**Assez fort**
R6	**250<Ds<500**	**Fort**
R7	**Ds<500**	**Très fort**

Tableau 3: Définition des paramètres caractérisant le bassin versant de Chéria

paramètre	définition
P	Le périmètre du bassin versant de Chéria ; (Km)
Kc	Indice de compacité de Gravelius
S	La surface du bassin versant ; (Km2)
l	La longueur du rectangle équivalent ; (Km)
L	La largeur du rectangle équivalent ; (Km)
Hmov	L'altitude moyenne ; (m)
IV	La Somme des volumes partiels (v) de chaque tranche de montagne, comprise entre les courbes de niveau ; (m3)
ST	La surface totale ; (Km2)
H h2	Altitude des courbes ; (m)
Si	La surface partielle entre deux courbes ; (Km2)
H5o%	L'altitude médium ; (m)
(H5o%-95%)	Définit directement sur la courbe hypsométrique
Hu	La dénivelé (H5o%-H95o/0) déduit sur la courbe hypsométrique ; (m)
Ds	La dénivelé spécifique ; (m).

Climatologie:

1 Introduction

Du fait de sa localisation, l'Algérie se trouve à la croisée des masses d'air polaires et tropicales. Ces dernières sont susceptibles de se déplacer au-delà de 30°N à n'importe quel moment de l'année, spécialement en altitude, bien que leur influence soit plus prononcée du printemps à l'automne. Selon la direction des courants, l'air tropical provenant de l'Atlantique ou d'Afrique affecte diverses zones. Quand le Maghreb est sous l'influence de vastes anticyclones, le climat se stabilise et devient soit chaud, soit froid en fonction de la saison. En revanche, les fronts de discontinuité entraînent une instabilité climatique et une distribution inégale des précipitations. Par conséquent, l'Algérie se divise en trois zones climatiques : la zone méditerranéenne au nord, la zone semi-aride dans les hauts plateaux (où se trouve la plaine de Chéria), et la zone aride dans le Sahara. Un aperçu hydroclimatologique est fourni afin d'éclairer les processus qui influencent les eaux souterraines, le comportement des cours d'eau et les fluctuations saisonnières de la qualité de l'eau.

2 Les stations de mesure :

Les données de température et de pluviométrie utilisées dans ce chapitre sont issues de la base des données d'ARNH (Alger) et de la station météorologique de Tébessa.

La station, située à Chéria sont les plus proches de la zone d'étude et les chroniques enregistrées entre 1975 et 2019 permettent de dresser un bilan du contexte climatique du secteur d'étude.

Nous donnons ci-dessous un tableau (04) des coordonnées géographiques des stations météorologiques existant dans le bassin versant étudiée avec leurs principales caractéristiques.

Tableau 4: Les coordonnées des stations de mesures.

Nom de la station	Coordonnées (Lambert ; km)		Altitude (m)	Période d'observation
	X	Y		
Tébessa	**994.500**	**248**	**850**	**1975-2019**
Chéria	**959.200**	**231.10**	**1087**	**1975-2019**

3 Les Caractéristiques climatiques de la région de Chéria

3.1 La température

La température est un facteur indispensable pour la détermination du bilan mais malheureusement, l'absence d'une station de mesure de température dans la zone d'étude affaiblie notre aperçus climatique et nous à obliger d'utilisé les données de la station la plus proche qui est celle de Tébessa aéroport datant de 1972. Le tableau 05, représente les données des températures en valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau de la station sur une période de 44 ans.

Tableau 5: Températures moyennes mensuelles en °C à la station de Tébessa (1975-2019).

Mois / Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Tébessa Aéroport 1975-2019	23,00	19,71	12,90	9,71	7,89	8,46	10,38	16,74	18,50	24,87	28,11	27,30

Selon la figure 09 la variation des températures moyennes mensuelles (1975 -2019) montre que :

- Le mois le plus chaud est le mois de Juillet (28,11°c) ;
- Le mois le plus froid est le mois de Janvier (07,89°c).

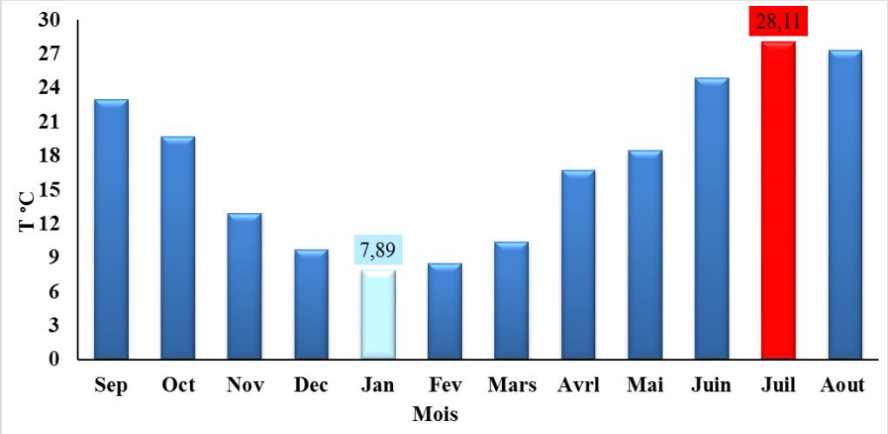


Figure 9: Répartition mensuelle des températures 1975-2019.

Par contre la figure 10 montre aussi que :

- A l'échelle annuelle, une fluctuation thermique de faible amplitude donnant une certaine constance de l'allure générale.
- L'année la plus chaude est l'année 2016-2017avec une valeur maximale de 27.71 °C ;
- L'année la plus froide est celle de 1976-1977 avec une valeur minimale de 13.8 °C ;
- La moyenne annuelle est de 17,29 °C

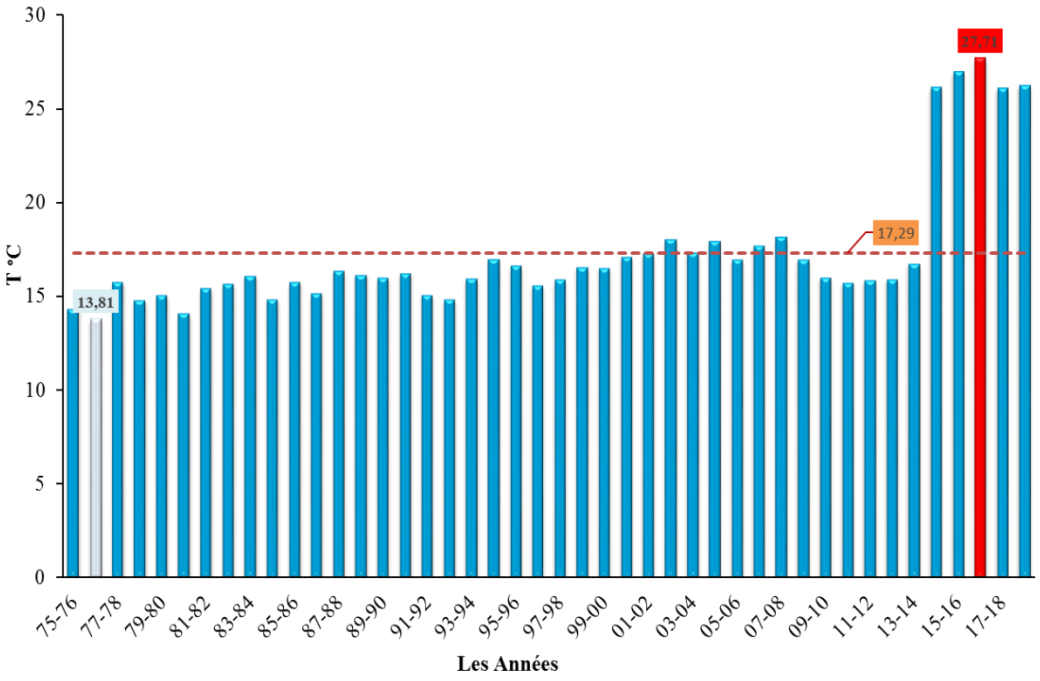


Figure 10: Répartition annuelle des températures 1975-2019

3.1.1 Le vent

Les vents prédominants dans la région d'étude sont caractérisés par deux directions saisonnières (d'après la station météorologique de Tébessa) :

- Les vents de direction Ouest-Nord-Ouest « W-N-W » jouent un rôle important dans les précipitations en Hiver (du mois de novembre au mois d'avril).
- Les vents de direction sud, se sont *le siroco*, ils engendrant une forte évaporation et une sécheresse qui diminue l'humidité (du mois de mai au mois de juillet).

3.1.2 La neige

Les sommets des bordures du plateau de Chéria sont enneigés en ligne, le long des djebels suivants : Djebel Bourouh (1296 m), Djebel Doukkane (1685 m) et Djebel Bouziane (1320 m). La surface du sous bassin susceptible d'être enneigée est relativement moyenne, mais elle joue un rôle important car elle se situe sur des affleurements calcaires.

En particulier, le Djebel Doukkane et ses prolongements reçoivent en hiver des précipitations neigeuses qui peuvent être importantes.

D'après P. Seltzer la région se situe dans la zone d'enneigement moyen au sol de 5 à 10 jours par an. Les premières neiges font leur apparition à partir du mois de janvier et les dernières à la fin du mois de mars.

3.1.3 L'humidité

En Hydrologie il est indispensable de connaître le taux d'humidité dans l'air car il nous renseigne sur la possibilité de formation de nuages et de précipitations et elle conditionne outre pour une large partie les taux d'évaporation du sol et de la couverture végétale.

Le tableau 06 ci-dessous, montre les valeurs d'humidité relative moyenne à la station de Tébessa aéroport entre 1972 et 2006. Le minimum est observé au mois de juillet avec une valeur de 40.74 %, alors que le maximum est de l'ordre de 72.63 % observé au mois de décembre.

Tableau 6: Humidité relative moyenne en % à la station de Tébessa.

Mois / Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
Tébessa Aéroport 1972-2006	57,50	61,42	69,79	72,63	**72,31**	68,15	64,91	60,88	55,33	47,70	**40,74**	45,16

3.1.4 Etude de l'évaporation

Ce phénomène dépende de plusieurs facteurs :

-La production de chaleur.

- Le vent.

- La chaleur emmagasinée.

- La qualité de l'eau.

- La pression barométrique.

Au niveau de la station météorologique de Tébessa, l'évaporation est mesurée à l'aide d'un bassin d'évaporation de type « Colorado »(in Fehdi2008).

Tableau 7: Evaporation en % à la station météorologique Tébessa.

Mois / Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
Tébessa Aéroport 1972-2006	9,64	7,03	4,76	4,08	**3,87**	4,62	5,82	7,63	9,79	12,22	**16,03**	14,51

L'analyse des données dans le tableau 07, montre que :

-L'évaporation atteint son maximum avec une moyenne mensuelle égale à 16.03% pendant le mois de juillet.

- L'évaporation est minimale avec une moyenne mensuelle de 3.87% le mois de janvier.

3.1.5 Etude de la pluviométrie

3.1.5.1 Les précipitations

La pluviométrie en Algérie a été étudiée par plusieurs auteurs, P.Seltzer (1913-1938), H Gaussen (1913-1963) et Chaumont et Paquin (1913-1963).

Les chroniques enregistrées entre 1975 et 2019 permettent de dresser un bilan du contexte climatique de la région étudier.

3.1.5.1.1 Variations interannuelles des précipitations

L'analyse du graphe 11 montrent que la station a connue des périodes de sècheresses marquée par des précipitations généralement au-dessous des moyennes annuelles plus que des périodes de pluviosités.

La station de Chéria est marquée par une pluviométrie faible, probablement cela est dû à la nature géomorphologique de la région de Chéria, cette dernière est caractérisée par une chaine de montagne entourant la plaine ce qui empêche les vents humides d'atteindre la région.

L'année la plus pluvieuse est l'année 1995-1996 avec 458,9 mm/an tandis que l'année la plus sèche est 2004-2005 avec 170,9 mm/an.

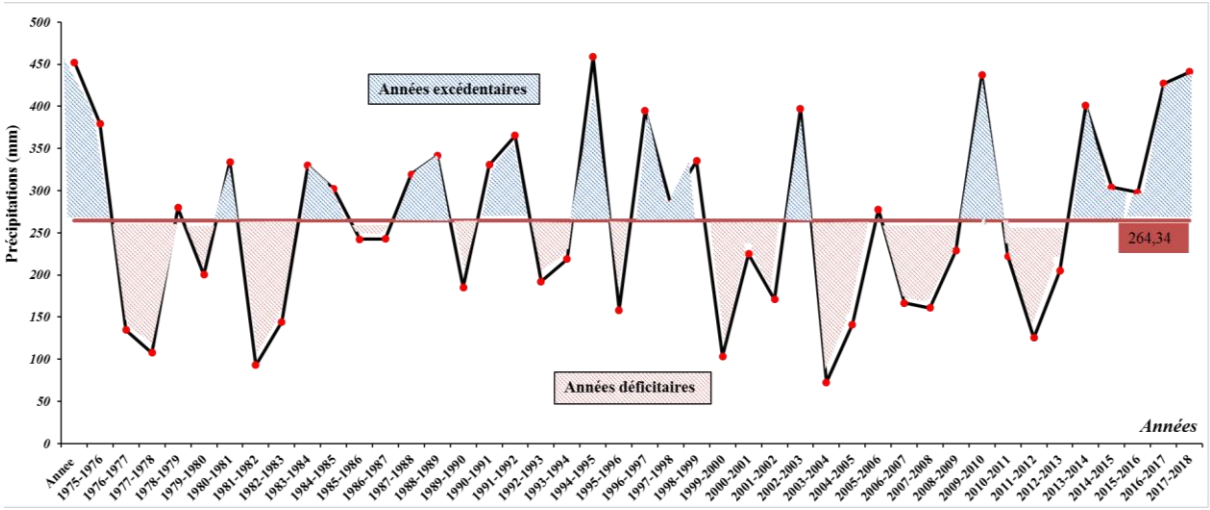


Figure 11: Répartition interannuelle des précipitations à la station de Chéria (1975-2019).

3.1.5.1.2 Variations mensuelles des précipitations

Les données pluviométriques collectés sur une période de 44 ans (1975-2019) au niveau de Chéria est résumés dans le tableau 08 ci-dessous ;

Tableau 8: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) des stations de Hammamet et Chéria (1975-2019).

Moi / Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Chéria	32,88	22,81	18,42	14,97	17,90	19,43	34,37	20,81	34,37	20,47	11,23	20,17

La courbe des variations mensuelles des précipitations (figure12) montre que:

- Le mois de Juillet est le mois le moins arrosé avec une précipitation moyenne mensuelle de 11,23 mm.
- Le mois de Mai est le plus pluvieux avec une précipitation moyenne mensuelle égale à 34,38 mm.

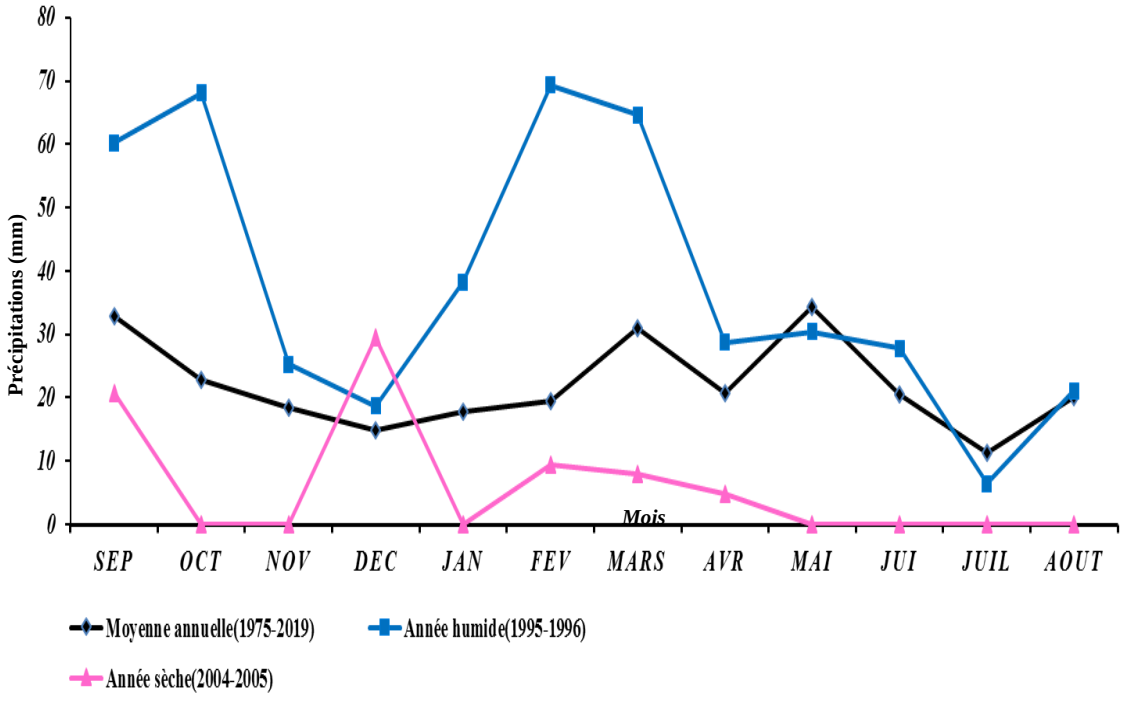


Figure 12: Distribution interannuelle des précipitations mensuelles de la station de Chéria (1975-2019).

3.1.5.1.3 Variations saisonnières des précipitations

En analysant les données du tableau 09, il résulte ce qui suit :

La saison printanière est la plus pluvieuse avec 86,07 mm de précipitations soit 32,56% du total annuel. La saison estivale est la plus sèche, la pluviométrie enregistrée est la plus faible de l'ordre de 52,29 mm soit 19,79% de la totalité des pluies (figure13).

Tableau 9: Répartition saisonnière des précipitations de l'année 1975-2014.

Saisons / Stations	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Chéria	74,11	28,03	52,29	19,78	86,07	32,56	80,05	19,61

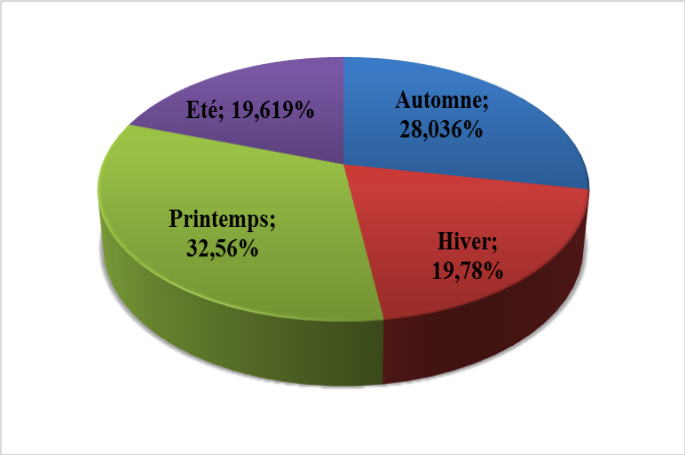


Figure 13: Répartition saisonnière des précipitations Chéria (1975 /2019).

3.1.6 Détermination des indices climatique

3.1.6.1 Climagramme d'Emberger

Pour déterminer les types de climat de la zone méditerranéenne, L. Emberger a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q (figure 14). Ce quotient dépend de la précipitation moyenne annuelle et les moyennes des températures minima et maxima, respectivement des mois les plus froids et des mois les plus chauds.

$$Q = \frac{P}{\frac{(M+m)(M-m)}{2}} 1000$$

P : Précipitation moyenne annuelle (mm)

M : moyenne des maximas du mois le plus chaud (degrés kelvin).

m : moyenne des minima du mois le plus froid (degré kelvin).

$$Q = \frac{264,35}{\frac{(301,26+281,04)(301,26-281,04)}{2}} 1000 = 44,09$$

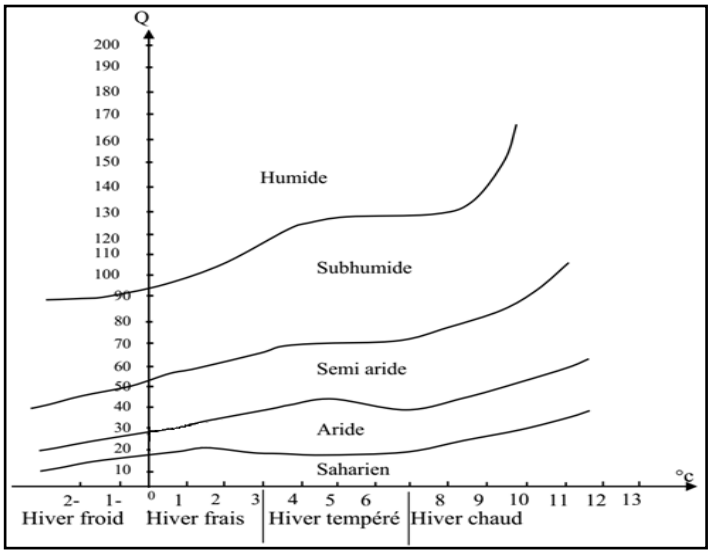


Figure 14: Climagramme d'EMBERGER

3.1.6.2 Détermination du type du climat (Indice De Martonne):

Pour la détermination du type de climat, De Martonne (1925) a proposé une formule climatologique appelée indice d'aridité qui est fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations moyennes annuelles :

I = P/ T+10

Avec :

- **I** : indice d'aridité annuelle
- **P** : précipitations moyennes annuelles en mm.
- **T** : températures moyennes annuelles en mm.

Dans le cas de notre région A = 9.68 tel que P = 264,35 mm et T = 17,30

Selon De Martonne :

- I<5	Climat hyperaride
- 5<I<7,5	Climat désertique
- 7,5<I<10	Climat steppique
- 10<I<20	Climat semi-aride
- 20<I<30	Climat tempère.

Les résultats de l'indice d'aridité trouvés montrent globalement que le climat est seteppique caractérisé par deux saisons l'une humide et froide et l'autre sèche et chaude (figure 15).

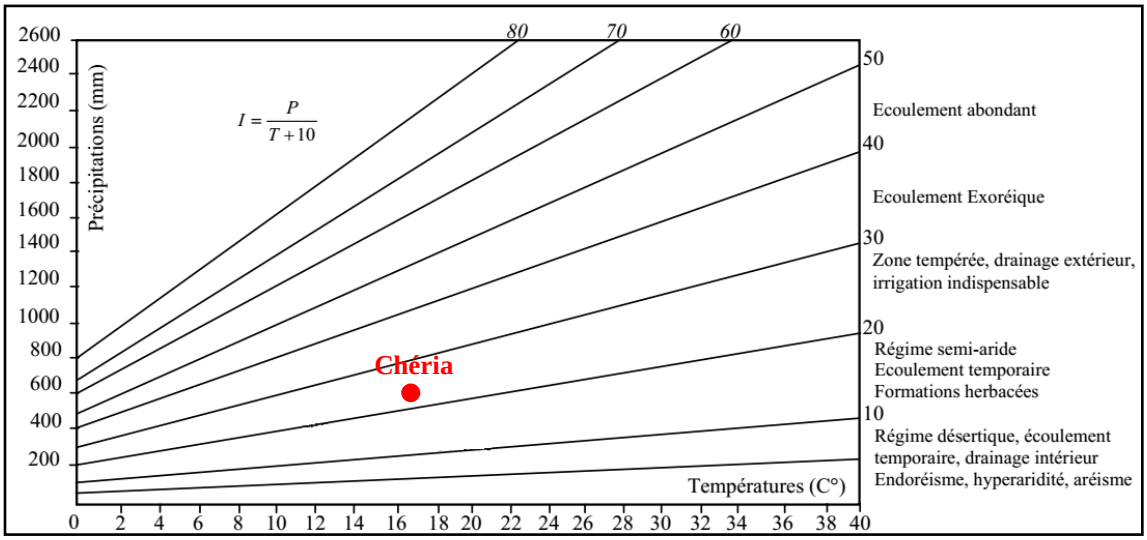


Figure 15: Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martone 1923

3.1.6.3 Diagramme pluviothermique

Ce diagramme est le mieux placé pour visualiser les mois humides et les mois secs. Pour cela, on construit un diagramme sur lequel on porte les températures à une échelle double de celle des précipitations. La courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations pendant les mois secs. Le diagramme dressé pour la station d'étude pour la période 1975 à 2019 révèlent généralement :
A partie de la figure 16 La succession de deux saisons. La première est humide qui commence au mois de Janvier jusqu'au mois de Avril. La deuxième est sèche qui s'étale depuis le début du mois d'Avril jusqu'au la première quinzaine de décembre.

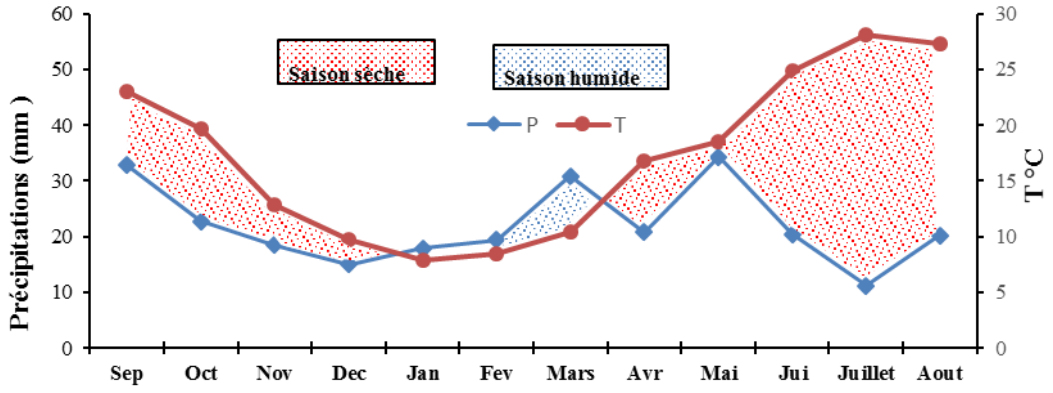


Figure 16: Diagramme pluviothermique de la station de Chéria (1975- 2014).

3.2 Détermination des paramètres du bilan hydrique

3.2.1 Etude de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration un facteur difficile à approcher et indispensable après les précipitations ; elle correspond à la somme de la quantité d'eau évaporée par suite d'un déficit hydrométrique de l'air et de la quantité d'eau transpirée par la végétation (conclusion des travaux du botaniste et climatologue Américain Thornthwaite sur la croissance des végétaux. (Brochet, Gerbier 1975). On distingue :

L'ETP : correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques (cas des nappes superficielles peu profondes).

L'ETR : évapotranspiration i dépend de l'état du stock en eau du sol.

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour le calcul de ce paramètre.

a. Evapotranspiration réelle annuelle moyenne (ETR) :

On peut la déterminer par les équations empiriques telles que celle de ***L. Turc*** et de ***Coutagne.***

- Formule de L. TURC annuelle :

$$\boldsymbol{ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}}$$

P : Précipitations annuelles moyennes en (mm)

$L = 33 + 25T + 0.05T^3$ où T est la température annuelle moyenne en ° C.

P (mm)	ETR (mm)
264,35	251,76

- Formule A. Coutagne :

Donnée comme suit : $\boldsymbol{ETP = P - \lambda P^2}$

Cette formule n'est valable que lorsque les précipitations sont comprises entre 1/2 et 1/8 de λ.

Avec: $\boldsymbol{\lambda = \frac{1}{0.8+0.4T}}$

T : température moyenne annuelle en °C.

Cette formule n'est pas applicable pour la région d'étude puisque la condition de départ n'est pas vérifiée.

- Formule de G.W Thornthwaite

Pour l'estimation de l'ETP, on utilise la formule de Thornnthwaite.

L'évapotranspiration potentielle non corrigée est donnée par la formule :

$$ETP \equiv 16\left(\frac{10T}{I}\right)^{a} K$$

$$i = \left[\frac{T}{5}\right]^{1,514} \qquad I = \sum_{1}^{12} ia \quad avec \qquad a = \left(\frac{1,6}{100}\right) I + 0,5$$

T : Température moyenne du mois considère en °C ;

ETP : Évapotranspiration potentielle du mois considéré en mm ;

K : coefficient de correction de la latitude ;

I : indice thermique annuel ;

i : indice thermique mensuel ;

F (λ) : facteur de correction intégrant la durée d'insolation et le nombre de jours du mois.

L'évapotranspiration potentielle(tableau10) corrigée est obtenue en multipliant la formule de Thornthwaite par le coefficient de correction k qui dépend de la latitude.

Tableau 10: Résultats de calcul de l'ETP par Thornthwaite.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jul	Aut
ETP_c	105,70	74,89	30,44	17,84	12,466	13,84	24,44	62,35	83,17	143,37	182,54	163,17

Pour le calcul de l'ETR, on a utilisé la méthode de Thornthwaite où on distingue deux cas principaux :

Si : P – ETP > 0 ; c'est - a – dire P> ETP => ETR = ETP. > ETP => ETR = ETP.

Si : P – ETP < 0 ; c'est - a – dire P < ETP ; ce cas est subdivisé en deux cas :

Si : P + RFU > ETP => ETR = ETP.

Si : P + RFU < ETP => ETR = P + RFU.

2. Estimation des réserves facilement utilisées R.F.U.

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

-La nature, la lithologie et l'épaisseur de la couche superficielle ;

-La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère ;

-Le climat de la région ;

-Le type de la couverture végétale.

Elle est donnée par la formule de J.Richard 1979.

R.F.U = I/3(Da. He. P)

Où:

R.F.U : Réserve facilement utilisable.

Da : Densité apparente du sol.

He : L'humidité équivalente du sol (capacité de rétention).

P :Profondeur de la couche de la terre par Courier par les racines en (mm)**.**

- Application numérique :

Da = 14 ,He = 0.25, P = 25 mm D'où :

RFU = I/3 (14. 0.25) = 29.0 mm

3.3 Bilan hydrique

Cette méthode permet d'établir un bilan hydrique à l'échelle mensuelle.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) et réelle (ETR) sont définies en fonction des pluies, de la température et de la latitude en tenant compte de la variation mois par mois de la réserve facilement utilisable (RFU).

- T : température mensuelle en °C,
- Pr : précipitation mensuelle en (mm) ;
- i : indice thermique ;
- RFU : réserve facilement utilisable en (mm) ;
- k : coefficient de latitude ;
- ETR : évapotranspiration réelle en (mm) ;

- ETP : évapotranspiration potentielle en (mm) ;
- Def : déficit agricole en (mm) ;
- BH : Bilan Hydrique ;
- EXC: excèdent en (mm).

La lame d'eau tombée 264,35 mm est èvapotranspirée et ne laisse pas la part de l'infiltration ni du ruissellement ce qui reflète réellement la sècheresse.

- Le déficit agricole se remarque à partir du mois de Septembre et se poursuit jusqu'au d Aout , période pendant laquelle la RFU est épuisée (Tableau 11).

Tableau 11: Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Cheria (1975/2019).

0	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aout	Total
T.C°	23,00	19,71	12,90	9,71	7,89	8,46	10,38	16,74	18,50	24,87	28,11	27,30	
i	10,08	7,97	4,19	2,73	1,995	2,21	3,02	6,23	7,25	11,34	13,65	13,06	
I	83,78												
A	1,84												
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	/
P	32,88	22,81	18,42	14,97	17,90	19,43	30,90	20,81	34,37	20,47	11,23	20,17	
ETPc	105,70	74,89	30,44	17,84	12,466	13,84	24,44	62,35	83,17	143,37	182,54	163,17	
P-ETP	-72,82	-52,08	-12,02	-2,87	5,434	5,59	6,46	-41,54	-48,8	-122,9	-171,31	-143	
ETR	32,88	22,81	18,42	14,97	12,466	13,84	24,44	38,29	34,37	20,47	11,23	20,17	
RFU	0	0	0	0	5,434	11,024	17,484	0	0	0	0	0	
DA	72,82	52,08	12,02	2,87	0	0	0	24,54	48,8	122,9	171,31	143	
EXE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

RFU = 29 mm

$\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma Exc \rightarrow 458,9 = 368,8 + 90,1$

$\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma Def \rightarrow 852,49 = 368,69 + 483,69$

Nous constatons que les résultats issus du bilan hydrique sont vérifiés

- ✓ Bilan Hydrique de Cheria (1995-1996)

Les résultats du tableau (12) (1995/1996) ci-dessous illustre une lecture simple des différents éléments du bilan.

- Les précipitations atteignent leur maximum au mois de Fevrier (69,3 mm) où l'ETP atteint en janvier un minimum (24,29 mm).
- Le déficit agricole (Da) s'étend du mois d'Avril jusqu'au mois d'Octobre où on remarque un épuisement des réserves.
- L'excédent a une valeur de 49,47mm au mois de Février et au mois de Mars avec 40,63 mm.
- La recharge du stocke (RFU) commence à partir du mois de Janvier jusqu'au mois de Mars.

Tableau 12: Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Cheria (1995/1996).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aout	Total
T.C°	21,36	18,55	12,05	9,33	7,5	7,98	9,35	15,71	16,95	22,77	25,92	25,69	193,16
i	9,01	7,27	3,79	2,57	1,85	2,03	2,58	5,66	6,35	9,92	12,07	11,92	75,04
I	75,04												
A	1,81												
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	/
P	60,2	68,1	25,3	18,7	38,2	69,3	64,6	28,7	30,4	27,8	6,5	21,1	284,73
ETPc	97,68	72,31	30,82	19,68	13,91	15,12	23,97	61,26	77,39	127,84	161,99	150,52	852,49
P-ETP	-37,48	-4,21	-5,52	-0,98	24,29	54,18	40,63	-32,56	-46,99	-100,04	-155,49	-129,42	/
ETR	60,2	68,1	25,3	18,7	13,91	15,12	23,97	57,7	30,4	27,8	6,5	21,1	
RFU	00	00	00	00	24,29	29	29	00	00	00	00	00	
DA	37,48	4,21	5,52	0,98	00	00	00	3,56	46,99	100,04	155,49	129,42	
EXE	00	00	00	00	00	49,47	40,63	00	00	00	00	00	**90.1**

RFU = 29 mm

$\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma Exc \rightarrow 458,9 = 368,8 + 90,1$

$\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma Def \rightarrow 852,49 = 368,69 + 483,69$

Nous constatons que les résultats issus du bilan hydrique sont vérifiés.

3.3.1 Estimation du ruissellement

La méthode de Tixeron-Berkaloff permet le calcul du ruissellement, le raisonnement tenu par les deux auteurs est le suivant :

- -lorsque les précipitations augmentent, le ruissellement tend à égaler les précipitations déduction faite de l'évapotranspiration plafonnée à la valeur de l'évapotranspiration potentielle.
- lorsque les précipitations tendent aussi vers zéro, le ruissellement tend aussi vers zéro, et le rapport de ruissellement à la pluviométrie tend vers zéro.

Le défaut de la méthode est qu'elle ne tient pas compte de la nature des sols ou des formations traversées.

La formule est :$\boldsymbol{R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}}$

Tableau 13: Résultats du calcul du ruissellement.

Stations	P(mm)	ETP(mm)	R(mm)	R (%)
Cheria	284,73	852,49	10.58	3.71%

3.3.2 Estimation de l'infiltration

Selon la méthode de Thornthwaite :

EXE=R+I => I=EXE-R

Tableau 14: Résultats du calcul d'infiltration.

Stations	EXE(mm)	R(mm)	I(mm)	I (%)
Chéria	90,1	10,58	79.52	27,29%

4 Conclusion

Ce chapitre a été consacré pour déterminer la nature climatologique régnante dans la région d'étude.

Lorsque le plateau de Chéria est dépourvu d'une station pluviométrique ou thermique on était obligé d'utiliser les données de celles de Chéria pour la pluviométrie et de Tébessa pour la température (les plus proche stations).

Cette étude climatologique montre que :

- Il est steppique (hiver froid et été chaud) avec des précipitations moyennes annuelles qui ne dépasses pas 264,35 mm/an pour Chéria.
- La température moyenne annuelle qui y règne est de 17,3° C tandis que le mois le plus chaud est le mois de juillet (28,11° C) et le mois le plus froid est le mois de janvier (7,89 °C).
- Le mois de juillet est le mois sec, en l'occurrence le mois de Mars est le plus arrosé .
- L'évapotranspiration réelle est estimée à 264,35 mm des précipitations tombées sur la région de Chéria
- Les calculs du bilan hydrique en utilisant la méthode de Thornthwaite montre que les bilans globaux sont majoritairement négatifs.

Chapitre 4 : Hydrogéologie

1 Introduction :

L'un des éléments clés pour la stabilité et l'évolution des sociétés reste les ressources en eau, spécifiquement dans les zones où la rareté des précipitations et la forte évaporation prédominent, tel que l'illustre le cas de la région de Chéria.

L'analyse des aspects hydrogéologiques dans de tels scénarios est cruciale, car elle aide à saisir clairement le comportement des flux de surface, à comprendre l'évolution des eaux souterraines et à établir les perspectives d'une utilisation durable.

Dans la région d'étude « Chéria » existe un système hydrogéologique diversifié, soumis à une combinaison de facteurs naturels, dont la configuration topographique, la composition géologique et la distribution temporelle et spatiale des précipitations.

De manière concomitante, diverses nappes phréatiques de caractéristiques et de volumes dissemblables sont contenues dans le sous-sol de la région, principalement au sein des formations calcaires du Paléocène et du Maestrichtien, sans oublier les accumulations quaternaires qui se trouvent dans certaines zones déprimées.

Ces nappes constituent une ressource vitale pour l'approvisionnement en eau potable et pour l'irrigation.

2 Description générale:

À Chéria, on observe une superposition de trois strates qui composent le système aquifère. D'abord, on rencontre les calcaires Maestrichtiens qui n'ont qu'un intérêt hydrogéologique en bordure, suivis par les calcaires éocènes qui constituent le réservoir principal sur le plateau. Enfin, il y a l'aquifère des alluvions quaternaires ; formé de cailloutis fluviatiles, de colmatage, de bas-fonds et d'alluvions de piémont. Actuellement sec à cause de la sécheresse persistante depuis deux décennies ainsi que la surexploitation des ressources hydriques.

Quatre zones potentiellement aquifères : l'aquifère des calcaires maestrichtiens, des calcaires éocènes, du dépôt Mio-Plio-Quaternaire.

2.1 L'aquifère des calcaires maestrichtiens:

La géophysique n'a pas réussi à identifier les caractéristiques des calcaires maestrichtiens qui agissent comme aquifères (des résistivités similaires (300 à 500) indiquent la présence de calcaires fortement karstifiés ou légèrement fissurés), mais il est plus probable de trouver des zones fissurées ou karstifiées lorsqu'on se positionne sur des discontinuités tectoniques ou dans les régions où les calcaires sont

directement recouverts par le quaternaire (où ils ont été émergés et érodés selon la fissuration par les eaux de ruissellement).

Étant donné que le nombre de forages qui ont traversé les calcaires situés sous les marnes Dano-Montien est très limité, il est compliqué de soutenir qu'il n'y a aucune fissuration et donc aucune chance d'aquifère sur toute la surface du réservoir soumis à ces conditions.

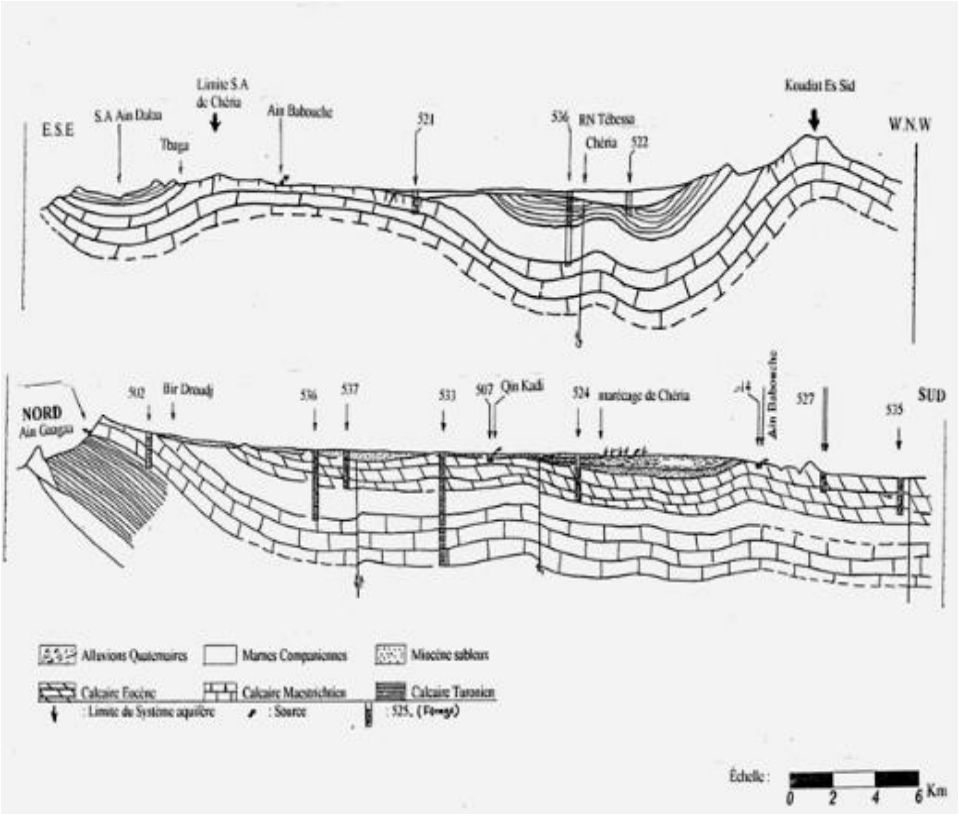


Figure 17: Coupe hydrogéologique à travers le plateau de Chéria (In Baali F. 2004)

2.2 L'aquifère des calcaires Éocènes (aquifère Karstique):

C'est l'aquifère principal de Chéria. De nombreux forages, particulièrement autour de Chéria, l'ont identifié. Ils sont largement exploités pour fournir de l'eau potable et pour l'irrigation. La perméabilité est caractérisée par des fissures et un karst fortement développé autour de la cité.

Les observations suivantes ont été formulées grâce aux caractéristiques des forages qui ont traversé ou atteint les calcaires de l'Éocène.

- Les zones présentant des fissures se trouvent généralement dans les 100 premiers mètres de l'éocène, tandis que les zones karstifiées sont encore plus restreintes, situées dans les 50 premiers mètres.
- En géophysique, le même problème se pose pour les calcaires du Maestrichtien (aucune différence de résistivité entre les calcaires fissurés et compacts). En revanche, le carottage électrique longue normale paraît indiquer des résistivités avoisinant les 200 ohm•m pour les calcaires fissurés et entre 400 et 600 ohm•m pour les calcaires non fissurés.

2.3 L'aquifère Mio-Plio-Quaternaire:

Cet aquifère réunit particulièrement deux autres aquifères :

- l'aquifère des strates sableuses du Miocène: Le petit nombre de forages réalisés dans ce réservoir d'eau souterraine (523 et 524) rend les données moins significatives. La plage de 53 à 80 m est réservée aux graviers et sables quartzeux du Miocène.
- L'aquifère des alluvions quaternaires et contemporains. Selon la définition de Lambert, on pourrait les catégoriser en cailloutis fluviatiles, de colmatage, de bas-fonds et alluvions de piémont. La plupart du plateau de Chéria est occupé par ces formations. Elles assurent dans la zone nord la fonction d'approvisionnement en calcaires maestrichtiens et éocènes par le biais de l'infiltration.

En raison de la sécheresse persistante durant les deux dernières décennies et de l'épuisement excessif des ressources en eau, cet aquifère a actuellement perdu toute valeur.

3 Géométrie des aquifères :

L'identification de la configuration géologique du plateau de Chéria repose essentiellement sur l'exploration géoélectrique, réalisée par l'entreprise TRANSAKTA-GEOMETAL en 1971 et la CGG en 1970 (figure18). Cette démarche a permis de déterminer les formations susceptibles d'être des aquifères.

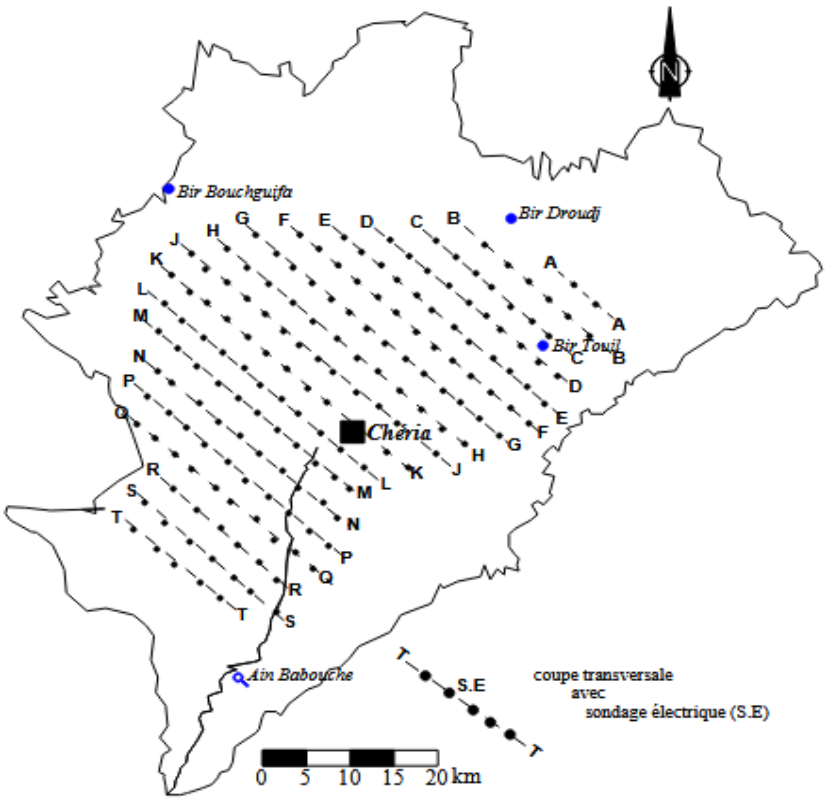


Figure 18: Localisation des profils électriques au plateau de Chéria (In Baali F. 2007)

4 Conditions aux limites des aquifères du plateau de Chéria :

Les forages effectués dans les calcaires du Maestrichtien ont révélé que cet horizon est aquifère sur les périphéries et stérile au cœur du plateau (sondage J8-9, profondeur de 800 m). Ceci favorise un flux vers le nord et donne lieu à des sources d'envergure, comme la source de la grotte de BouAkous.

Il serait pertinent d'examiner cet intervalle dans le fossé d'effondrement de Tébessa el Hammamet. Il est à noter que le flux se fait du nord au sud pendant le quaternaire, qui couvre les calcaires maestrichtiens (figure 19).

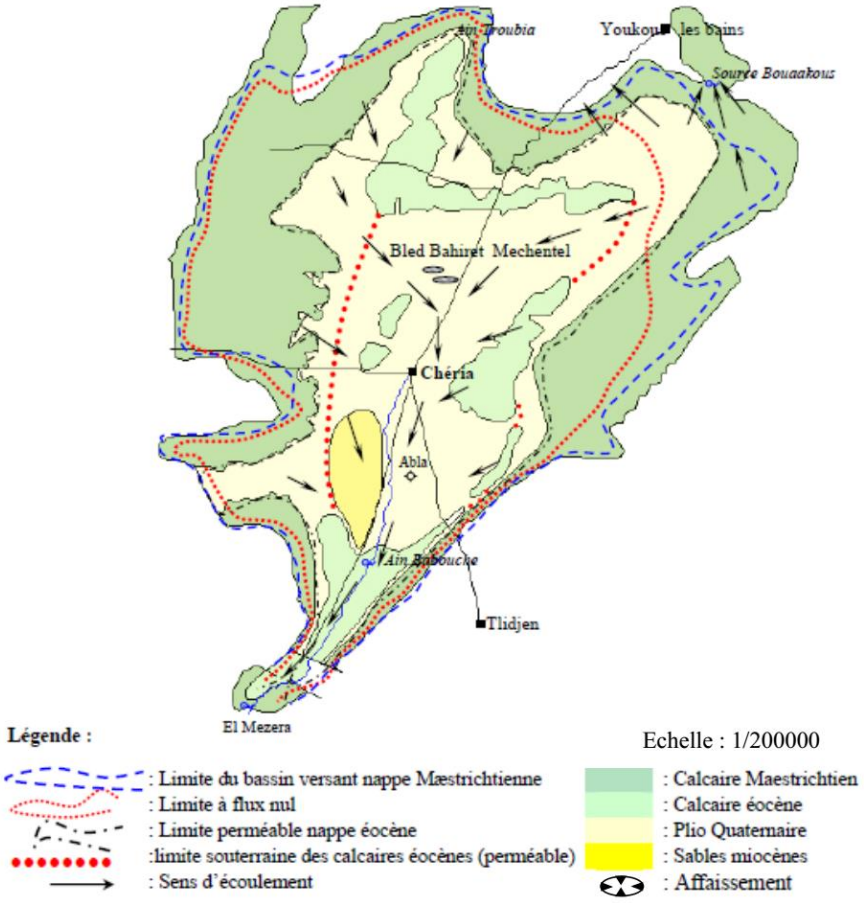


Figure 19: Carte des conditions aux limites d'après Gaud B. 1978 modifié (in Baali.F 2006)

Les calcaires de l'éocène sont en contact avec les alluvions aquifères du Quaternaire (qui drainent fréquemment les calcaires maestrichtiens). Il existe donc une frontière perméable à l'alimentation.

Si on stoppe le flux d'alimentation d'Outa Oum Khaled (figure 20), il faut reconnaître une frontière de fuite souterraine en direction du sud .

La nappe phréatique du Mio-Plio-Quaternaire reçoit une alimentation directe de la pluie et de l'Éocène voisin.

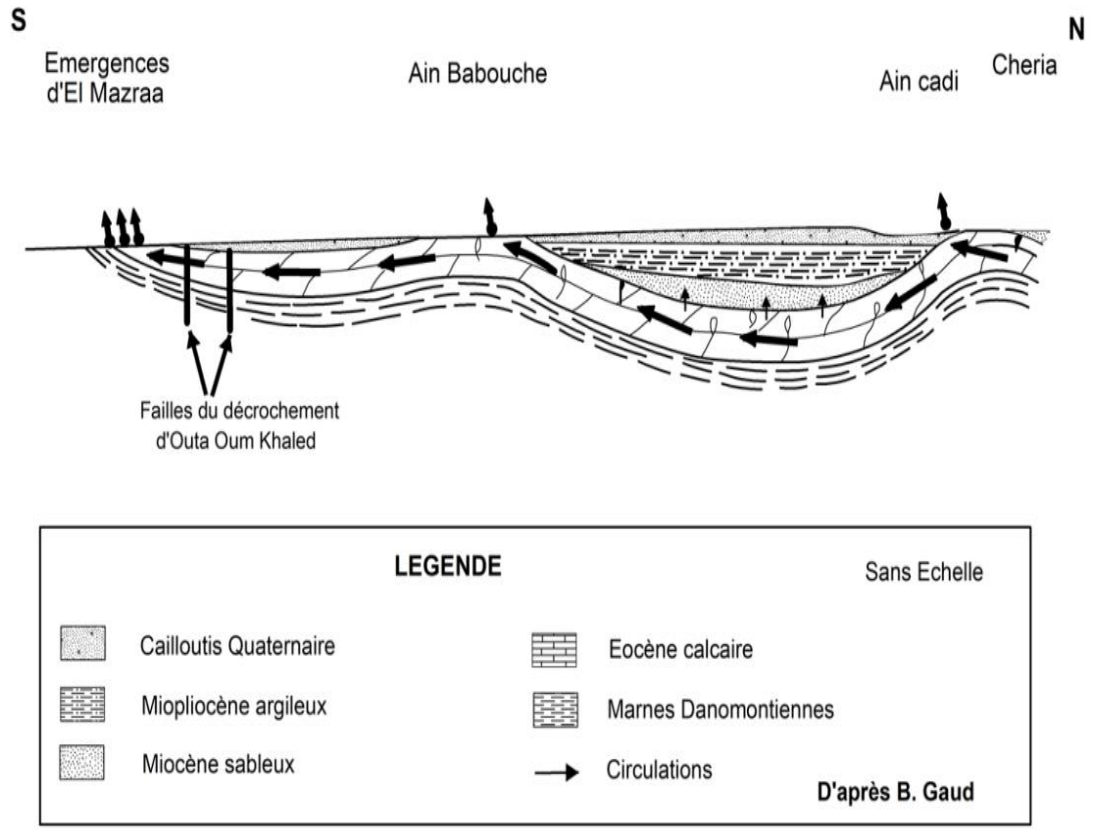


Figure 20: Schéma théorique montrant les relations entre les aquifères au sud de Cheria.

5 Aperçus Hydrodynamiques des eaux souterraines

5.1 La piézométrie

La réalisation d'une campagne de terrain pour mesurer le niveau de la nappe dans la région d'étude pour dresser une carte piézométrique, qui représentent la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques et figure également les conditions aux limites hydrodynamiques était normalement indispensable pour mieux comprendre la relation nappe -Oued.

On a fait appelle des campagnes piézométriques effectuées en 2005 et 2010.

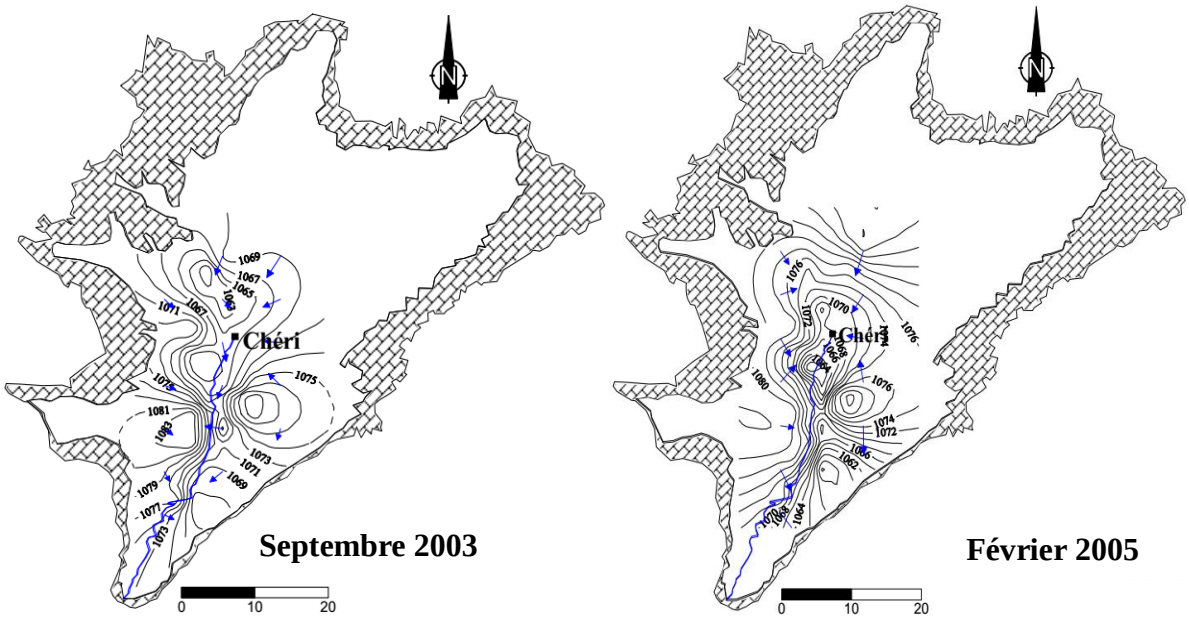


Figure 21: Les carte piézométrique. (Baali. F, 2007).

Dans les deux carte septembre 2003 et Février 2005, on observe un écoulement nord-sud au nord avec des courbes isolées très serrées illustrent une vitesse d'écoulement très remarquable. En aval, dans le Sud, les courbes espacées, cela témoigne d'un écoulement lent.

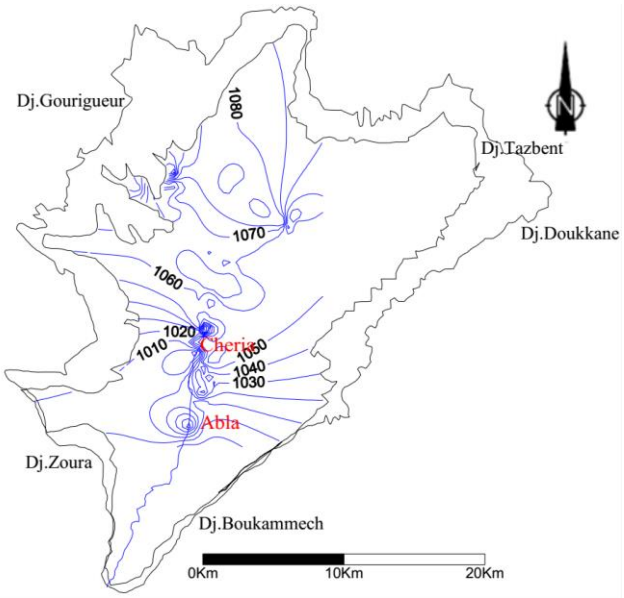


Figure 22: Carte piézométrique.Octobre 2010
(Chamekh. K, 2010).

L'axe principal pour l'écoulement Nord-Sud est confirmé par le schéma (figure 22). Alors que dans la partie sud, on procède à des drainages (Oued Chéria), ce qui entraîne des courbes isopièzes parallèles à l'oued Chéria (en aval au Sud).

6 Conclusion

L'étude hydrogéologique de la zone de Chéria révèle la complexité des relations entre les éléments naturels de l'écosystème et les mouvements de l'eau, aussi bien en surface qu'en profondeur. La structure du réseau hydrographique, malgré la prépondérance de flux temporaires, a un rôle non négligeable dans la répartition des eaux de pluie vers les régions inférieures du bassin. Quant aux aquifères identifiés, bien qu'ils présentent un potentiel, ils sont de plus en plus déséquilibrés à cause des conditions climatiques défavorables et d'une pression humaine constante.

Ces observations mettent en évidence l'importance d'une gestion intégrée des ressources hydriques, basée sur une compréhension approfondie des conditions du terrain, ainsi que sur des actions de surveillance et de sauvegarde appropriées.

Chapitre 05: Hydro-chimique et Microbiologie

Hyrochimique

1 Introduction :

L'étude de la chimie des eaux souterraines, apporte un concours précieux à l'hydrogéologie. Une eau souterraine contient une concentration de minéraux dissous d'origine géologique naturelle : le bruit de fond (Castany, 1982). Cette composition découle d'une série de processus d'interaction entre l'eau et le réservoir (dissolution, précipitation, échange ionique). Dans le but de recueillir des informations pour retracer le parcours géochimique ayant conduit à la qualité présente des eaux .

Les phénomènes hydrogéologiques et hydrochimiques sont étroitement connectés et la sélection de la technique pour décrire et catégoriser les eaux souterraines dépend de la qualité et du volume des informations disponibles, de leur distribution spatiale et temporelle, ainsi que, bien sûr, de la nature du problème à examiner(Baali.2007).

Cette section se concentrera sur la caractérisation hydrochimique des eaux souterraines et l'identification de la source d'une éventuelle contamination.

2 Matériels et Méthodes :

L'étude des eaux souterraines se concentre principalement sur l'examen des paramètres physiques (pH, température et conductivité électrique), et les paramètres chimiques « des composants majeurs ainsi que d'éventuels éléments traces ».

Durant notre investigation hydrochimique, Trois (03) compagnes d'échantillonnage des eaux souterraines des différents puits et forages qui captent les différents aquifères de la région d'étude ont été entreprises. L échantillonnages a été réalisé en fonction d'une distribution et d'une cadence variant d'un lieu à l'autre, dépendant de la disponibilité des infrastructures géologiques et de la profondeur des eaux.

Les trois campagnes d'échantillonnage, consistant en 19 prélèvements sont effectués à partir des puits et des forages près de l'oued Chéria, dans le but d'examiner l'effet potentiel des eaux superficielles polluées sur la nappe phréatique. Les échantillons ont été collecté dans des flacons en plastique,

Quatre laboratoires ont été chargés à la réalisation des analyses chimiques :

- Laboratoire de FERPHOS à Bir El Ater, « l'analyse des métaux lourds et le magnésium par spectrophotomètre d'absorption atomique ».

- Laboratoire pédagogique du département de géologie « Université Chikh Larbi Tbessi « paramètres physiques et dosage de Na, K, NO_3, SO_4 ».
- Laboratoire pédagogique du département de géologie « Université de Constantine « dosage de Ca, Cl, SO_4, NO_2, HCO_3 ».
- Laboratoire privé FETHALLAH (contrôle de qualité, Tébessa) 'Les analyses microbiologiques '(Annexe02)

3 Les paramètres physico-chimiques :

3.1 Mesure in situe :

Au niveau de chaque puits et forages, on a mesuré la température, le pH et la conductivité électrique à l'aide d'un appareil multi paramètre portatif (figure23).



Figure 23: Mesure in situ des paramètres physiques (T, Cond Et, PH).

3.2 Variation temporelle de la composition chimique(paramètre physique et chimique):

3.2.1 Conductivité électrique :

Le lien entre la composition chimique et la conductivité électrique repose sur l'idée que la conductivité d'une solution saline complexe est l'addition des conductivités de chaque ion qu'elle contient (H. Schoeller, 1962).

Les résultats obtenus indiquent que la majorité des points d'eau (puits et forages) excèdent la norme recommandée pour l'eau destinée à la consommation.

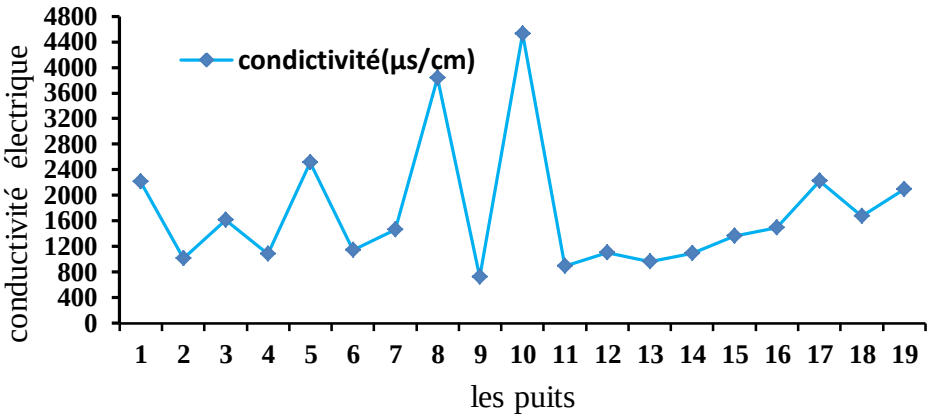


Figure 24: Courbe des Conductivités électrique(oued chéria) (Avril 2025)

De plus, une potentielle pollution par les eaux de l'oued Chéria, qui collecte les eaux usées de la cité éponyme, est également envisageable.

La variation de la conductivité électrique (figure24) montre une CE varie entre 600 µs/cm et 4800 µs/cm au total.

Les fortes valeurs de minéralisation (4800,4100,2600 µs/cm) sont marquées pour le puit de 10, 08 et 05 successivement et cette augmentation est due de la dissolution des Gypse dans l'eau (les marnes du Dano-Montien).

La cartographie de ce critère révèle une augmentation significative dans la zone Abla avec un changement significatif en allons vers le sud du bassin, qui peut être attribué à divers facteurs

hydrodynamiques tels que la recharge à ce lieu précis et les flux du nord fortement chargés favorisant la concentration des éléments chimiques.

3.2.2 Le potentiel d'hydrogène (pH) :

On s'en sert pour évaluer l'alcalinité et l'acidité de l'eau. Le pH est l'logarithme du nombre d'H^+ et correspond à la concentration où $[H^+] = [OH^-] = 10\text{^}-7$. Toutefois, quelques écrivains estiment à juste titre que, puisque H^+ est une particule subatomique, un proton ne peut pas exister dans un état libre. Il serait préférable de substituer le concept d'ion H^+ par celui d'ion H_3O^+, l'hydroxynium ou hydronium (H. Schoeller 1962).

Les eaux de la zone étudier sont quasiment acceptable, car leur valeurs varie entre 7,11 et 7,97.

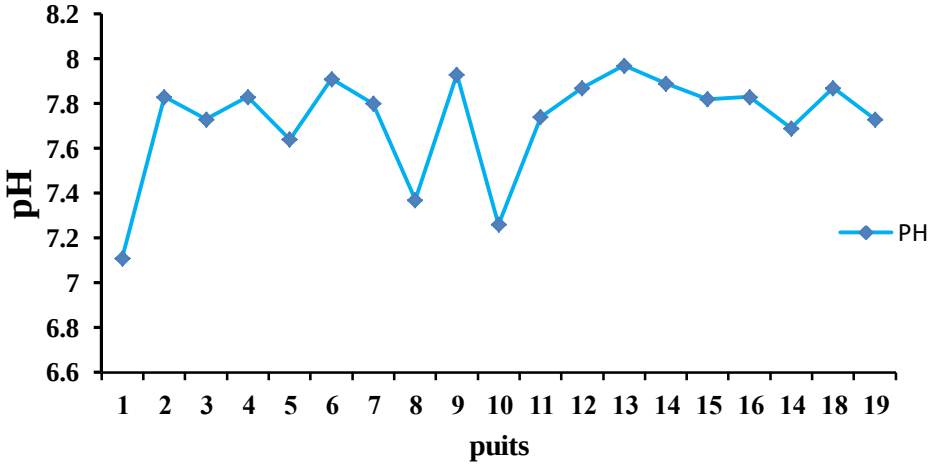


Figure 25: Evolution de la valeur du pH dans la région d'étude(oued chéria)

3.2.3 Température :

La variation de la température, un paramètre physique crucial, peut provoquer des modifications dans les résultats d'analyse de certains composés chimiques en raison de réactions chimiques potentielles.

Les échantillons ont une température oscillait entre 14.8 °C et 23,5 °C(figure 26).

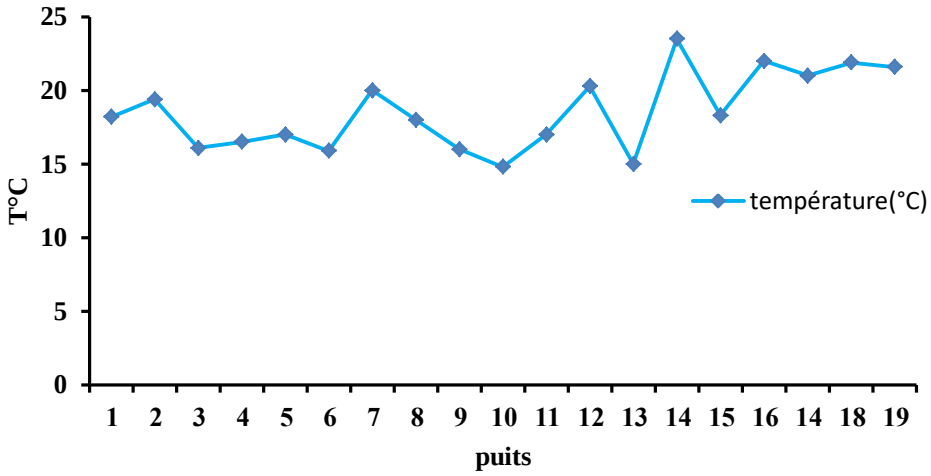


Figure 26: Evolution de la valeur de T°C dans quelques points d'eau de la région d'étude(oued chéria) .

Les plus fortes valeurs sont rencontrées dans les puits profonds tandis que les faibles températures sont relevées dans les puits superficielles. Au niveau de ces dernières, les eaux sont plus influencées par les variations saisonnières de la température de l'air atmosphérique.

3.2.4 Les cations majeurs

Durant la période d'étude sur l'ensemble du territoire étudié, les principaux cations (calcium, magnésium, sodium et potassium) ont été observés de manière temporaire. Cette observation est illustrée graphiquement dans la figure 27.

Les niveaux de calcium et de magnésium fluctuent respectivement entre **53.7mg/l** et **392.78mg/l**, ainsi qu'entre **75.1mg/l** et **117.15mg/l**. Dans l'aire d'étude, ces deux ions sont généralement issus de la dissolution des minéraux carbonatés, couramment retrouvés sur les contours et dans l'aquifère. Ce phénomène est dû à l'infiltration des eaux pluviales à travers la zone non saturée, qui se distingue par la présence de CO2 (fehdi.2008).

Le second groupe de cations, qui se compose principalement de sodium et de potassium, montre des concentrations prédominantes, particulièrement pour le sodium. Les niveaux de ces deux composants fluctuent entre **32mg/l** et **327mg/l** pour le sodium, et entre **1mg/l** et **5.8mg/l** pour le potassium. La présence de ces deux cations peut être imputée au faciès évaporitique prédominant dans la zone d'étude, mais aussi à l'exploitation excessive de l'aquifère, en particulier dans les zones irriguées.

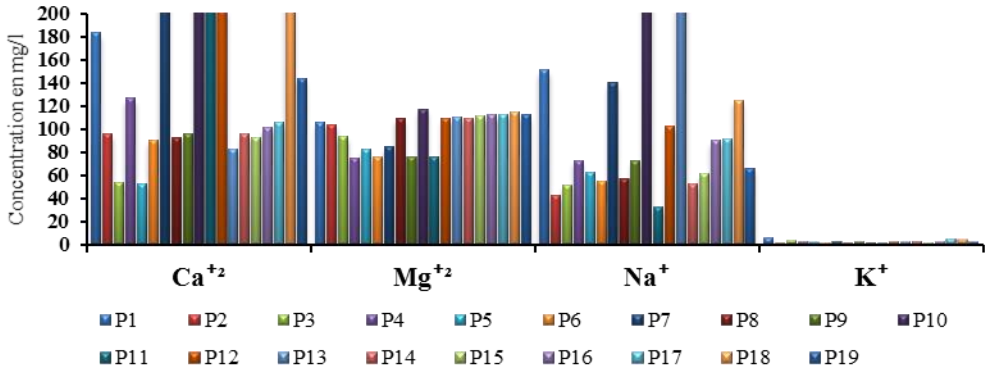


Figure 27: Evolution du taux des cations dans le plateau de Chéria(oued chéria) 2025.

3.2.5 Les anions majeurs :

L'évolution des anions principaux (chlorures, sulfates, bicarbonates et nitrates) durant la période d'Avril 2025 :

La concentration de chlorures fluctue entre 71**mg/l** et **347.9mg/l**. Les régions où l'on trouve des concentrations élevées de cet élément sont étroitement liées à la présence de terrains salifères.

Concernant les sulfates, on observe une fluctuation des concentrations entre un seuil minimal de **20mg/l** et un seuil maximal de **475mg/l**. Habituellement, les niveaux de SO_4 dans les eaux souterraines de l'aquifère démontrent une croissance significative tout au long de la durée d'étude (figure 28). Les

sulfates proviendraient du lessivage des évaporites (gypse et anhydrites) par les eaux météoriques, avant leur passage vers l'aquifère.

Pour les bicarbonates dont les concentrations oscillent entre **225.22mg/l** et **768.6mg/l**, on observe une progression graduelle de cet ion chimique durant la période d'étude, ce qui témoigne du transfert avec les sols carbonatés composés de calcite et de dolomite.

En ce qui concerne les nitrates, les concentrations de cet élément chimique demeurent forts. Ils oscillent entre une moyenne minimale de 6.6mg/l et une moyenne maximale de 132mg/l. abituellement, la concentration en nitrates est forte dans l'ensemble de la nappe. Ces nitrates peuvent être de sources variées: Naturelles, par la transformation de l'azote dans le sol et le cycle de l'eau, et Anthropiques, telles que les engrais, les fumiers et les eaux usées.

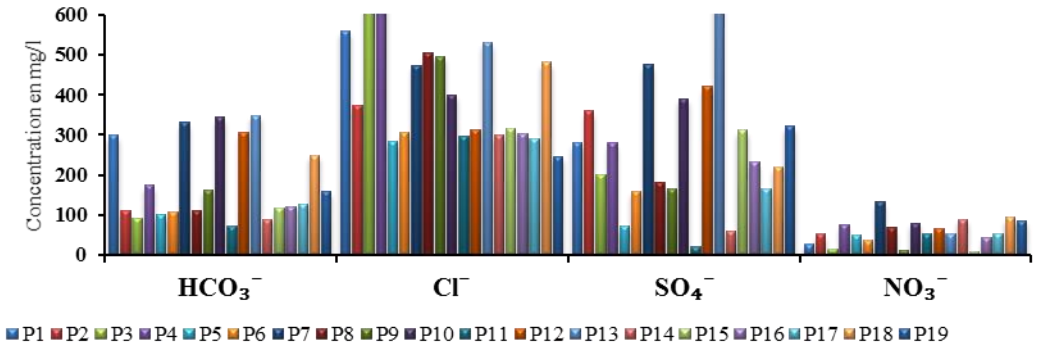


Figure 28: Evolution du taux des anions dans le plateau de Chéria (oued chéria) 2025.

4 Interprétation dé facies chimique :

4.1 Diagramme de Piper :

Afin de mieux définir le profil chimique des eaux dans la zone d'étude, une illustration graphique sur le diagramme triangulaire de Piper (Fig. 29) a été réalisée en se basant sur les résultats analytiques obtenu (Avril 2025). Cette illustration a démontré une prédominance notable du faciès chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne. Par contre le P13 et P15 sont caractérisé par un facies chlorurée sodique et potassique ;Bi-Carbonatée calcique et magnésienne respectivement.

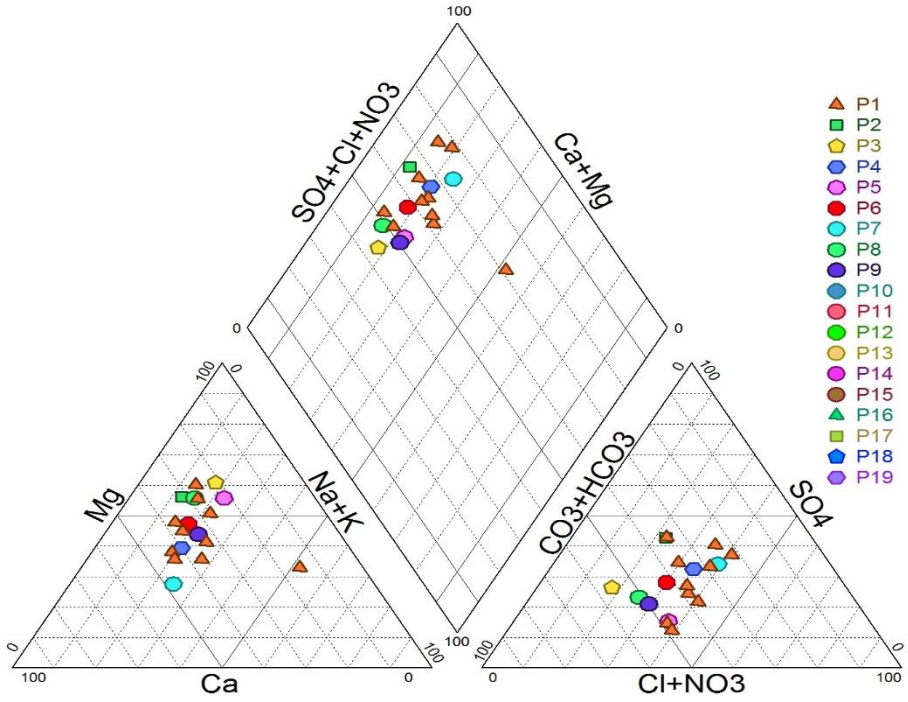


Figure 29: digramme de piper de la région de Chéria(oued chéria) (Avril 2025)

4.2 La représentation graphique sur le diagramme de Schoeller Berkaloff :

Cette illustration nous offre la possibilité de catégoriser les eaux de la zone d'étude sur la base des concentrations des éléments chimiques mesurées.

Le diagramme tracé (figure.30), confirme principalement un faciès chloruré sodique, permettant de dire que la minéralisation des eaux est liée aux ions Cl et Na+ Secondairement on observe un faciès chloruré calcique et aussi sulfaté calcique.

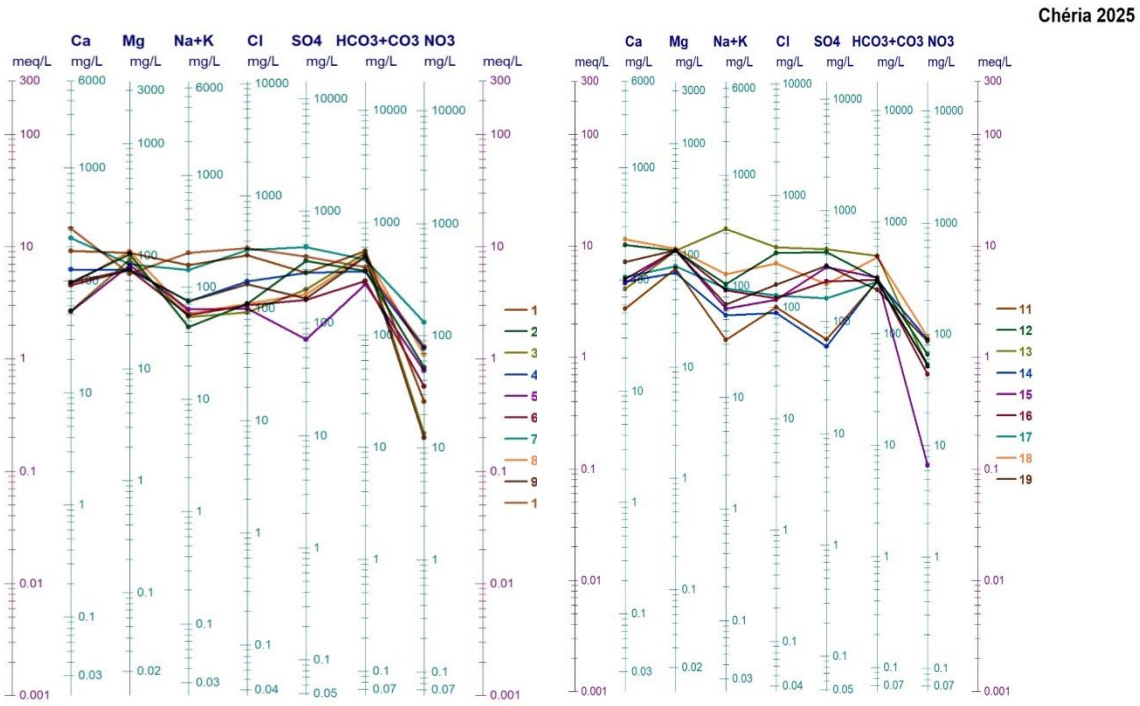


Figure 30: digramme de Schoeller Berkalof de la région de Chéria(oued chéria) (Avril 2025)

4.3 Utilisation agricole des eaux souterraines (diagramme de Wilcox et Riverside):

Il est important de réaliser une analyse chimique approfondie des eaux d'irrigation pour révéler le risque que certains composants chimiques posent aux végétaux.

La méthode de Wilcox pour classer les eaux selon le pourcentage de sodium qu'elles absorbent. Le risque est évalué en fonction de la valeur du sodium absorbable, aussi appelé « Ratio d'Absorption du Sodium : SAR ». Pour une conductivité identique, plus le coefficient est élevé, plus le risque est grand.

Cette classification, qui se base sur la conductivité électrique et le SAR dans l'eau, est définie par la formule suivante:

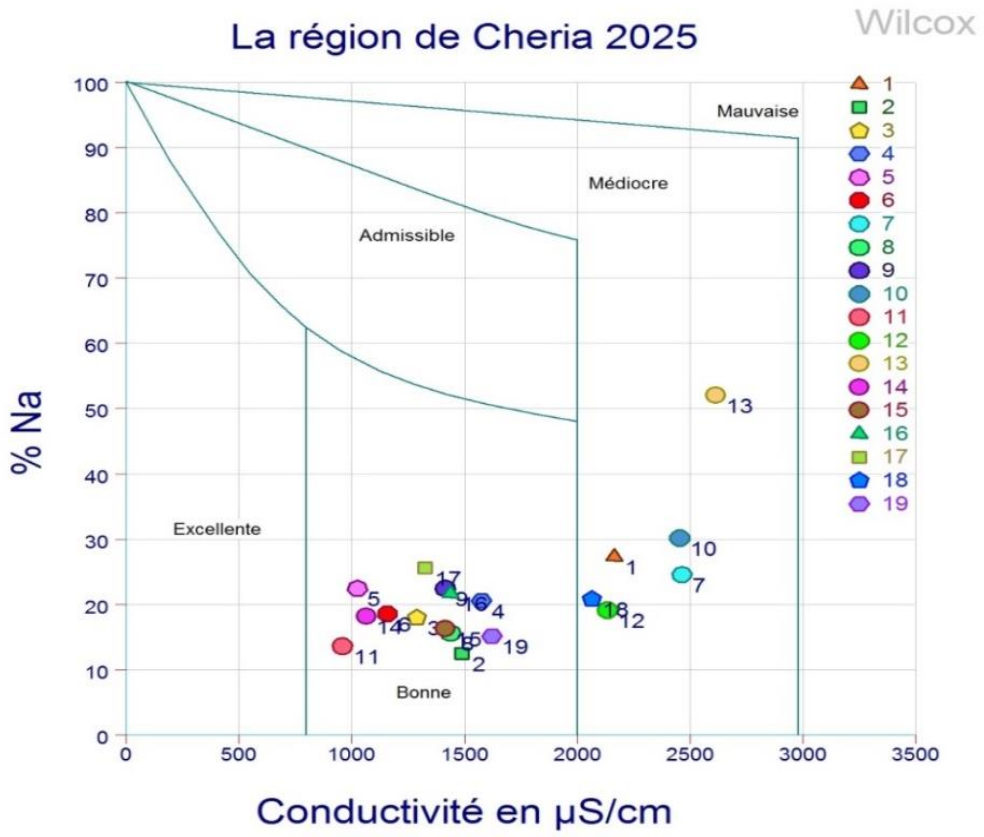


Figure 31: digramme de Wilcox de la région de Chéria(oued chéria) en Avril 2025.

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

Le graphique de Wilcox représente deux classes : Bonne et Médiocre .la première caractérise la majorité des points de prélèvements (12 forages) les plus loin de l'oued, la seconde est distinguée par une qualité très dégradé pour les six puits restant.

Le diagramme de Richard (figure 32) nous a permis de conclure que les eaux du plateau de Chéria, appartiennent globalement à la troisième classe pour la majorité des échantillons et à la quatrième pour les autres (classe dont le risque de salinisation est très)

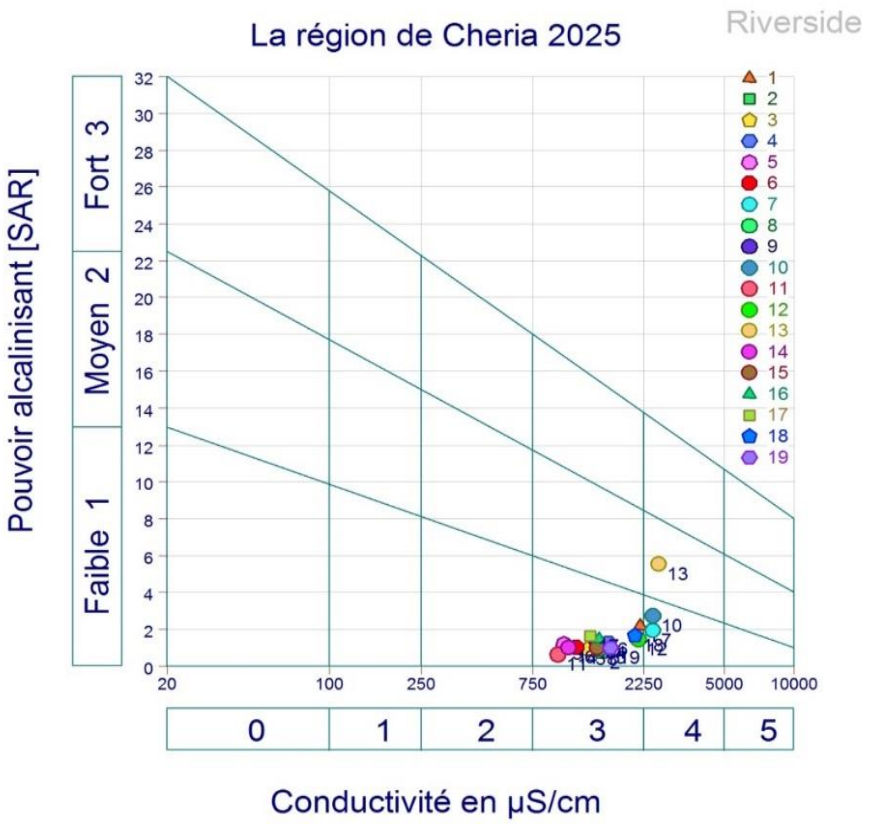


Figure 32: digramme de Riverside de la région de Cheria (oued chéria) (Avril 2025)

5 Evolution spatiale des paramètres physico-chimiques :

L'analyse de la distribution spatiale des paramètres physico-chimiques permet de révéler l'évolution de chaque élément et d'évaluer la provenance des minéralisations.

5.1 Conductivité électrique :

Les données relevées sur terrain en avril 2025 ont été ajustées pour une température variant entre 14°C et 23,5°C. Les données indiquent que 8 N° (1.3.5.8.10.14.18.19) des points d'eau excèdent le seuil recommandé pour l'eau destinée à la consommation potable. La conductivité électrique varie entre 727 **µS/cm** et **4530 µS/cm**, avec une moyenne de **1202.92 µs/cm** (figure34),(Annexe01).

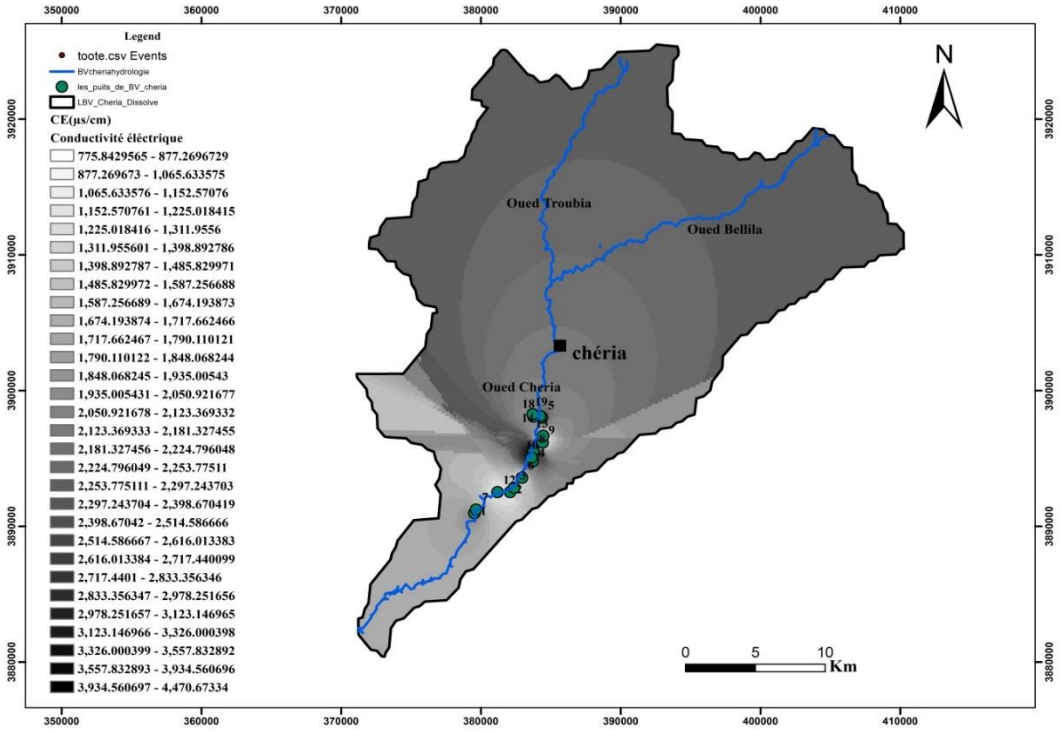


Figure 33: carte d'évolution de la conductivité dans la plaine de chéria Oued Chéria (Avril 2025)

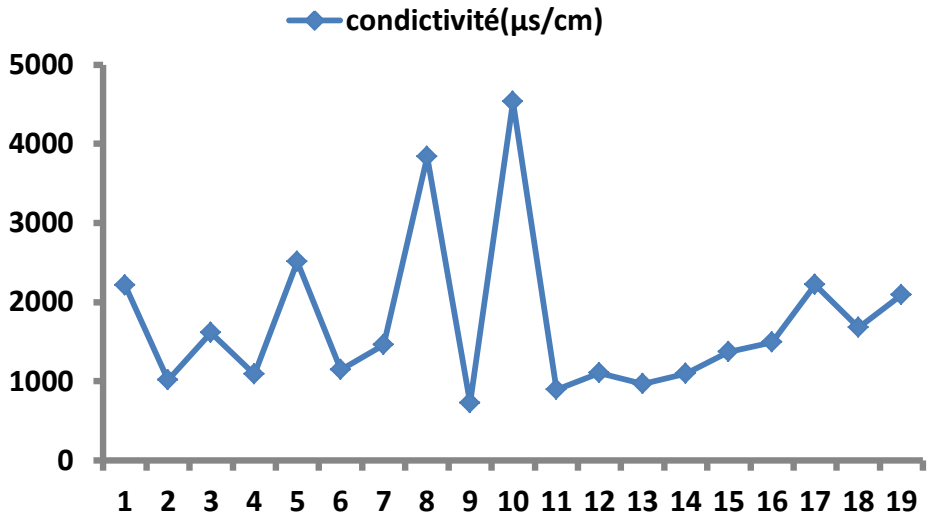


Figure 34: Graphe d'évolution du conductivité de la région de chéria (oued chéria) en Avril 2025

5.2 Le calcium :

Le calcium, qui est le principal facteur de la dureté de l'eau, est un métal alcalino-terreux largement présent dans la nature et plus spécifiquement dans les roches calcaires sous forme de carbonates. On retrouve ses sels dans presque toutes les eaux naturelles. Ils se dissolvent en grande partie lors de l'assaut des roches calcaires par l'anhydride carbonique dissous (CO_2). C'est crucial pour les plantes et les animaux.

Le système d'équilibre CaCO3- CO2 - H2CO3 - HCO3 (Matthess, 1990) régule la concentration de Ca^{+2} dans toutes les eaux.

Dans la région de Chéria, les teneurs en calcium oscillent entre un seuil minimal de **53.7mg/l** et un seuil maximal de **392.78mg/l**, avec une moyenne établie à **148.59mg/l**(figure 36), (Annexe01).

L'analyse de la carte de répartition du calcium (figure 35) indique que les concentrations maximales ont été notées proche la zone Abla, alors que des teneurs réduites ont été relevées au sud de cette même région.

Lors de la collecte d'échantillons en avril 2025, la plus élevé concentration de Ca^{2+} a été notée au point d'eau N°9. Cette valeur est sans doute le résultat de la présence des roches carbonatées (calcite et dolomite), qui caractérisent le substratum essentiellement composé de marno-calcaires.

La transformation de la calcite et de l'aragonite en dolomite, décrite par la réaction ci-dessous, peut être un apport de calcium supplémentaire dans la zone étudiée (Freeze et Cherry 1979).

$Mg^{2+} + 2CaCO_3 \rightleftharpoons CaMg(CO_3)_2 + Ca^{2+}$.

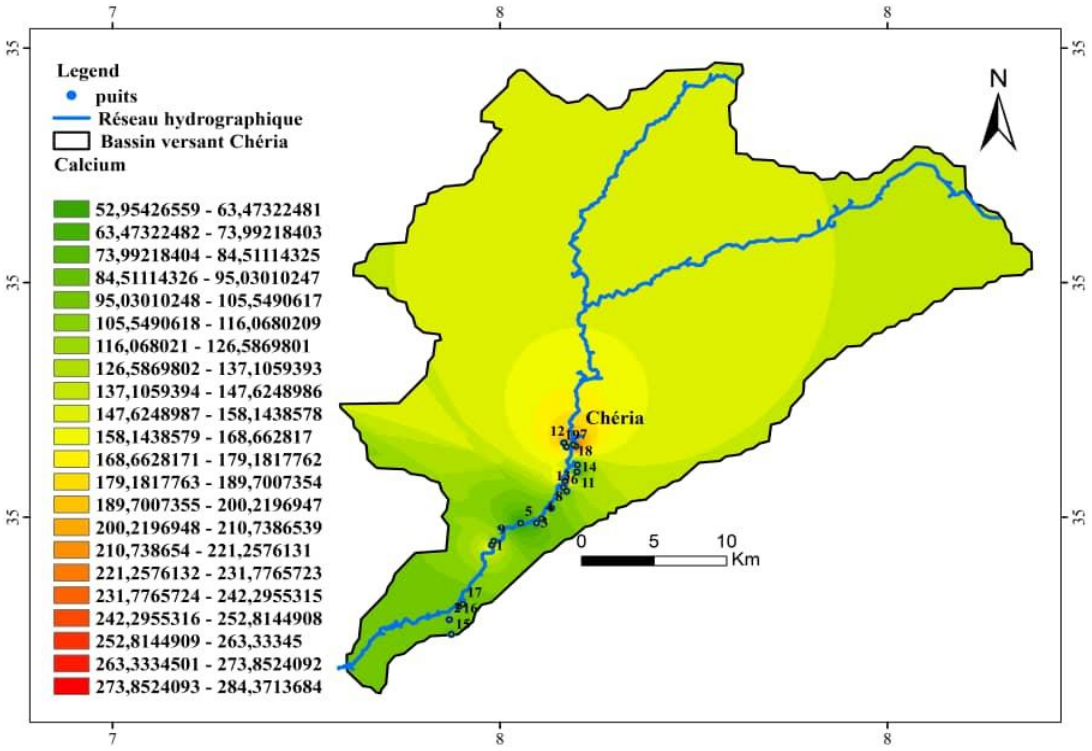


Figure 35: Carte d'évolution du Calcium dans la plaine de Chéria (oued chéria) (Avril 2025)

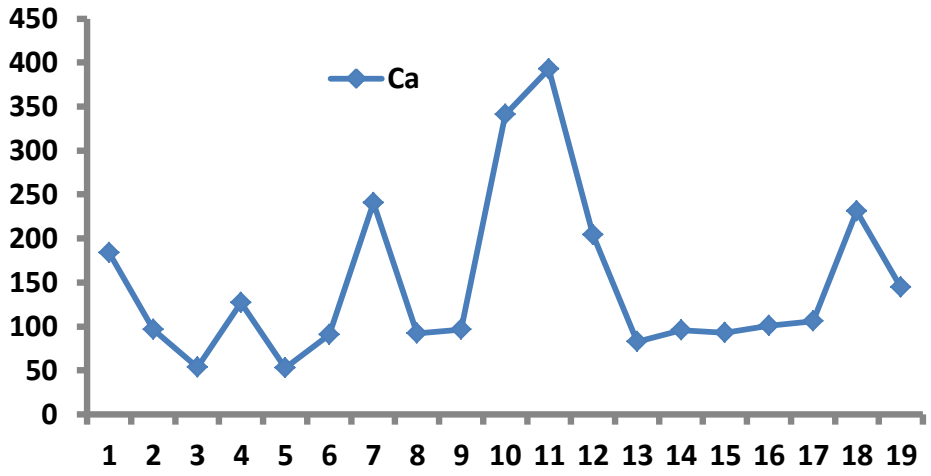


Figure 36: Graphe d'évolution du Calcium de la région de chéria(oued chéria) Avril 2025

5.3 Le magnésium :

Le magnésium est un élément largement présent dans la nature, Dans les formations rocheuses sédimentaires, son origine est analogue à celle du calcium, puisqu'il découle de la dissolution des structures carbonatées riches en magnésium telles que la magnésite et la dolomite (Merkel et Sperling, 1996).

Magnésite: $MgCO3 \rightarrow Mg^{2+} + CO3^{2-}$ log Ks = 2.96 (Drever 1997).

Dolomite: $Ca\ Mg\ (CO\ 3) \rightarrow Ca^{2+} + Mg^{2+} + 2CO\ 3^{2-}$ log Ks = -17.09 (Drever 1997).

Dans la zone d'observation, les niveaux de Mg^{2+} varier entre **75.1mg/l** et **117.15mg/l**, avec une moyenne de **99.61mg/l** (figure38) , (Annexe01).

La figure 37 illustre les concentrations détectées dans la zone d'étude, On observe une baisse significative du taux de magnésium dans l'ensemble de la zone d'étude. Les concentrations fortes de Mg^{+2} peuvent être imputées à la présence de processus de dolomitisation, notamment dans la partie sud et centre de bassin versant de Chéria.

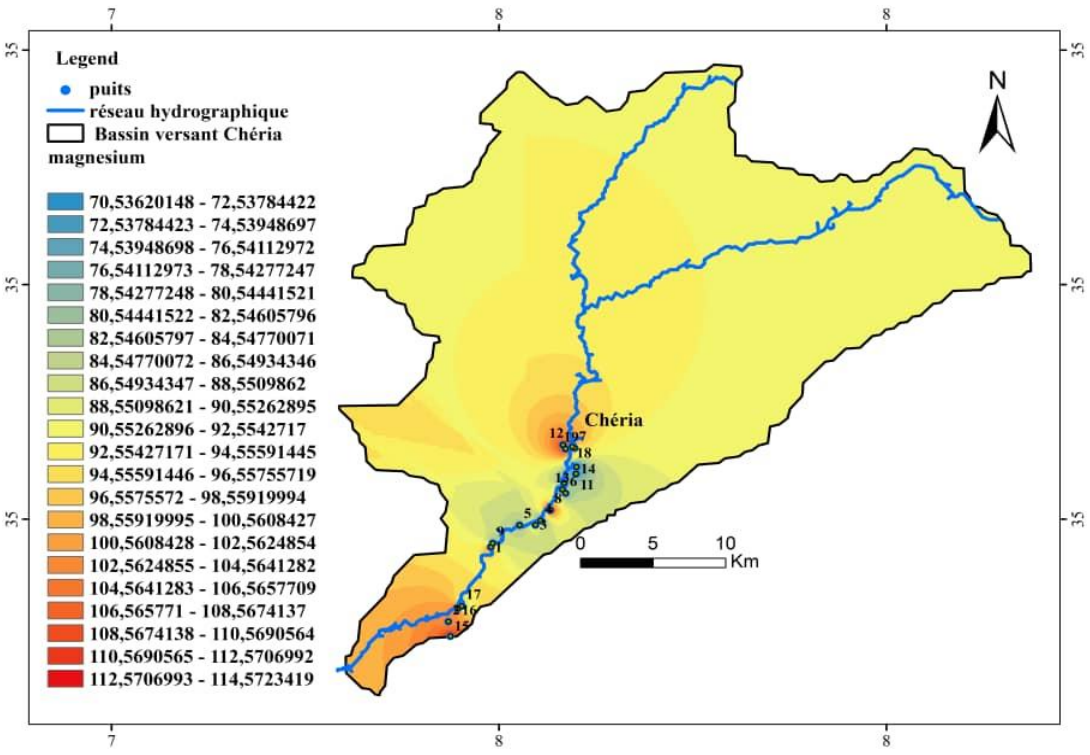


Figure 37: carte d'évolution du Magnésium dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025)

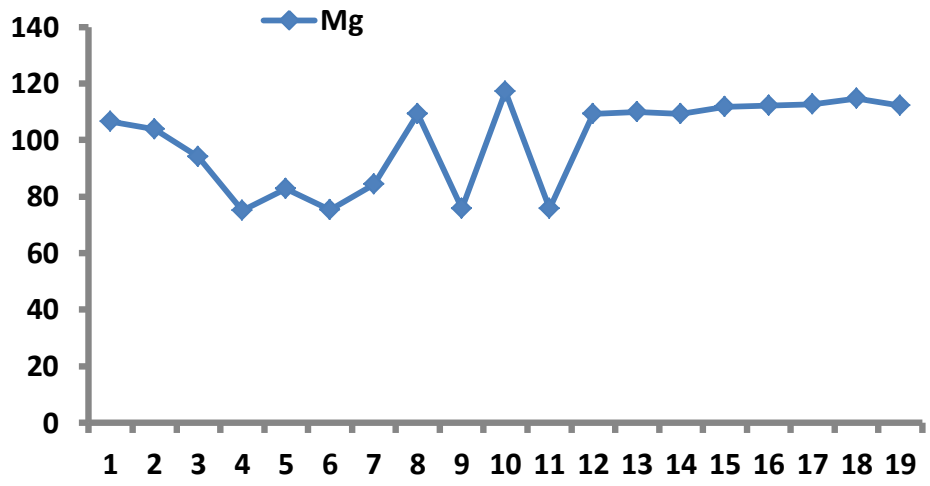


Figure 38: Graphe d'évolution du Magnésium de la région de chéria(oued chéria) Avril 2025

5.4 Le sodium :

Cet élément, qui est très répandu (approximativement 26g/kg de la croûte terrestre, soit près de 2.8%), ne se trouve pas naturellement sous forme native, mais toujours en association avec d'autres éléments chimiques (comme les chlorures, les sulfates, etc

Dans la zone d'étude, les concentrations de Na+ présentent une grande variabilité, Les concentrations fluctuent entre 32mg/l et 327mg/l, avec une moyenne se chiffrant à 100.21mg/l (figure 40).

Les faibles concentrations de Na+ peuvent être attribuées à plusieurs facteurs : le remplacement du Na^+ par du Ca^{2+} ou du Mg^{+2}, la dilution par des eaux à faible teneur en sels, l'usage d'eaux riches en Na^+ pour l'irrigation, l'adsorption du Na^+ par les argiles ou la faible présence de minéraux sodiques dans les roches.

Sauf que pour un seul point d'eau N°13 qui dépasse la Norme d'OMS (200mg/l), Cela peut être dû à une Anomalie géologique ou à des eaux usées. (Annexe01).

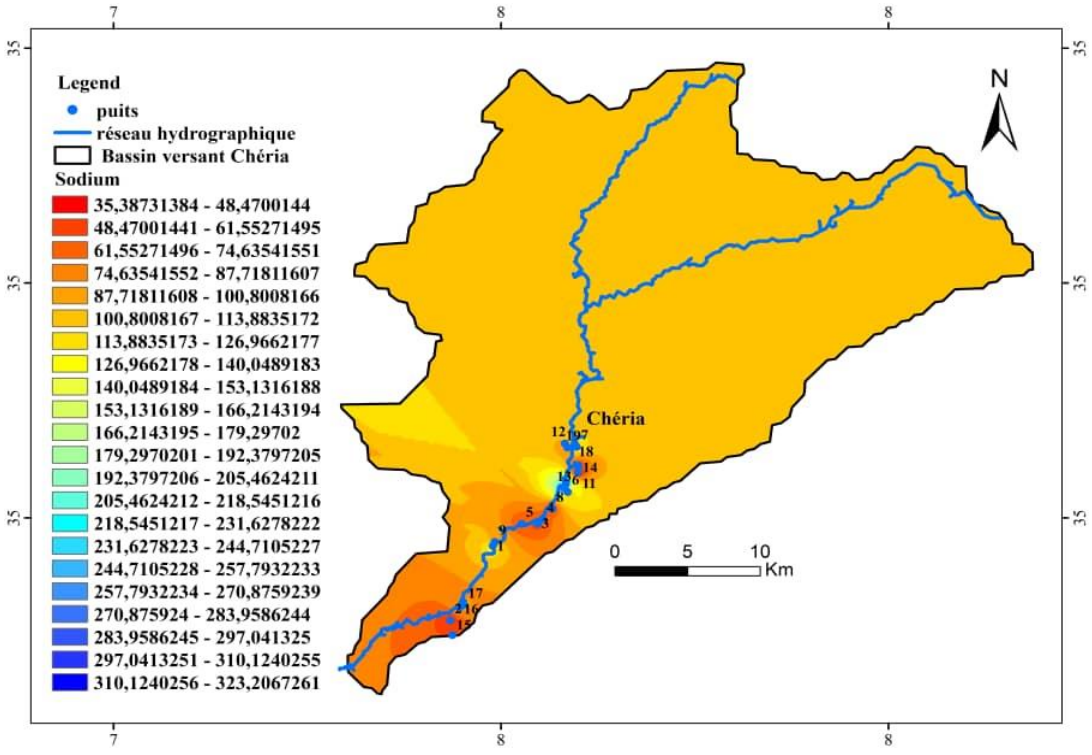


Figure 39: Carte d'évolution du Sodium dans la plaine de chéria(oued chéria) (Avril 2025)

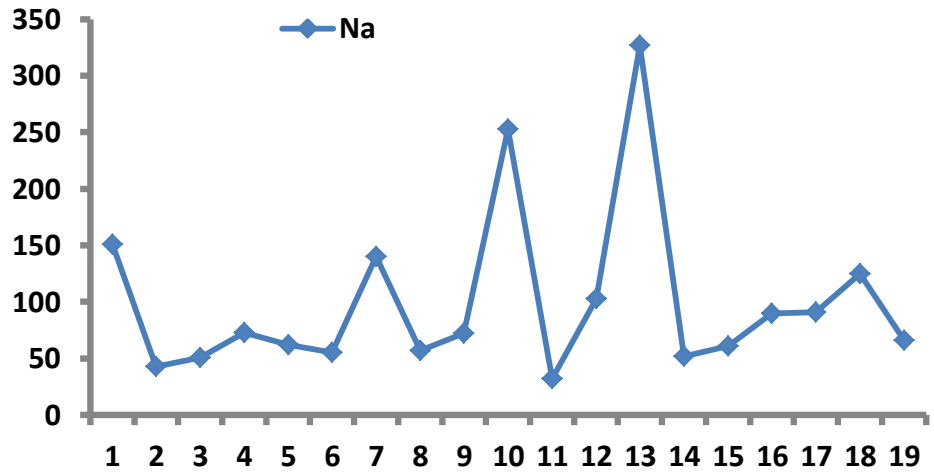


Figure 40: Graphe d'évolution du Sodium dans la plaine de chéria(oued chéria) (Avril 2025)

5.5 Potassium K^+ :

Le potassium est un composant naturel des eaux dont la concentration, généralement stable, ne dépasse généralement pas **10** à **15 mg/l**. Le potassium dans les sédiments se retrouve principalement dans les feldspaths altérés, les particules de mica ou les minéraux argileux où il apparaît sous forme de cation d'inter-couches.

Dans la zone d'investigation, le potassium est l'ion positif le moins courant. Dans les échantillons d'eau examinés, ses concentrations oscillent entre **1 mg/l** et **5.8mg/l**, avec une moyenne de **2.41mg/l** (figure42), (Annexe01).

La figure 41 illustre la fluctuation des niveaux de K^+ durant la période d'étude à quelques points d'eau :

On constate que les valeurs les plus élevées sont notées aux points d'eau localisés au Sud de Oued Chéria (P1, P17), avec un niveau maximal de **5.8mg/l** relevé au point d'eau N°1. Cette concentration élevée pourrait être due à la dissolution des roches évaporitique (sels potassiques KCl) d'un côté et à l'emploi de fertilisants potassiques de l'autre côté par les agriculteurs lors des diverses opérations agricoles.

Toutefois, la concentration de K+ dans les sols varie considérablement et est influencée par divers éléments tels que la nature du sol, son pH, la température, la présence d'argile, l'existence de sels et l'activité agricole.

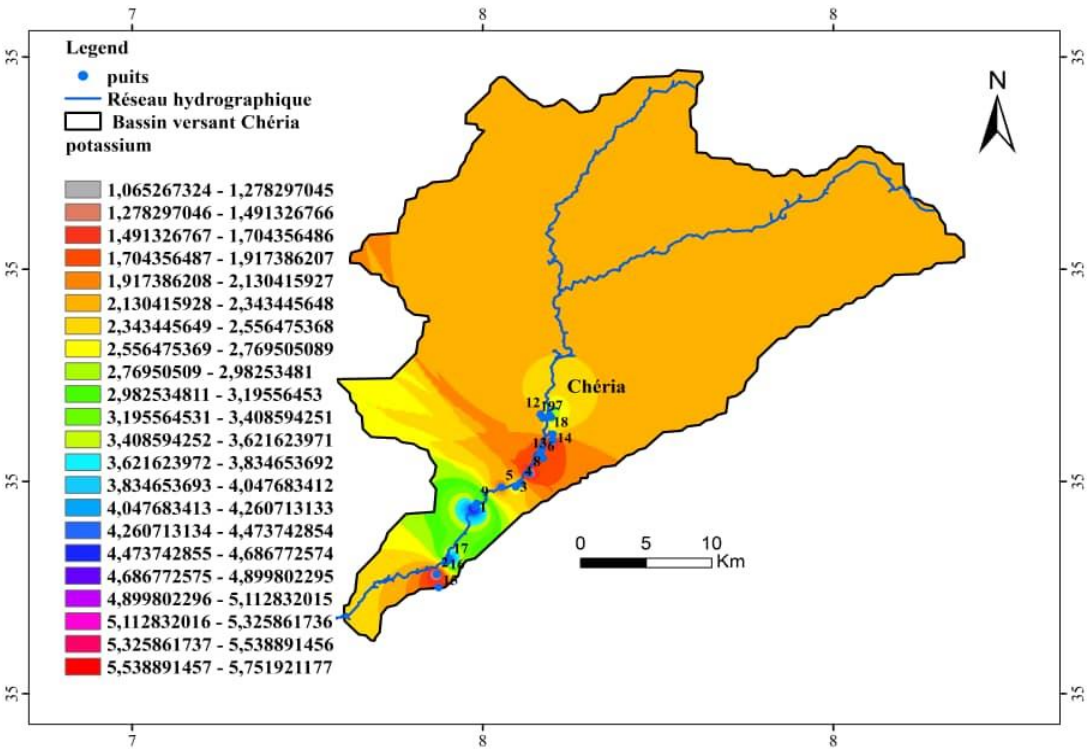


Figure 41: carte d'évolution du Potassium dans la plaine de Chéria (oued chéria) (Avril 2025)

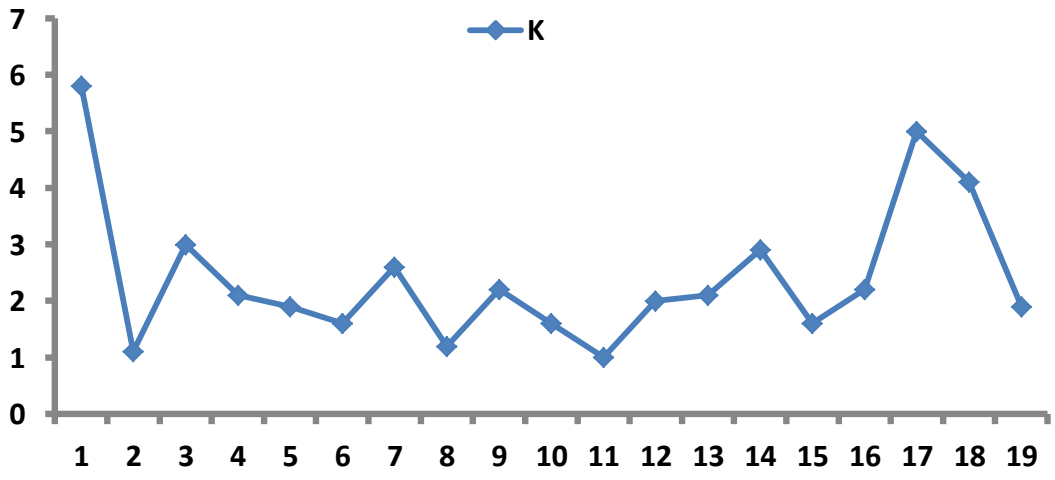


Figure 42: Graphe d'évolution du Potassium dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025)

5.6 Les Bicarbonates HCO_3^-:

Les niveaux de bicarbonate dans les divers échantillons examinés de l'aquifère, fluctuent entre un seuil bas de **245.22 mg/l** et un seuil haut de **559.58 mg/l** pour une moyenne de **385.99 mg/l** (graphe44),(ANNEXE 1) .

L'évolution spatiale des bicarbonates (figure 43) indique une élévation des concentrations de cet élément dans le Sud de la zone étudiée aux points d'eau P1 et P9. Il est probable que ces concentrations élevées soient dues à l'influence des formations carbonatées. À mesure que l'on se rapproche du Nord de la zone d'étude, les concentrations de HCO_3^- décroissent jusqu'à atteindre leur plus bas niveau au point d'eau P19.

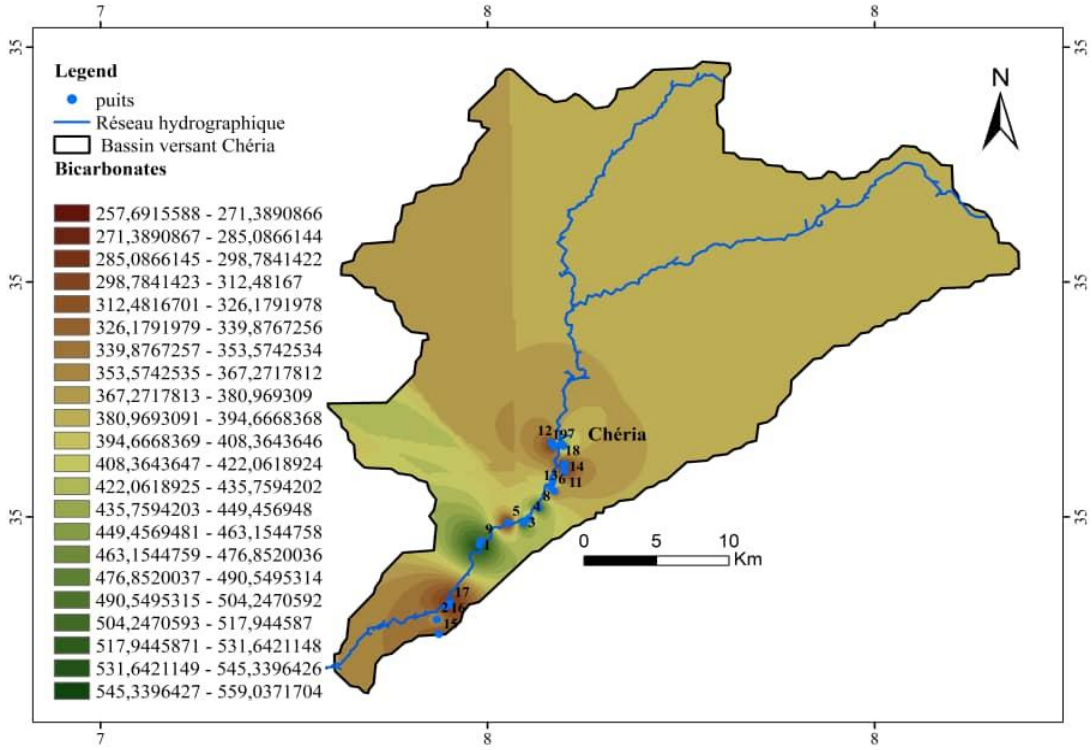


Figure 43: carte d'évolution du Bicarbonates dans la plaine de Chéria (oued chéria) (Avril 2025)

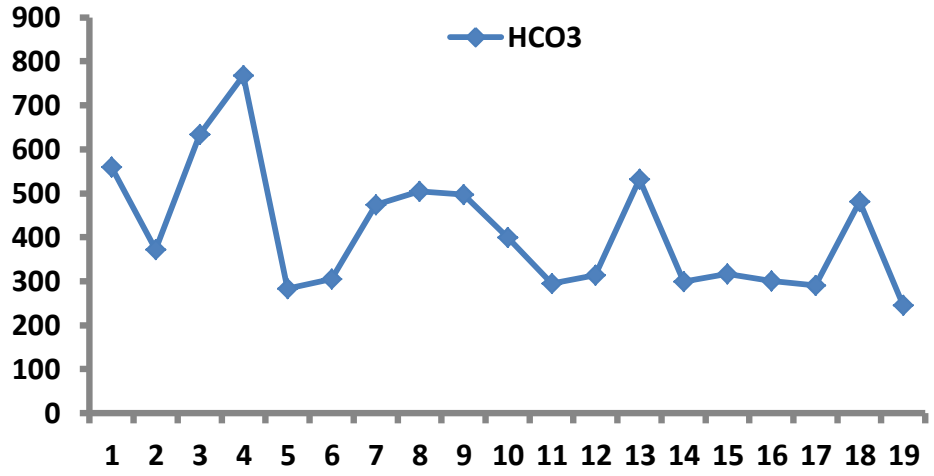


Figure 44: graphe d'évolution du Bicarbonates dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025)

5.7 Les Chlorures Cl^-:

Les ions de chlorure (Cl^-), qui se retrouvent généralement sous forme de sels tels que le NaCl, le KCl et le $CaCl_2$, sont abondamment présents dans la nature. Dans les nappes phréatiques, la concentration en ions chlorures peut grimper à quelques grammes par litre lorsqu'elle est en contact avec certaines formations géologiques.

Ces concentrations fluctuent d'un minimum de **92.3 mg/l** à un maximum de **347.9 mg/l**, avec une moyenne de **181.26 mg/l** (figure46) , (Annexe01).

On note une présence élevée de chlorures dans la zone centrale de la région étudiée (autour des puits P13. P12. P7), tandis que plus au sud, leur concentration s'atténue, avec un niveau minimal enregistré au point d'eau P3.

Les concentrations de chlorures et de sodium présentent une corrélation notable, attestant ainsi de leur provenance salifère.

Une hausse du taux de chlorures suggère une intrusion des eaux usées dans la nappe d'eau, l'influence des fertilisants agricoles ou l'issue d'une évaporation intense dans un climat sec. Elle peut aussi résulter d'une interaction avec des roches contenant une forte concentration en sels.

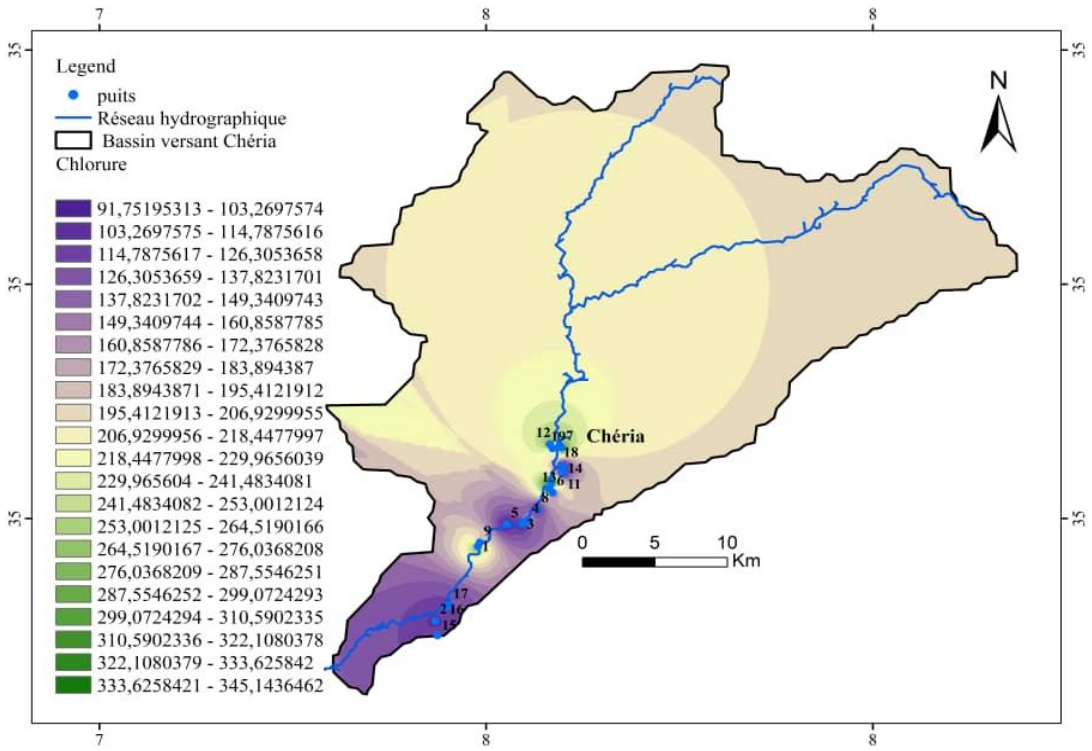


Figure 45: carte d'évolution du Chlorure dans la plaine de Chéria (oued chéria) (Avril 2025)

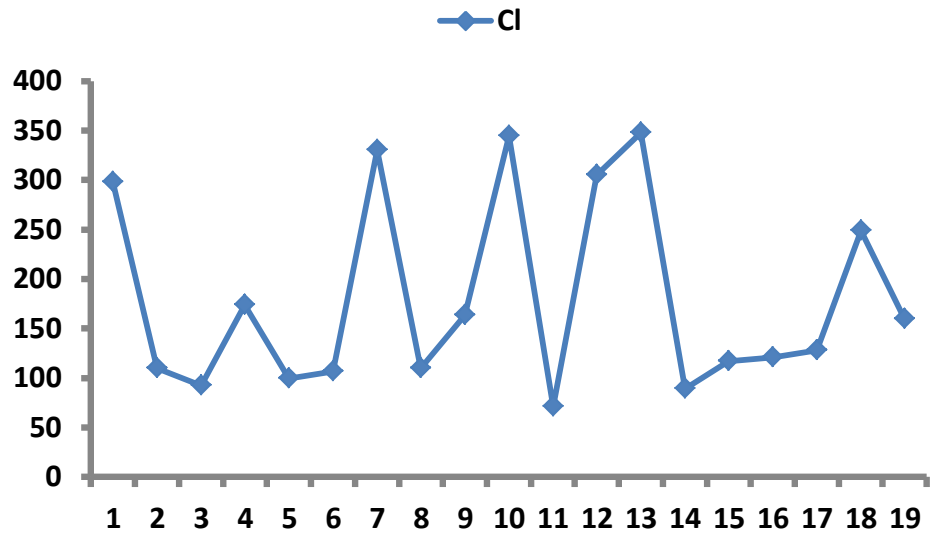


Figure 46: carte d'évolution du Chlorure dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025)

5.8 Les sulfates :

Dans la zone d'étude, les concentrations en sulfates SO_4^{2-} présentent une grande variabilité d'un endroit à l'autre. Les concentrations fluctuent de **60 mg/l** à un maximum de **475 mg/l**, avec une moyenne établie à **253.25 mg/l** (graphe 48), (Annexe01).

La figure47 illustre la répartition spatiale de cet élément à travers l'ensemble de la région étudiée. Sur cette carte, on note que les concentrations élevées de SO_4^{-2} sont situées à plusieurs points tels que (P7, P12, P13). Ces concentrations dépassent la Norme d'OMS, tandis que les faibles concentrations se trouvent au niveau des puits P14, qui sont localisés Presque au Nord de la zone d'étude.

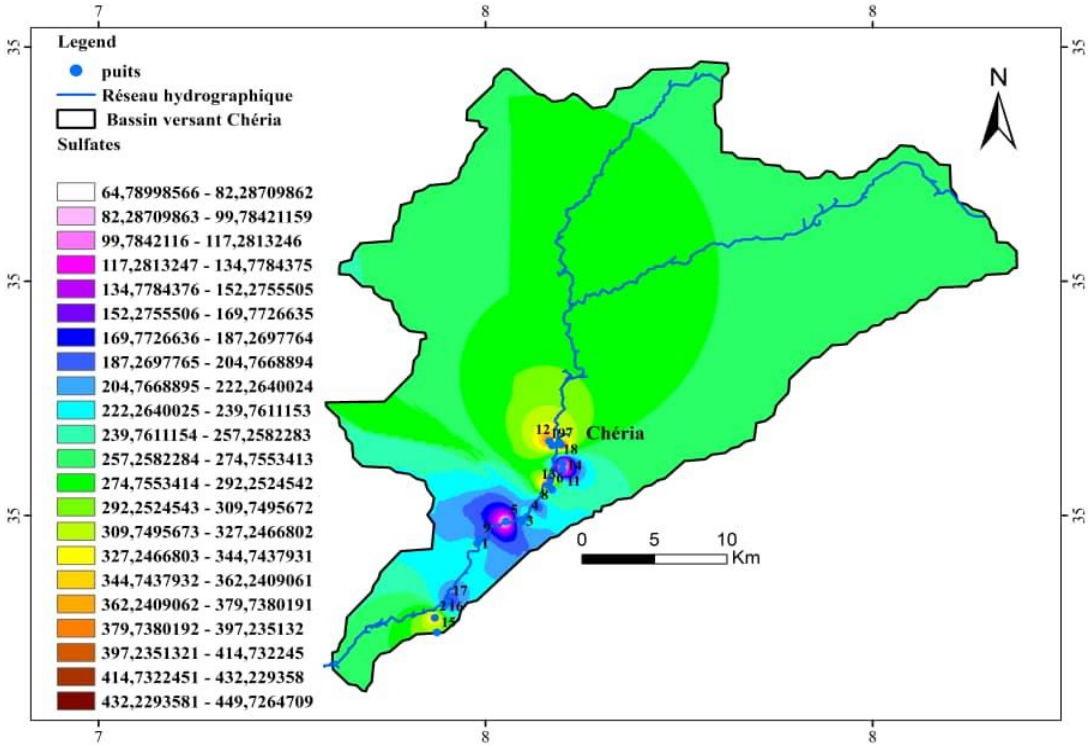


Figure 47: carte d'évolution du Sulfates dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025)

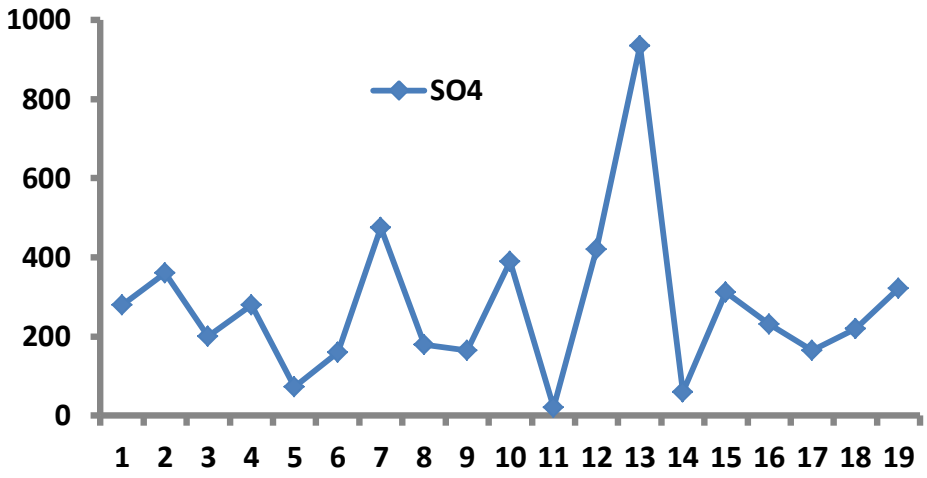


Figure 48: graphe d'évolution du Sulfates dans la plaine de Chéria (oued chéria) (Avril 2025)

Dans la zone d'observation, la provenance des sulfates est attribuée au lessivage du gypse (CaSO 4.2H2O) et de l'anhydrite (CaSO 4). Ces deux minéraux se dissolvent quasiment instantanément au contact de l'eau.Une autre origine possible des sulfates peut être l'infiltration du sulfure, employé en tant qu'engrais ou pesticide par les fermiers de la zone d'étude.

5.9 Les nitrates :

Les nitrates (NO_3^-) représentent la forme ultime d'oxydation de l'azote organique. Les nitrates se trouvent en grande quantité dans le sol, ainsi que dans la majorité des eaux et des plantes. Etant donné qu'ils sont solubles dans l'eau, on les trouve naturellement à faible concentration tant dans les eaux souterraines que de surface.

L'azote organique est apporté aux sols par divers moyens, tels que les amendements effectués par l'homme (fumier, etc.), le retour des résidus de culture au sol ou le retour des excréments d'animaux. L'accumulation d'azote minéral dans le sol provient des apports d'engrais synthétiques, qui se présentent sous les formes de l'ammonium, des nitrates et de l'urée.

Le cycle de l'azote dans le sol est extrêmement complexe, une version simplifiée de celui-ci est illustrée dans la figure ci-dessous :

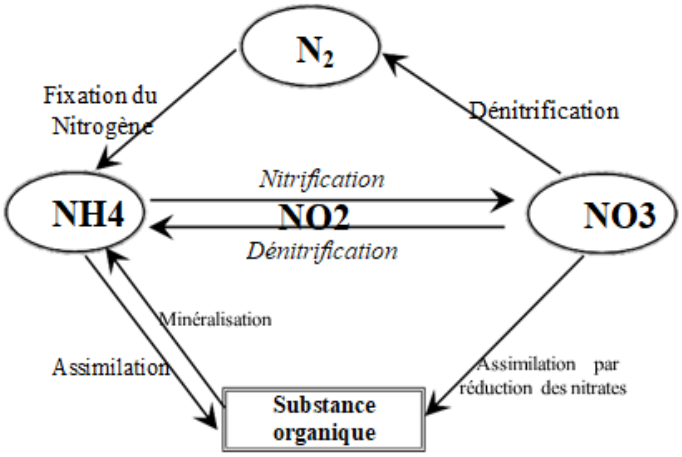


Figure 49: le cycle de l'azote dans le sol (Hill, 1991) in Fahdi 2008

Dans larégion d'étude, les niveaux de nitrates dans l'aquifère fluctuent entre un seuil bas de **6.6 mg/l** et un seuil haut de **132 mg/l**, avec une moyenne fixée à **57.18 mg/l** (figure 51), (Annexe01).

La Figure 50 illustre que les niveaux les plus élevés excédant les Normes sont notés aux points d'eau près de Oued Chéria « probablement due au eaux usées » P2, P4 et P7.P8. P10. P11.P12. P13 et P14. En revanche, les valeurs les plus basses ont été mesurées aux puits P1. P3. P5. P6. P9. P15 et P16, qui se trouvent dans le sud de la zone d'étude » les forages les plus profonds et plus loin d'oued Chéria ».

L'origine de Nitrate dans la zone d'étude est probablement les engrais agricoles et en plus les eaux usées d'Oued Chéria.

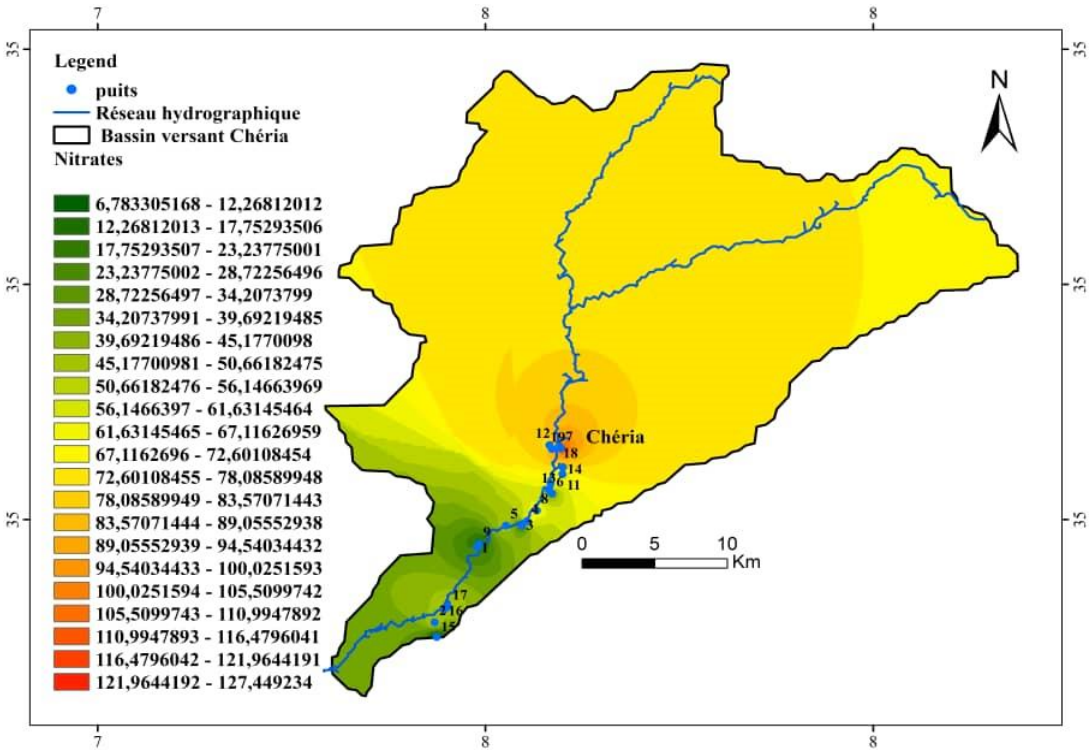


Figure 50: Carte d'évolution du Nitrate dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025)

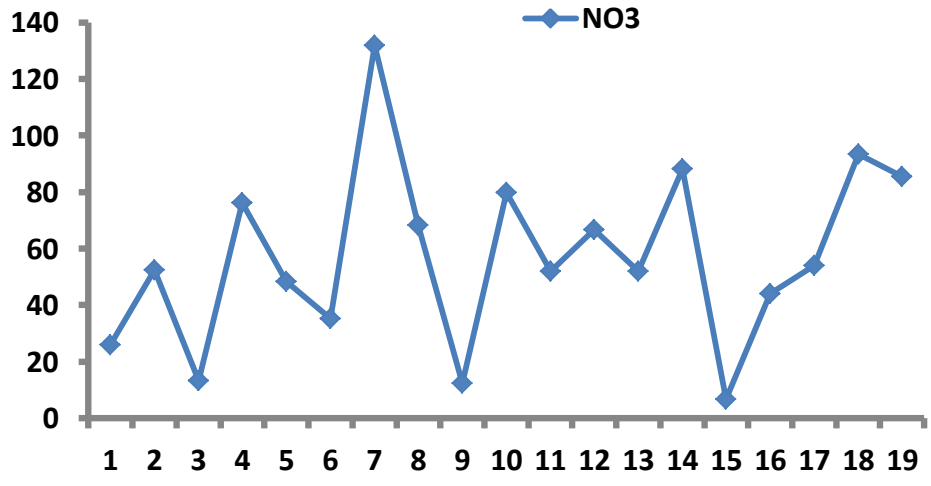


Figure 51: graphe d'évolution du Nitrate dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025)

5.10 Les Nitrite :

La nitrification est une procédure en deux phases qui commence par la transformation du NH4 en NO_2^- pour ensuite se convertir en NO_3^-. L'oxydation biologique du NH_4 et du NO_2^- .

On observe selon la figure 43 la présence du Nitrite dans les puits près de l'oued « P1. P3. P4. P5. P6. P9. P18 », avec des valeurs varie entre **0mg/l** à **0.005mg/l** et qui ne dépasse pas la Norme d'OMS **(0.5mg/l).**

NB: les Analyses de Nitrite faits sans fixation

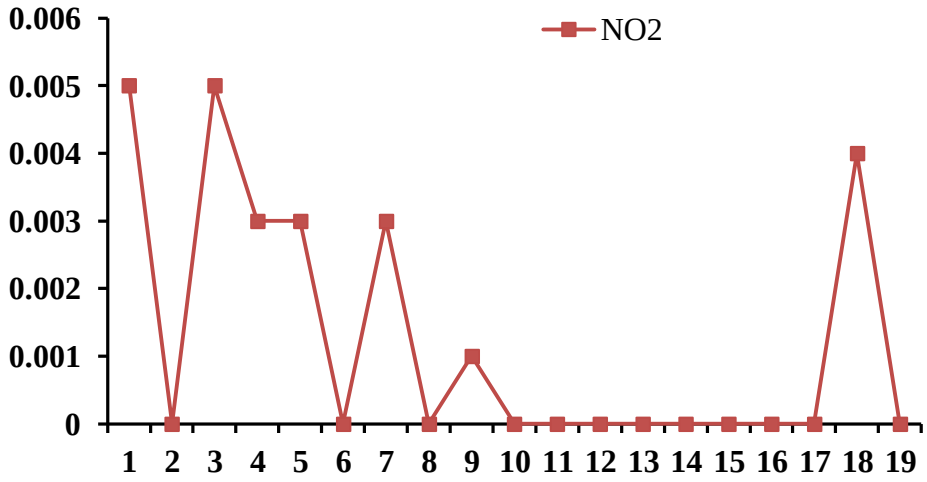


Figure 52: Evolution du Nitrite dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025)

5.11 Les Métaux lourds :

Dans la région d'étude les concentrations des éléments en traces sont très faibles.

5.11.1 Fer:

Dans les eaux bien oxygénées, sa présence n'est généralement pas significative. Cependant, dans les eaux souterraines (notamment dans les nappes phréatiques, particulièrement dans les nappes alluviales peu oxygénées, etc.), on peut constater une concentration élevée en fer lorsque les conditions favorisent sa solubilisation. Effectivement, le fer est présent sous forme dissoute dans l'eau qui est dépourvue d'oxygène.

Deux sources ont été répertoriées : l'élevage et les rejets d'eaux urbaines. Une troisième source de moindre importance pourrait être mentionnée, à savoir l'agriculture qui a connu une expansion ces dernières années.

Dans la zone d'étude, le fer est présent à des concentrations faibles à modérées, variant entre **0.03m/l** et **0.16 mg/l**, et reste globalement en dessous de la norme de l'OMS (**0.3 mg/l**).(figure 54), (Annexe01).

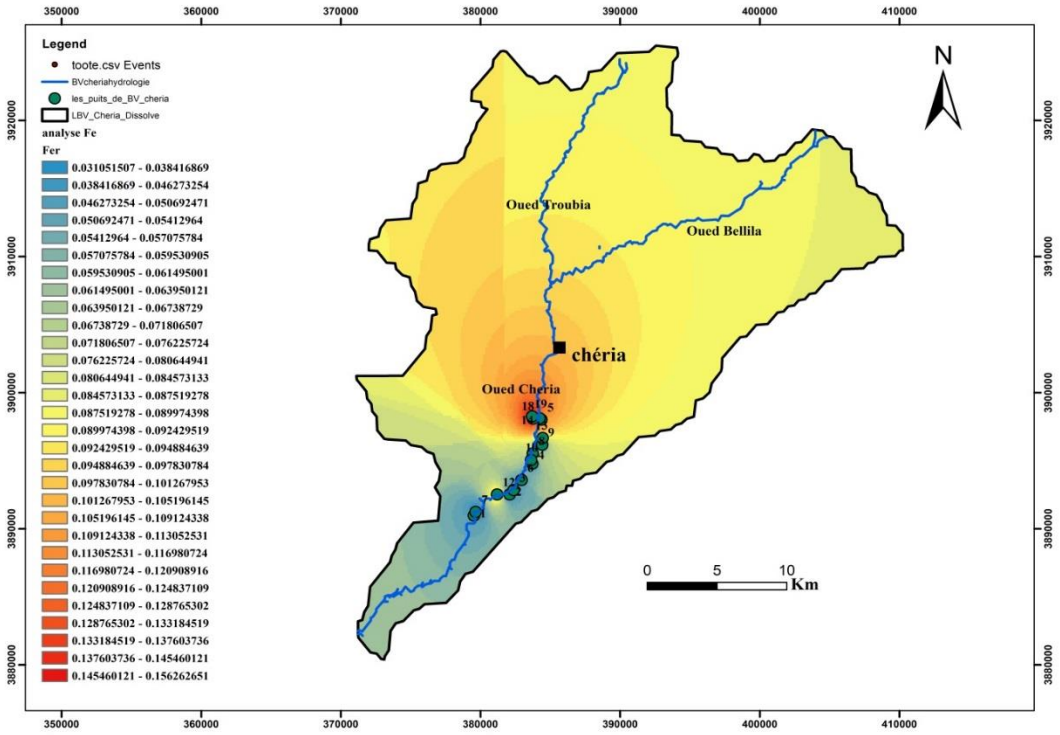


Figure 53: carte d'évolution du Fer dans la plaine de chéria (oued chéria) Avril 2025

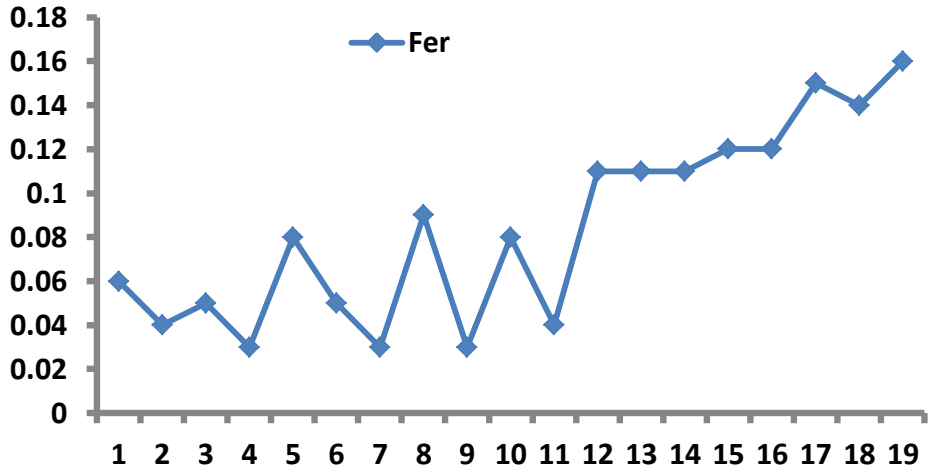


Figure 54: Graphe d'évolution du Fer dans la plaine de chéria (oued chéria) Avril 2025

5.11.2 Zinc:

Le zinc (Zn^{2+}) est un élément chimique peu fréquent dans les milieux aquatiques, où il se retrouve naturellement en petites quantités. Cependant, sa présence peut augmenter à des niveaux plus importants en cas de contamination.

Sources possibles de l'existence du Zn:

- la corrosion des conduites galvanisées,
- les engrais et les pesticides,
- les eaux usées.
- les eaux usées industrielles ou domestiques.

Les concentrations de zinc sont extrêmement basses surtout dans le Nord de la région d'étude, oscillant entre **0 mg/l** et **0.06 mg/l** sont respectent la Norme d'OMS (3mg/l) (figure56)(Annexe01).

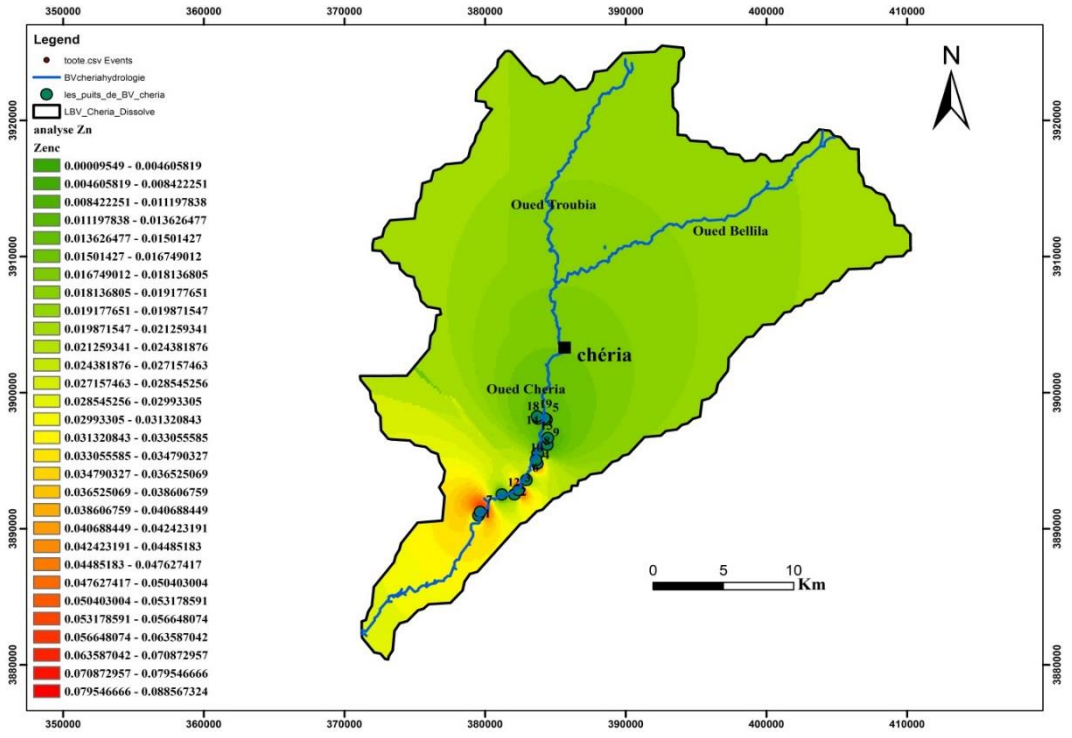


Figure 55: Carte d'évolution du Zinc dans la plaine de Chéria (oued chéria) (Avril 2025)

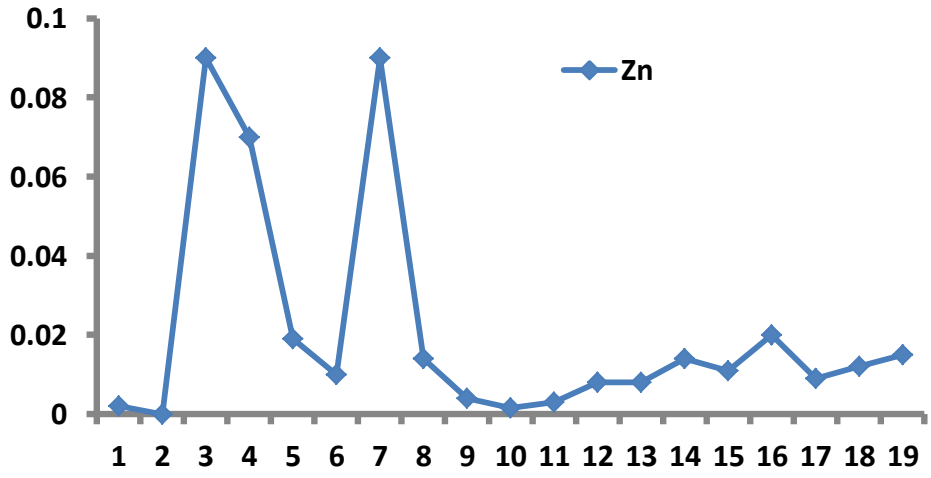


Figure 56: Graphe d'évolution du Zinc dans la plaine de Chéria (oued chéria) (Avril 2025)

5.11.3 Cadmium:

Le cadmium (Cd^{2+}) est un élément métallique rare, qui ne se retrouve qu'en faibles concentrations dans les eaux naturelles, où il est présent sous forme de traces. Toutefois, il peut se manifester à des niveaux plus importants en cas de contamination d'origine humaine, particulièrement industrielle.

Possibles origines de la présence du Cd^{2+} :

- les rejets provenant de l'industrie (métallurgie, batteries, plastiques),
- les fertilisants phosphatés,
- les eaux usées
- la dégradation de certaines canalisations métalliques.

Dans la zone d'étude, les niveaux de cadmium détectés sont particulièrement bas, surtout dans le centre, oscillant entre **0 mg/l** et **0.05** mg/l,(figure58). ce qu'il y a les points d'eaux (P6. P11. P14. P16) sont largement inférieur mais l'autre sont supérieurs à la valeur seuil établie par l'OMS (**0.003 mg/l**) (Annexe 01).

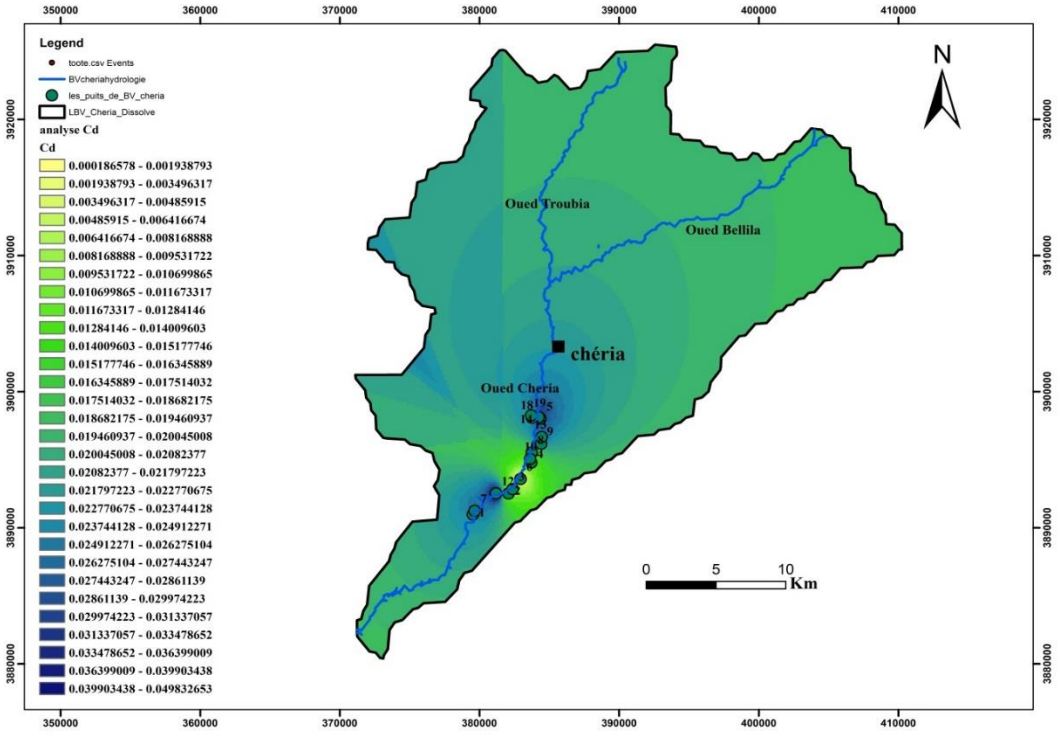


Figure 57: Carte d'évolution du Cadmium dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025)

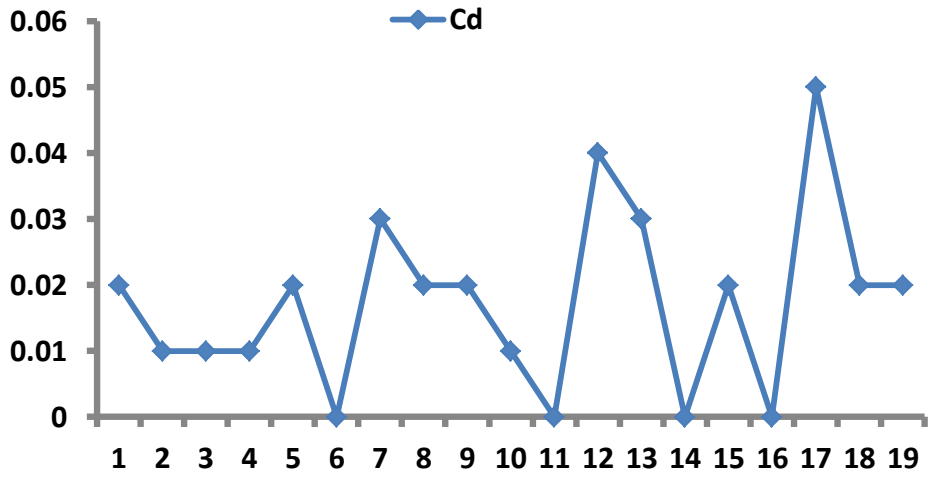


Figure 58: Graphe d'évolution du Cadmium dans la plaine de Chéria(oued chéria) (Avril 2025)

5.11.4 Le Plombe:

Le plomb (Pb^{2+}), un métal lourd toxique, n'est généralement pas présent naturellement dans les eaux. Cependant, il peut se manifester en cas de contamination due à des activités humaines, notamment urbaines ou industrielles.

Sources potentielles :

- la rouille des tuyaux en plomb anciens,
- les émissions industrielles,
- Les eaux usées
- les peintures et matériaux antérieurs contenant du plomb.

Au sein de la zone d'étude, la présence de plomb est observée à des concentrations extrêmement basses surtout dans le Sud, allant de **0** à **0.008 mg/l** (figure60) , conformément à la norme fixée par l'OMS (**0.01 mg/l**) (Annexe01).

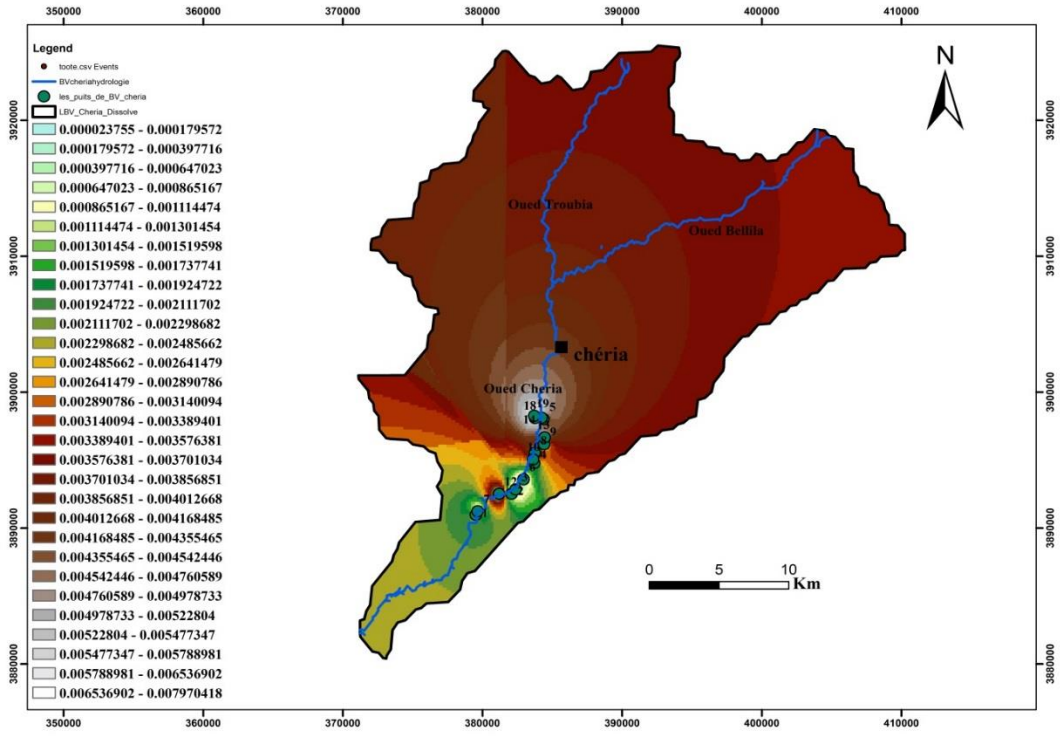


Figure 59: Carte d'évolution du Plombe dans la plaine de Chéria(oued chéria) Avril 2025

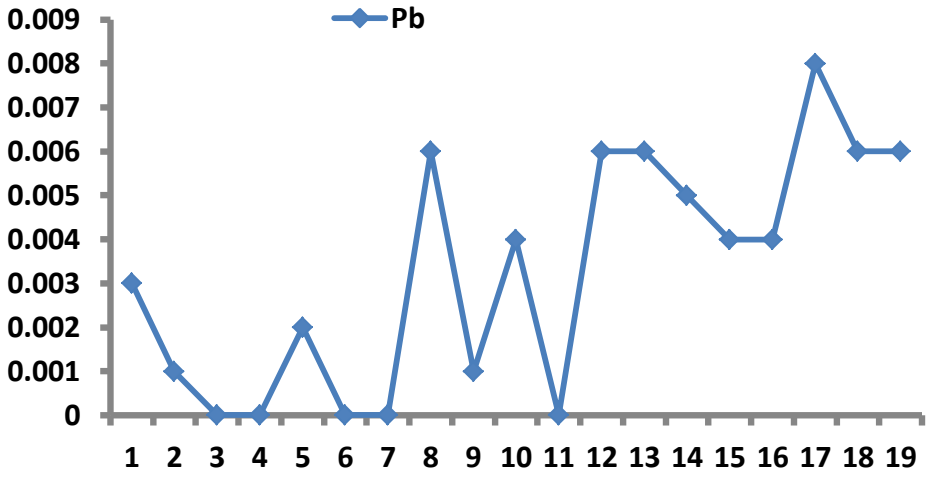


Figure 60: Carte d'évolution du Plombe dans la plaine de Chéria(oued chéria) Avril 2025

5.11.5 Le Cuivre:

Le cuivre (Cu^{2+}) est un oligo-élément naturellement présent dans les eaux en faibles quantités. Il peut toutefois augmenter en cas de contamination d'origine anthropique.

Sources possibles:

- la corrosion des tuyauteries en cuivre,
- les rejets industriels
- Les eaux usées
- les fongicides agricoles à base de cuivre.

Dans la zone d'étude, le cuivre est présent à de très faibles concentrations, variant entre **0** et **0.05 mg/l**, ce qui respecte la norme de l'OMS (**2 mg/l**)(Figure 62) (Annexe01).

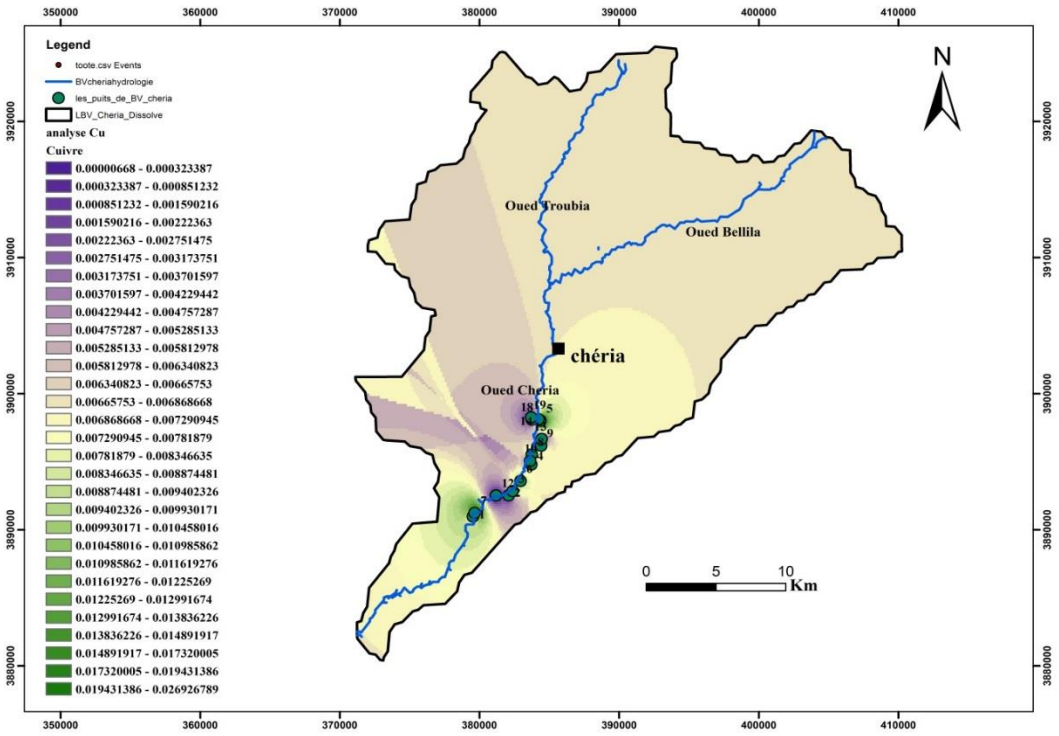


Figure 61: carte d'évolution du Cuivre dans la plaine de chéria (oued chéria) Avril 2025

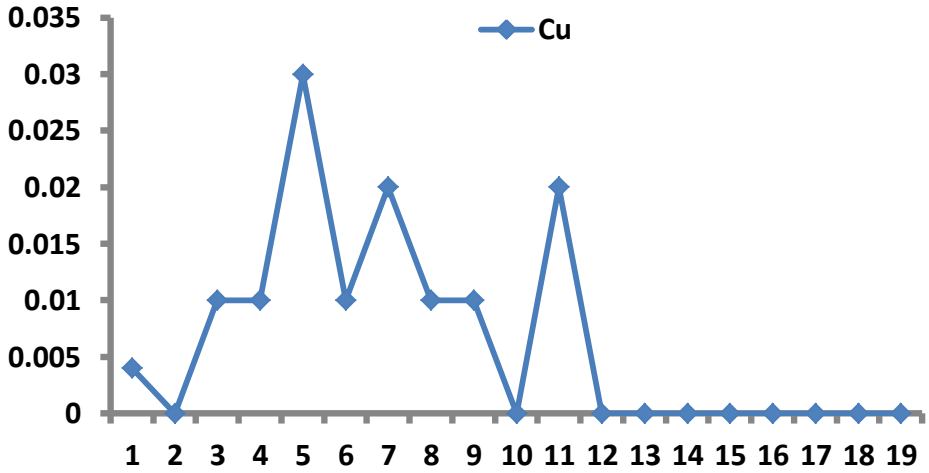


Figure 62: Graphe d'évolution du Cuivre dans la plaine de chéria (oued chéria) Avril 2025

6 Analyse statistique des éléments physico-chimiques :

6.1 Analyse en Composantes Principales (ACP):

L'approche d'analyse multidimensionnelle employée est « L'Analyse en Composantes Principales (ACP) vise à représenter un groupe de variables sous forme de combinaisons linéaires de facteurs indépendants, ces derniers expliquant une part de plus en plus réduite de la variabilité des données. » Cette technique offre la possibilité de visualiser les données initiales (individus et variables) dans un espace de dimension réduite par rapport à l'espace d'origine, tout en minimisant autant que possible la perte d'information

Cette analyse est (figure 63) réalisée a l'aide d'une version d'excel stat gratuite pour 15 jours.

L'application de cette analyse dans la zone d'étude fournissent :

Axe F1 (38,66 %) et F2 (16,47 %) : Ces deux axes principaux expliquent ensemble 55,13 % de la variance totale des données. Cela signifie que plus de la moitié des informations contenues dans les données initiales est représentée dans ce graphe .

Les Variables Na^+, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} Sont fortement corrélées à F1 (positivement).

Elles reflétent une minéralisation élevée ou la présence d'intrusions anthropiques (ex. : pollution agricole, urbaine).

Ils peuvent indiquer une contamination par des engrais ou des eaux usées.

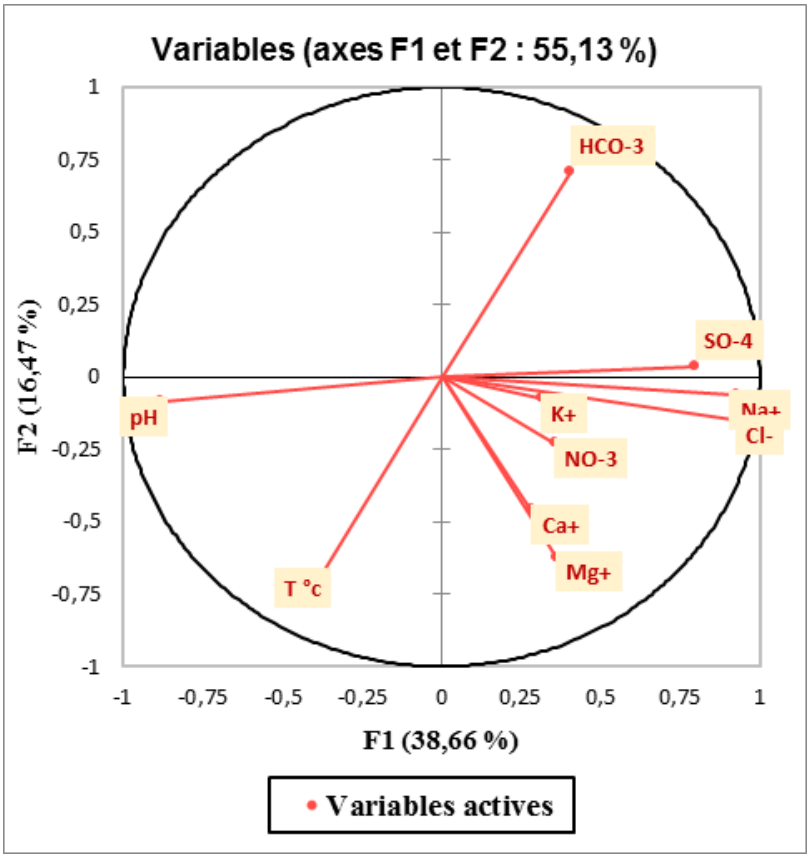


Figure 63: projection des variables sur le plan factoriel F1 et F2.

On conclusion: Na^+ et Cl^- : très proches, → meme origine, potentiellement pollution;

K^+, NO_3^- : géneralement liés aux activités agricoles → engrais;

Ca^{2+}, Mg^{2+} : typiques de l'influence des roches carbonatées (calcaire/dolomite);

SO_4^{2-} : pourrait indiquer une altération de gypse et es apports anthropiques.

a. L'espace des variables (figure.64):

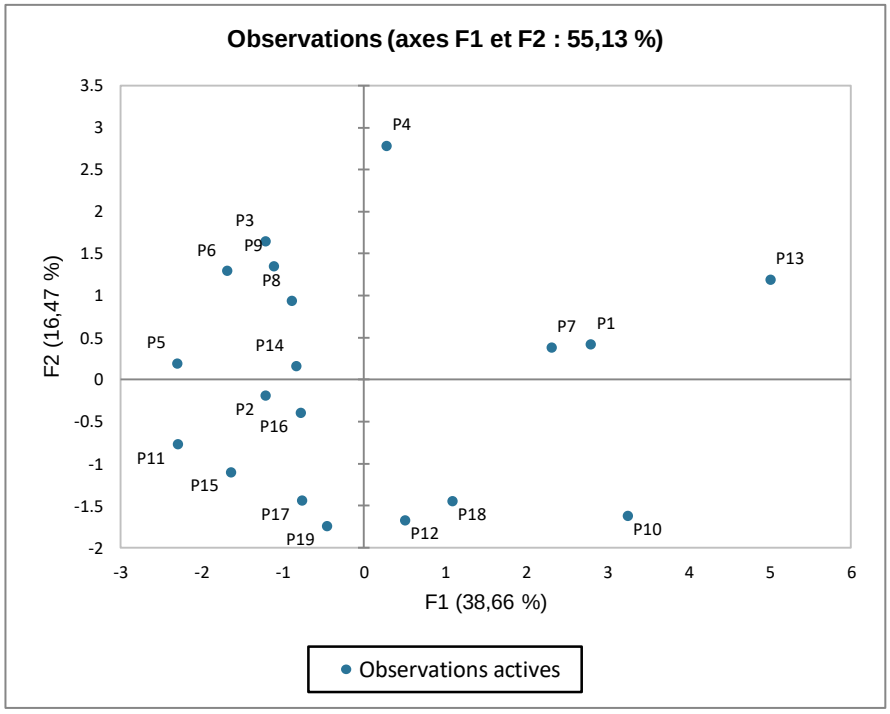


Figure 64: Représentation graphique des Individus dans la région de Chéria (Avril 2025).

Ce graphe présente les memes résultats que dans le graphique précédent (variables)

Axe F1 (38,66 %) reflète la minéralisation ou la pollution anthropique (NO_3^-, Na^+, Cl^-)

Axe F2 (16,47 %) reflète plutôt une origine naturelle (HCO_3^-, pH…).

7 Conclusion :

L'analyse hydrochimique des eaux souterraines de la zone de Chéria a démontré que les niveaux de certains composants chimiques excèdent les seuils définis par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et les standards algériens, en particulier le cadmium (Cd), le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), les sulfates (SO_4^{2-}), les chlorures (Cl^-) et les nitrates (NO_3^-). Ces excès signalent une détérioration notable de la qualité des eaux souterraines en matière de potabilité et d'utilisation agricole.

Pour déchiffrer la composition chimique des eaux, divers instruments d'analyse ont été employés, y compris les diagrammes de Piper, Schoeller Berkaloff et Wilcox. De plus, une cartographie des

polluants a été élaborée en utilisant le programme ArcGIS. Ces études ont révélé la présence de profils chimiques variés, indiquant une possible influence des contaminations provenant des eaux superficielles, en particulier les eaux résiduaires domestiques.

Ces résultats permettent de déduire une détérioration manifeste de la qualité de l'eau souterraine, posant ainsi un grave problème environnemental et sanitaire qui menace non seulement la santé des hommes et des animaux, mais aussi l'harmonie de l'écosystème local. Il est impératif de prendre des mesures préventives sans délai.

Microbiologie

1 Introduction :

Lors de l'analyse de la qualité des eaux que les résidents utilisent pour boire et irriguer dans la région de Chéria, le critère microbiologique a été considéré comme un indicateur essentiel de contamination organique. Comme l'oued reçoit directement les eaux usées non traitées de la ville de Chéria, le danger d'une contamination microbienne est fort, rendant nécessaire l'exécution d'analyses spécifiques afin d'identifier la présence de microbes nuisibles à la santé humaine et animale.

Des essais ont été effectués pour détecter des micro-organismes indicateurs tels que les Coliformes totaux et Escherichia coli, reconnus comme des indicateurs primordiaux de contamination fécale, ainsi que les entérocoques et spores anaérobies sulfito-réductrices.

2 Les Analyses Microbiologique

7.1 Matériels et Méthodes :

Des analyses microbiologiques ont été effectuées pour détecter les coliformes totaux, Escherichia coli, les entérocoques et les spores anaérobies sulfito-réductrices en recourant à la méthode de filtration sur membrane selon la norme internationale ISO 9308-1 (Première édition 1990-10-01). On a filtré une quantité d'eau de 100 ml à travers des membranes stériles ayant une porosité de 0,45 µm. Ensuite, on a placé ces filtres sur des milieux de culture spécifiques pour chaque type microbien : l'agar m-Endo pour les coliformes totaux, l'agar m-FC pour Escherichia coli, l'agar Slanetz et Bartley pour les entérocoques, et un milieu adapté tel que le Draper’s medium pour les spores anaérobies. L'incubation a été réalisée à des températures adéquates (habituellement 37°C pour les coliformes et les spores, et 44°C pour E. coli) pendant une durée variant de 24 à 48 heures. Les colonies caractéristiques ont été comptées et reconnues, avec des tests de confirmation réalisés si requis, et les résultats présentés en unités formant colonies par 100 ml (UFC/100 ml).



Figure 65: Boîtes de Pétri contenant des milieuxde filtration.

7.2 La présence des bactéries :

Les coliformes totaux servent d'indicateurs généraux de la pollution, sans établir de connexion directe avec une source fécale récente. En revanche, Escherichia coli indique une présence récente de contamination fécale. Les Entérocoques signalent une contamination fécale durable, tandis que les Spores anaérobies sulfito-réductrices témoignent d'une pollution ancienne et de longue durée.

Après les analyses microbiologiques de 6 point d'eau dans la région d'étude. On observe une présence des bactéries note dans le tableau si dessous (Tableau 15).

Tableau 15: Résultats des analyses microbiologiques

Puits et Forage	Bactéries			
	Coliformes totaux (100 ml)	Escherichia coli (100 ml)	Entérocoques (100 ml)	Spores anaérobies (sulfito-réductrices (20ml)
P1	+ + + + + + +	+ + + + + +	Absence	Absence
P2	Absence	+ +	Absence	Absence
P3	+ +	+ + + + + + +	Absence	Absence
P4	Absence	+ + + + + +	Absence	Absence
P5	+ + + + + +	+ + + +	Absence	Absence
P6	Absence	+ + + + + +	Absence	Absence

+: la presence des bactéries.

7.3 Interprétation des résultats :

Coliformes totaux (100ml) : sont existés dans les points P1. P3. P5 mais sont absent dans les points P2, P4, P6 /

Escherichia coli (100 ml) : s existent dans tous les points P1,P2,P3,P4,P5 et P6

Entérocoques (100 ml) : absent dans tous les points d'eau P1,P2,P3,P4,P5 et P6

Spores anaérobies (sulfito-réductrices) (20ml): absent dans tous les points P1,P2,P3,P4,P5 et P6.

Les origines possibles de ces deux bactéries (*Coliformes totaux* et *Escherichia coli*) qui sont présentes dans la région d'étude sont:

- Les eaux résiduaires domestiques issues de la municipalité sont directement déversées dans l'oued de Chéria, sans subir de traitement préalable.
- L'emploi abusif d'engrais organiques ou de fumiers d'animaux dans l'agriculture.
- Le forage désordonné de puits près des zones de déversement ou des habitations qui ne sont pas connectées à un système d'assainissement.
- Les décharges issues des fosses septiques ou des systèmes d'assainissement conventionnels.

La présence de ces bactéries dans les eaux dans la région d'étude signifie ces eaux ne sont pas potables

Remarque: L'absence d'Entérocoques et de Spores anaérobies sulfito-réductrices dans les échantillons étudiés suggère que la contamination microbiologique possible pourrait être récente plutôt que

chronique, ce qui indique une infiltration superficielle ou un contact momentané avec des eaux polluées.

3 Conclusion :

Les tests microbiologiques ont démontré une situation alarmante, caractérisée par la détection de Coliformes totaux et d'Escherichia coli dans différents échantillons. Ceci souligne une pollution fécale provenant de sources humaines ou animales et atteste l'impact direct des eaux usées sur les ressources en eau locales.

Cette pollution constitue une menace sérieuse pour la santé publique, particulièrement dans une région agricole où les habitants s'appuient sur les eaux souterraines pour la consommation et l'irrigation. L'absence d'entérocoques et de spores anaérobies sulfito-réductrices pourrait signaler une contamination fraîche et instable.

Ces conclusions mettent en évidence la nécessité pressante d'instaurer des actions tangibles pour optimiser le système d'épuration et gérer les eaux résiduaires avant leur rejet dans l'oued, dans le but de protéger la santé des habitants et la pérennité des ressources hydriques.

4 L'impact des éléments dont les concentrations et les bactéries dépassent la limite de l'OMS sur l'environnement :

Element	**Effets sur l'environnement (humain, animal, plante)**
Calcium (Ca^{2+})	À forte concentration, il peut durcir l'eau, réduire l'efficacité des détergents, et affecter l'absorption des nutriments chez les plantes.
Magnesium (Mg^{2+})	Peut causer des troubles digestifs chez l'humain (surtout associé aux sulfates) et affecter la croissance des plantes à fortes doses.
Sodium (Na^{+})	Concentration élevée peut causer l'hypertension chez l'humain, toxicité pour les plantes (inhibition de croissance).
Chlorure (Cl^{-})	Teneurs élevées peuvent provoquer une salinité excessive de l'eau, nuisant à la croissance des plantes et à la santé humaine (hypertension).
Sulfates (SO_4^{2-})	Concentrations élevées ont un effet laxatif sur l'humain et peuvent endommager certaines cultures.
Nitrates (NO^{3-})	Teneurs élevées peuvent provoquer la méthémoglobinémie chez les nourrissons, affecter la santé animale, et dégrader les écosystèmes aquatiques.
Cadmium (Cd^{2+})	Élément toxique même à faible dose, effet cancérigène, impacte les reins, s'accumule dans l'organisme humain et animal.
Coliformes totaux	Provoquent des infections gastro-intestinales chez l'homme, des maladies chez les animaux (comme la diarrhée) et peuvent contaminer les cultures agricoles par contact avec de l'eau irriguée polluée.
Escherichia coli	Indiquent une contamination fécale récente. Peuvent causer des maladies graves chez l'homme (infections urinaires, méningites), affecter la santé animale, et compromettre la sécurité des produits agricoles.

5 La relation entre l'hydrochimie et microbiologie

Les données obtenues à partir des analyses hydrochimiques et microbiologiques montrent un lien entre la détérioration chimique et bactérienne des eaux souterraines dans la région de Chéria. Des niveaux excessifs de certaines substances chimiques et la détection d'indicateurs bactériens contaminés indiquent une source de contamination partagée : l'infiltration des eaux résiduaires non traitées, soulignant l'importance du problème en termes de santé publique et d'impact environnemental.

Conclusion générale:

Cette recherche a démontré sans équivoque que la décharge des eaux résiduaires dans l'oued de Chéria de wilaya de Tébessa Nord-Est de l'Algérie influence significativement la qualité des eaux souterraines locales. Les tests physico-chimiques et microbiologiques ont montré des écarts notables par rapport aux standards de potabilité, notamment en ce qui concerne les niveaux de calcium, magnésium, sodium, chlorures, sulfates, nitrates, ainsi que pour quelques éléments traces tels que le cadmium. La détection de coliformes totaux et d'Escherichia coli indique une pollution fécale, principalement causée par le manque de traitement des eaux usées relâchées dans l'environnement naturel.

L'analyse géochimique a conduit à la caractérisation du faciès des eaux souterraines, dominé par les types chloruré-magnésien et chloruré-calcique, ce qui est en rapport avec le contexte géologique local basé sur le carbonate. Ces conclusions reflètent une sensibilité significative des aquifères, particulièrement dans les régions où un transfert hydraulique direct avec l'oued est envisageable. Cela suscite des inquiétudes majeures en termes de santé publique et de gestion durable des ressources hydriques. Il s'avère donc primordial d'appliquer des actions correctrices comme l'établissement de stations d'épuration, la surveillance périodique de la qualité des eaux souterraines et l'établissement de zones de protection autour des zones vulnérables.

Cette étude offre donc un fondement robuste pour l'élaboration de stratégies locales de gestion intégrée des ressources en eau. Elle pave aussi le chemin pour des recherches supplémentaires, en particulier dans le secteur de la modélisation hydrogéologique, la prédiction du déplacement des polluants, ainsi que l'estimation des effets socio-économiques associés à la détérioration de la qualité de l'eau dans les régions agricoles.

RECOMMANDATION

- Désinfection préalable de l'eau prélevée avec de l'eau de Javel avant consommation, comme mesure préventive en attendant la mise en place de solutions durables.
- Mise en place d'une station d'épuration pour les eaux usées dans la ville de Chéria.
- Amélioration du réseau d'assainissement dans les zones résidentielles afin d'éviter les fuites.
- Réalisation régulière de contrôles (chimiques, physiques, microbiologiques) sur la qualité des eaux souterraines et superficielles.
- Interdiction du forage désordonné de puits, principalement à proximité des égouts ou des maisons sans système d'assainissement.
- Sensibilisation des agriculteurs sur les dangers liés à l'utilisation excessive d'engrais organiques et de déjections animales.
- Protection des rives du fleuve contre le surpâturage et l'érosion, ainsi que régulation de l'usage des terres avoisinantes.
- Organisation de campagnes éducatives destinées aux résidents concernant les risques associés à la pollution.
- Promotion de la recherche scientifique locale afin d'élaborer des solutions sur mesure pour la région.
- Mise en place de lois sévères et décourageantes à l'encontre des pollueurs.
- Encouragement à la valorisation des eaux épurées en les utilisant pour l'irrigation ou l'industrie plutôt que de les rejeter directement.

Bibliographie

-**Baali F, (2000) :** Eude hydrogéologique hydrochimique de la région karstique de Chéria N-E-Algérien. Magister Univ Annaba Algérie 100p.

BAALI, F(2007). Contribution à l'étude hydrogéologique, hydrochimique et Vulnérabilité d'un système aquifère karstique en zone semi-aride. Cas du plateau de Chéria N. E. Algérien. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba,152p.

-**BENNHAMADI, H(2016).** Effets de la variabilité climatique sur les ressources en eau d'un aquifère karstique-Cas du Plateau de Chéria-.Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba, 139p.

-**CASTANY G. (1982) :** Principes et méthodes de l'Hydrogéologie. Dunod Edit. Paris, 334p.

-**CGG (compagne generale de géophysique 1970):** Prospection géophysique sur le plateau de Chéria. Rapport interne R.A.D.P. Paris VII 26p.

chimique. Recherche, Exploitation et Evaluation des Ressources. Ed.

-**DREVER J F. (1997):** The geochemistry of natural waters. 3rd ed. New York – Prentice-HallINC. 1997; 379 pp

-**DUROZOY, G. (1947).** Alimentation en eau de Tébessa. Rapport S.C.H. (Bur.

en eau souterraine des régions semi arides, exemple des plaines de

Et. Sc.) Clairbois, Birmandreis, Algérie, n° 77, 15 nov. 1947.

FAHDI,CH(2008), APPORT HYDROGEOCHIMIQUE ET

-**FREEZE A. R and CHERRY A. J. (1979):** Groundwater. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall 590, pp.; USA

-**HEM J. D. (1985):** Study and interpretation of the chemical characteristic of natural water. US Geological Survey. Water-Supply. Paper 2254, 263 pp ; Weinheim.

-**HILL M. (1991):** Nitrates and nitrites in food and water. Ellis Horwood, 194 pp.; New York

Isotopique Dans La Caractérisation Des Mecanismes D'aquisation De La Salinité Des Eaux Soutéraine Du Complexe Aquifère Morsott- ElOuinet (N.E. Algérien). Thèse Doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba,

-**M. VILLA 1977, Vila JM (1980)** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-tunisiens. Thèse Doc. Sc. Nat. Univ. P. et M. Curie, Paris VI, 450 p

Masson et Cie, 642 p.

-**MATTHESS G. (1990):** Die Beschaffenheit des Grundwassers. Verlag Gebrüder Borntraeger,498 S., 139 Abb., 116 Tab.; Berlin.

Recherche, exploitation et évaluation des ressources Masson et Cie. Editions, 642 pages.

-**ROCHE, M. (1962).** Hydrologie de surface. Edition Gauthier-Villars, 390 p.

-**SCHOELLER H. (1962) :** Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique.

-**SCHOELLER H. (1962) :** Les eaux souterraines. Masson, Paris, 642p.

-**SCHŒLLER, H. (1962).** Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et

Tébessa, Chéria et El Ma El Abiod, Est Algérien. Mémoire de Magister,

-**TISDALE S. L., NELSON W. L and HAVLIN J. L. (1993):** Soil fertility and fertilizers. 5th. Ed. Macmillan Publishing Company, 634p; New York

Université Colonel Hadj Lakhdar – Batna, 109 p.

-**ZEREG, Salah (2010).** Impact des retours d'eau d'irrigation sur la ressource

Annexe 01

Les Normes de potabilité

Paramètres	**Valeurs guides OMS**	**Norme Algérienne**
CE (µs/cm)	1500	2500
TDS (mg/L)	1000	1000
pH	8.5	8.5
Ca^{2+} (mg/L)	200	200
Mg^{2+} (mg/L)	50	50
Na^{+} (mg/L)	200	200
K^{+} (mg/L)	10à12	12
Cl^{-} (mg/L)	250	250
SO_4^{2-}(mg/L)	250	400
HCO_3^{-} (mg/L)	/	/
NO_3^{-} (mg/L)	50	50
NO_2^{-}	3	0.5
Fe_{Total} (mg/L)	0.3	0.3
Cd (mg/l)	0.003	0.003
Zn (mg/l)	3	3
Cu (mg/l)	2	2
Pb (mg/l)	0.01	0.01

Annexe 02

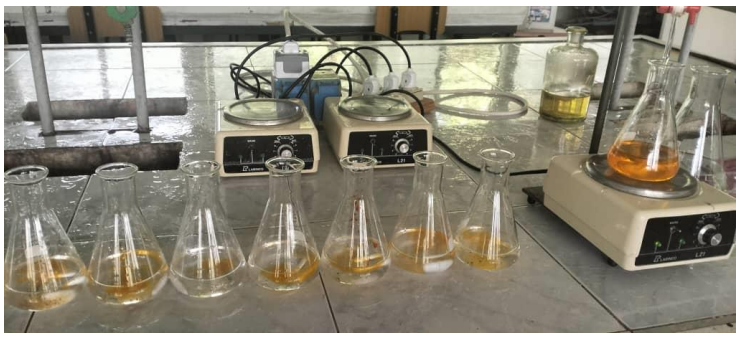
quelques photos de la partie pratique de se travail:













11:11



