



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عباس لغرور -خنشلة-

UNIVERSITE ABBES LAGHROUR –KHENCHELA-

Faculté des sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Ecologie et Environnement

Mémoire de fin d'étude

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master Académique

Spécialité: Protection des écosystème

Intitulée

Les caractéristiques physicochimiques des eaux du barrage koudiet m'daour Batne

Présenté par :

HAMI Asma

Membres de jury :

Président : ATHMANI Hamza MCA. Université de Khenchela

Encadreur : BELKOUM Nour Eddine MCA. Université de Khenchela

Examinatrice : BERKANI Chrifa MCA. Université de Khenchela

Année Universitaire: 2024/2025



REMERCIEMENTS

Ce mémoire marque la fin d'un cycle, mais aussi l'aboutissement d'un long chemin d'apprentissage, de remise en question, d'efforts constants et de rencontres précieuses. Il me tient à cœur de remercier ici celles et ceux qui ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à cette aventure.

Je tiens à adresser mes plus sincères remerciements à **Dr. Belkoum**, qui a accepté de m'accompagner dans ce travail. Merci pour votre patience, vos retours éclairés, votre exigence stimulante et votre regard bienveillant, qui ont grandement enrichi ma réflexion. Votre encadrement a été pour moi un vrai soutien dans les moments de doute.

À ma famille, je n'ai pas de mots assez forts pour vous dire merci. Papa, Maman, votre soutien indéfectible, vos encouragements discrets mais puissants, votre amour et votre foi en moi m'ont porté(e) jusqu'ici. Ce diplôme est autant le vôtre que le mien.

Je remercie du fond du cœur mes amis, ceux de toujours comme ceux rencontrés sur les bancs de l'université. Merci pour votre humour, votre motivation contagieuse, nos discussions profondes comme nos fous rires, et pour m'avoir accompagné dans les moments de stress et de doute. Vous avez rendu ce parcours plus doux, plus humain.

Enfin, une pensée spéciale pour toutes celles et ceux qui, parfois sans le savoir, m'ont inspiré, soutenu, écouté ou simplement offert un sourire au bon moment.

Merci à la vie pour ce chemin, ses leçons et ses détours.





DEDICACE

À ceux qui m'ont appris que rien n'est impossible avec de la volonté et du cœur.

À mes parents,

Merci pour votre amour sans condition, pour avoir cru en moi même dans les moments où je doutais. Votre courage, vos valeurs et votre sagesse m'accompagnent chaque jour. Ce mémoire est un hommage silencieux à tout ce que vous avez semé en moi.

À ma famille,

Pour votre chaleur, votre patience et votre soutien discret mais constant. Vous avez été ma source de motivation, même dans l'ombre.

À mes amis,

Pour votre écoute, votre présence, vos conseils, et toutes ces petites attentions qui ont fait la différence. Merci de m'avoir permis de garder l'équilibre et le sourire.

À mon encadrant

Pour vos conseils, votre rigueur, et votre confiance. Merci d'avoir guidé ce travail avec bienveillance.

Enfin, à toutes celles et ceux qui m'ont encouragé, soutenu, ou simplement cru en moi à un Moment décisif de ce parcours.



Asma

LISTE DES FIGURES

Figure 01: Situation géographique de la région de batna.....	04
Figure 02: Carte Hydrographique dans la wilaya de Batna.....	05
Figure 03: La carte géologique de la wilaya de Batna.....	07
Figure 04: Carte topo-morphologique de la wilaya de Batna.....	08
Figure 05: Localisation du Barrage de Koudiet M'douar.....	09
Figure 06: Schéma de transfert hydraulique de Beni-Haroun	10
Figure 07: Carte pédologique du barrage de Koudiet M'douar.....	11
Figure 08: Carte hydrologique du bassin versant du barrage de Koudiet M'douar.....	12
Figure 09: évacuateur de crue (déversoir).....	14
Figure 10: les forages piézométriques.....	15
Figure 11: Précipitation moyennes annuelles de station de batna (1980/2020).....	16
Figure 12: Variation des précipitations moyennes mensuelles de la station de batna (1980/2020).....	19
Figure 13: Variation du coefficient pluviométrique avec la precipitation annuelle.....	20
Figure 14: Température mensuelle pour la station de Batna	21
Figure 15: Evolution de température (moyenne annuelles, moyenne maximales annuelles, moyenne minimales annuelles) pour la station de batna.....	22
Figure 16: Diagramme ombrothermique de la station de batna.....	22
Figure 17: Climagramme D'EMBERGER de la station de batna.....	23
Figure 18: Les échantillons dans des flacons en plastique.....	29
Figure 19: Répartition des températures (°C) des eaux de la zone d'étude.....	31
Figure 20: Répartition des Ph des eaux de la zone d'étude.....	32
Figure 21: Répartition des conductivités (c25°C).....	32
Figure 22: Répartition des concentrations de Ca (mg/l).....	33
Figure 23: Répartition des concentration de Mg (mg/l).....	34
Figure 24: Répartition des concentrations de Na (mg/l).....	34
Figure 25: Répartition des concentrations de K (mg/l).....	35
Figure 26: Répartition des concentrations de Hco ₃ (mg/l).....	36
Figure 27: Répartition des concentrations de Cl (mg/l).....	37
Figure 28: Répartition des concentrations de So ₄ (mg/l).....	37
Figure 29: Représentation des eaux sur le diagramme de Piper.....	39

Figure 30: Représentation des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	40
Figure 31: Représentation des eaux de Barrage sur le diagramme de Stabler.....	41
Figure 32: Représentation des eaux de Barrage sur le diagramme de Wilcox.....	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01: Caractéristiques de station pluviométrique de Batna	16
Tableau 02: l'année la plus pluvieuse et sèche de la station de Batna.....	17
Tableau 03: Régime pluviométriques du monde.....	18
Tableau 04: Précipitation moyennes mensuelle de la station de Batna.....	19
Tableau 05: précipitation moyenne saisonnière	19
Tableau 06: Répartition moyenne mensuelle de température a la station de Batna	21
Tableau 07: Donnée du diagramme ombrothermique de Gaussen de station de batna.....	22
Tableau 08: Données du climagramme DEMBERGER de batna	23
Tableau 09: Bilan hydrique de la région de Batna.....	26
Tableau 10: Résultats des analyses physico-chimiques des eaux échantillonnés.....	30
Tableau 11: Classification des eaux à l'irrigation selon Wilcox.....	41

LISTE DES ABREVIATIONS

A.S.A : Agence Spatiale Algérienne

A.B.H : Agence de Bassin Hydrographique.

CE : Conductivité électrique.

DCO : Demande chimique en oxygène. **DBO** : Demande biochimique en oxygène.

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours. **MES** : Matière en suspension.

NH₄⁺ : L'azote ammoniacal.

NO₃⁻ : Nitrates.

NO₂⁻ : Nitrites.

O₂: Oxygène

T °C : Température.

Max: Maximum.

Min: Minimum.

Mm: Méli mètre.

P: Précipitation.

Résumé

L'eau est une ressource limitée et fragile, essentielle à la vie, au développement, à l'environnement et à toutes les activités humaines. Par conséquent, l'objectif principal de notre étude était de surveiller les changements dans la qualité physique et chimique de l'eau dans le barrage de Koudiet M'douar.

Les résultats ont conclu que la température est saisonnière et que le pH est neutre. La conductivité électrique reflète une forte proportion de minéraux. Les niveaux d'oxygène dissous diminuent avec l'augmentation de la température, et la demande biologique biochimique (DBO5) indique une bonne qualité de l'eau. Les niveaux de DCO, d'azote ammoniacal, de nitrite et de nitrate, ainsi que les faibles niveaux de phosphate, indiquent une bonne qualité de l'eau. Enfin, notre étude a révélé que la qualité de l'eau du barrage de Koudit M'douar est bonne et acceptable sur le plan physique et chimique, avec un niveau de pollution très faible.

Mots clés: Barrage, Koudit M'douar, physico-chimique, qualité, eau

Abstract

Water is a limited and fragile resource, essential to life, development, the environment and all human activities. Consequently, the main objective of our study was to monitor changes in the physical and chemical quality of water in the Koudiet M'douar dam.

The results concluded that temperature is seasonal and pH neutral. Electrical conductivity reflects a high proportion of minerals. Dissolved oxygen levels decrease with increasing temperature, and biochemical biological demand (BOD5) indicates good water quality. COD, ammonia nitrogen, nitrite and nitrate levels, as well as low phosphate levels, indicate good water quality. Finally, our study revealed that the water quality of the Koudit M'douar dam is good and acceptable both physically and chemically, with a very low level of pollution.

Key words: Dam, Koudit M'douar, physico-chemical, quality, water

الملخص

الماء مورد محدود وهش وضروري للحياة والتنمية والبيئة وجميع الأنشطة البشرية. لذلك، كان الهدف الرئيسي من دراستنا هو رصد التغيرات في الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه في سد كوديت مدور

خلصت النتائج إلى أن درجة الحرارة موسمية ودرجة الحموضة متعادلة. تعكس الموصلية الكهربائية نسبة عالية من المعادن. تنخفض مستويات الأكسجين المذاب مع زيادة درجة الحرارة، ويشير الطلب البيولوجي الكيميائي الحيوي الكيميائي (BOD5) إلى جودة المياه الجيدة. وتشير مستويات ثاني أكسيد الكربون COD ، ونيتروجين الأمونيا، والنتريت والنترات، وكذلك انخفاض مستويات الفوسفات، إلى جودة المياه الجيدة. أخيراً، كشفت دراستنا أن نوعية مياه سد كوديت مدور جيدة ومقبولة فيزيائياً وكيميائياً، مع مستوى منخفض جداً من التلوث

الكلمات المفتاحية: السد، سد كوديت مدور، فيزيائياً وكيميائياً، جودة المياه

TABLE DES MATIÈRES

Remerciement

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumé

Introduction générale.....Error! Bookmark not defined.

Chapitre 01 : présentation et contexte géologique

Introduction :	3
1. Présentation de la zone d'étude	3
1.1. Localisation géographique	3
1.2. Hydrographie et géologique	4
1.3. Pédologie	7
1.4. Présentation générale du Barrage Koudiet M'douar	9
1.4.1. Géographie et historique	9
1.4.2. La Géologie et pédologie	11
1.4.3. Hydrologie	12
1.5. Caractéristique technique du barrage de koudiet m'douar	13
1.5.1. Description	13
1.5.2. Détails	13
1.5.3. Evacuateur de crue	13
1.5.4. Galerie de dérivation	13
1.5.5. Infrastructures	14

1.5.6. Galerie de dérivation	14
1.5.7. Le contrôle technique	14
Conclusion.....	15

Chapitre 02 : Impact et changement climatique

Introduction	16
2. Etude climatique	16
2.1. Précipitation	16
2.1.1. Précipitations moyennes annuelles:	16
2.1.2 R é g i m e pluviométriques de la région de Batna.....	Error! Bookmark not defined.
2.1.3. Précipitation moyennes mensuelles:.....	18
2.1.4 .Précipitation moyenne saisonnière:	Error! Bookmark not defined.
2.2. Coefficient pluviométrique(H).....	Error! Bookmark not defined.
2.3. La température.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.1. Température moyenne mensuelle :	Error! Bookmark not defined.
2.3.2. Température moyenne annuelle :	Error! Bookmark not defined.
2.4. Diagramme ombro-thermique de GAUSSEN:	22
2.4. Détermination du type du climat :	Error! Bookmark not defined.
2.4.1 Climagramme DEMBERRGER :.....	Error! Bookmark not defined.
2.5. Bilan hydrique	24
2.5.1. Estimation de l'évapotranspiration	24
2.5.2. Évapotranspiration potentielle (ETP)	24
2.5.3. L'évapotranspiration réelle (ETR).....	24
2.6. Le bilan hydrologique selon Thornthwaite	25
2.7. Interprétation des résultats du bilan hydrique :	27
Conclusion.....	Error! Bookmark not defined.

Chapitre 03: Hydrochimie des eaux

Introduction	Error! Bookmark not defined.
--------------------	------------------------------

3. Méthodes et stratégie de travail :	28
3.1. Échantillonnage :	28
3.2. Analyse physico-chimique :	28
3.2.1. Mesures in situ :	28
3.2.2. Analyse des éléments chimiques :	28
3.2.2.1. Les bicarbonates (HCO₃).....	28
3.2.2.2. La dureté totale TH (Ca²⁺ + Mg²⁺) La mesure a été effectuée par volumétrie complexométrie.	Error! Bookmark not defined.
3.2.2.3. Le sodium (Na⁺) et le potassium (K⁺) :.....	29
3.2.2.4. Les chlorures (Cl⁻) : ont été déterminés par colorimétrie.....	29
3.2.2.5. Sulfates (SO₄⁻) : ont été déterminés par spectrométrie.	29
3.4. Variation spatiale des paramètres physico- chimiques Error! Bookmark not defined.	
3.4.1. Paramètres physiques	Error! Bookmark not defined.
3.4.1.1. La Température	Error! Bookmark not defined.
3.4.1.2. Le potentiel hydrogène (Ph)	Error! Bookmark not defined.
3.4.1.3. Conductivité électrique	Error! Bookmark not defined.
3.4.2. Evaluation spatiale des éléments chimiques majeurs	Error! Bookmark not defined.
3.4.2.1. Le calcium (Ca⁺⁺)	Error! Bookmark not defined.
3.4.2.2. Le Magnésium (Mg⁺⁺)	Error! Bookmark not defined.
3.4.2.3. Le Sodium Na⁺ et le potassium K⁺	Error! Bookmark not defined.
3.4.2.4. Bicarbonates (HCO₃⁻).....	Error! Bookmark not defined.
3.4.2.5. Les chlorures (Cl⁻)	Error! Bookmark not defined.
3.4.2.6. Les sulfates (SO₄⁻²)	Error! Bookmark not defined.
3.4.3. Le faciès chimique des eaux échantillonnées	Error! Bookmark not defined.
3.4.3.1. Diagramme de Piper	Error! Bookmark not defined.
3.4.3.2. Diagramme de Schoëller et Berkalov	Error! Bookmark not defined.
3.4.3.3. Diagramme de Stabler.....	38

3.5. Qualité des eaux pour l'irrigation selon Wilcox.....	39
Conclusion.....	Error! Bookmark not defined.
Conclusion générale.....	43
<i>Références bibliographiques</i>	44

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

Introduction générale

L'eau est l'élément fondamental du soutien de la vie humaine et de l'existence de la Biosphère. Elle est à l'origine du maintien de la croissance des populations humaines et de la Survie des organismes vivants. L'eau représente un pourcentage très important dans la constitution de tous les êtres vivants, la molécule d'eau est l'association d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène sous le symbole H₂O. Il est la seule molécule à être présente sous trois états sur la terre : solide, liquide et gazeuse. L'eau occupe 72 % de la surface du globe terrestre (environ 509 millions km²), le volume total d'eau que porte la Terre est de 1,4 milliard de km³ ou 1,4 billion de m³ (1,4×10¹² m³), ce volume d'eau reste stable à travers les âges. Environ 97,4 % des eaux de surface sont des eaux marines et des eaux océan (des eaux salées), le 2,6 % restant constituent l'eau douce (représentées par les rivières, les lacs, les étangs, les glaces polaires), l'eau douce renouvelable se retrouve également dans les rivières (0,006 % de l'eau douce), sous forme d'humidité dans les sols (0,047 %), et dans l'atmosphère (0,04 %) sous forme de vapeur d'eau et de pluie. Une partie de l'eau douce n'est pas renouvelable. La partie renouvelable est définie par le cycle d'eau. L'utilisation de l'eau peut avoir un impact social ou économique (comme la boisson, l'hygiène et la cuisine). La majorité des utilisations de l'eau nécessitent une eau de haute qualité.

Pour répondre à ses besoins en eau domestique, industrielle et agricole, l'Algérie a construit de vastes barrages sur les minerais, qui constituent ses principales sources hydriques.

La pollution des eaux est l'un des problèmes qui touchent l'humanité entière. Elle résulte des activités humaines, de la multiplication et de la capacité d'expansion des industries à long terme, ainsi que de l'expansion rapide de zones en Europe présentant des usages, des températures ou des conditions grippales différents.

De nombreux paramètres permettent de quantifier des éléments physiques ou chimiques (température, pH, CE, dissipation d'oxygène, DCO, DBO₅, MES...) et d'autres indicateurs de charge polluante.

Le barrage de Koudiet M'douar est l'un des barrages les plus importants dans la wilaya de Batna qui fait parti du système du complexe de Béni-Haroun et il est destiné à l'alimentation en eau potable, eau industrielle et l'irrigation.

Le barrage de Koudiat M'Daouer, sur l'Oued Reboa, tire son nom de la colline de grès qui constitue l'appui droit. Aux coordonnées Lambert (847 300 E et 255 140 N) et à l'altitude 956 m.

Introduction générale

Dans quelle mesure les caractéristiques physicochimiques des eaux du barrage koudiet m'daour permettent-elles d'évaluer sa qualité et sa capacité à répondre aux besoins environnementaux et humains de la région de batna ?

Nous supposons que Les paramètres physicochimiques de l'eau du barrage koudiet m'daour révèlent une qualité d'eau globalement acceptable, mais sujette à des variations saisonnières et à des apports anthropiques pouvant altérer sa potabilité et son équilibre écologique.

L'objectif principal de notre étude était donc de suivre l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux du barrage de Koudiet M'douar. Dans ce travail, nous allons étudier la variation des concentrations des éléments chimiques caractérisant la salinité afin de comprendre la qualité des eaux dans cette région. Pour cela, nous avons adopté la méthodologie suivante :

- **La première partie :**

est une la présentation de la zone d'étud wilaya de batna et le barrage de kodiet m'douar.

- **La deuxième partie :**

est une étude climatique sur un ensemble des données climatique de la station météorologique de Batna sur une période de 40 ans.

- **La troisième partie :**

Il s'agit de caractériser l'évolution de la qualité physique et chimique du barrage de Koudit Medour à travers l'analyse statistique des données enregistrées.

Le travail est achevé par une conclusion générale qui récapitule les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE 01 :
PRESENTATION ET
CONTEXTE GEOLOGIQUE

Chapitre 01 : présentation et contexte géologique**Introduction :**

Ce chapitre présente le cadre géographique et géologique de la zone d'étude. Cette présentation constitue un préalable indispensable à toute étude de l'eau souterraine à une échelle régionale. Elle permet de dresser un bilan des connaissances générales sur le barrage à partir d'une revue bibliographique. Après avoir défini les limites géographiques de l'étude et le cadre naturel, quelques rappels sur l'histoire géologique des Aurès sont nécessaires, comme décrits dans la littérature par de nombreux auteurs (**Laffite, 1939; Guiraud, 1973; Vila, 1977; Houha, 2007**).

1. Présentation de la zone d'étude**1.1. Localisation géographique**

La wilaya de Batna, capitale des Aurès, est située dans l'Est algérien, à 430 kilomètres de la ville d'Alger. Géographiquement, la wilaya de Batna est située dans la région orientale du pays, entre 4° et 7° de longitude et 35° et 36° de latitude nord. Elle a une superficie totale de 12.038.76 km² (Mokhtari, 2018). Le territoire de la wilaya de Batna est presque entièrement à l'intérieur de l'aire physique formée par la confluence de deux Atlas tellien et saharien (Abdessemed, 2009) ; c'est la caractéristique physique majeure de la wilaya qui détermine les caractéristiques du climat et des conditions de vie humaine.

Les limites administratives de Batna sont les suivantes (**figure 1**):

- au Nord par la wilaya de Mila,
- au Nord- Est par la wilaya d'Oum El Bouaghi,
- à l'Est par la wilaya de Khenchela,
- au Sud par la wilaya de Biskra,
- à l'Ouest par la wilaya de M'sila
- au Nord-Ouest par la wilaya de Sétif.

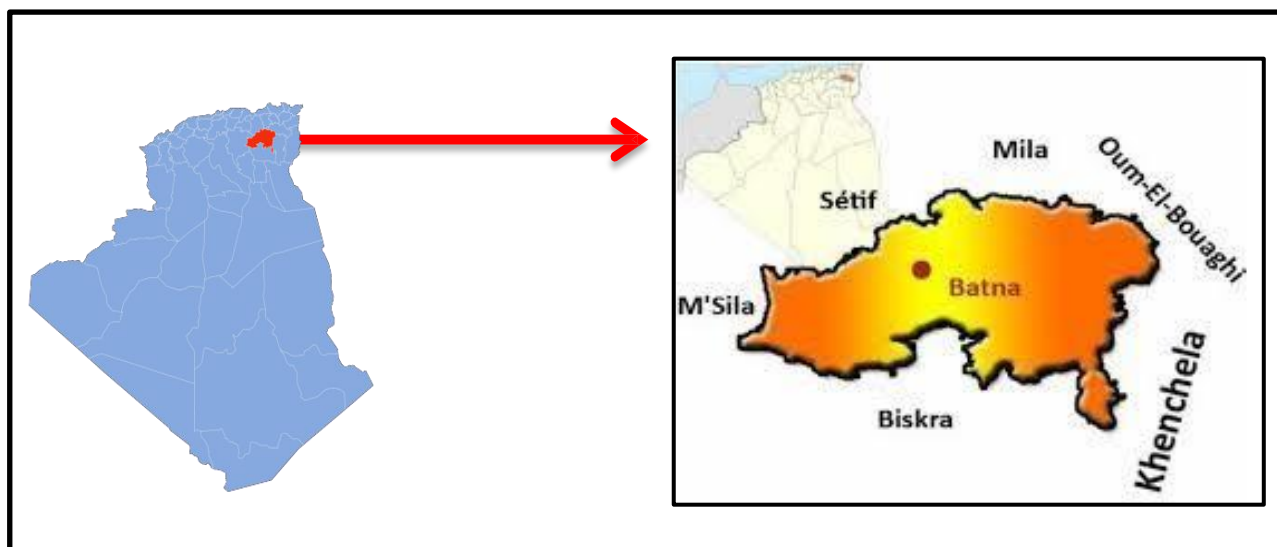


Figure 01 : Situation géographique de la région de batna (Source : Agri info).

1.2. Hydrographie et géologique

A. Hydrographie

Selon l'ANRH12 (Agence Nationale des Ressources Hydriques), toute la wilaya de Batna est divisée en trois grands bassins versants:

Le Bassin du Constantinois situé au Nord et Nord-est et qu'est caractérisé par la présence d'une série de Sebkhass, Garâats et Chotts qui marquent toute une série de cuvettes au passage vers les hauts plateaux Constantinois.

Le Bassin versant du Hodna situé à l'Ouest et caractérisé par la présence du Chott El Hodna, point d'arrivée de certains Oueds qui se dirigent vers le Sud-ouest, en particulier l'Oued de Barika et celui de Bitam.

Le Bassin des Aurès-Nememcha qui occupe la partie Sud et Sud-est de la wilaya et dont les cours d'eau ont leur exutoire dans le Chott Melhir en dehors des limites de la wilaya.

Couvrant de vastes zones de la wilaya, le Crétacé est la formation géologique la plus répandue, subdivisée en trois étages :

Crétacé inférieur : Présent dans le Djebel Lazreg, Djebel Metlili, les Monts de Belezma et de Djebel Bouarif, il est composé de calcaires, de calcaires dolomitiques, de marnes et d'argiles. Les affleurements sont généralement épais avec une perméabilité élevée à moyenne.

Crétacé moyen : S'étendant sur des zones telles que le Djebel Belezma, Metlili et Ich Ali, il est caractérisé par des niveaux à prédominance calcaire avec des intercalations marneuses. La perméabilité est généralement bonne, surtout par fissuration, sauf dans certaines zones où la fraction marneuse prédomine.

Crétacé supérieur : Divisé en deux formations :

Formation inférieure : Localisée au sud et à l'est de Ain Touta, composée de couches d'argile et de marnes feuilletées avec une perméabilité nulle.

Formation supérieure : Affleure dans les Aurès, notamment aux Djebels Mahmel, Zellatou et Ahmar Khadou, avec une transition progressive d'un faciès carbonaté à un faciès marneux du nord vers le sud. La perméabilité varie de bonne à excellente dans les formations carbonatées.

4. Eo-Oligocène

Présent dans le massif des Aurès, notamment à Bouzina et Ghassira, il est représenté par des formations de marnes et de calcaires intercalés, avec une variation de faciès du marin au continental. L'épaisseur est faible et la perméabilité moyennement basse.

5. Miocène

Localisé dans des zones telles que Timgad, le Nord-Ouest des Monts de Belezma et les Monts du Hodna, le Miocène est caractérisé par une série prédominante argileuse avec des intercalations de bancs de calcaire. Ces formations sont généralement considérées comme imperméables.

6. Plio-Quaternaire

Essentiellement localisé dans les bassins et cuvettes, notamment celles de Timgad, Hodna et les Chotts au nord-est de la wilaya. Les formations plio-quaternaires sont très variables en épaisseur et en perméabilité, allant de moyenne à nulle, avec une nappe généralement alimentée latéralement par filtration à partir des reliefs environnants.

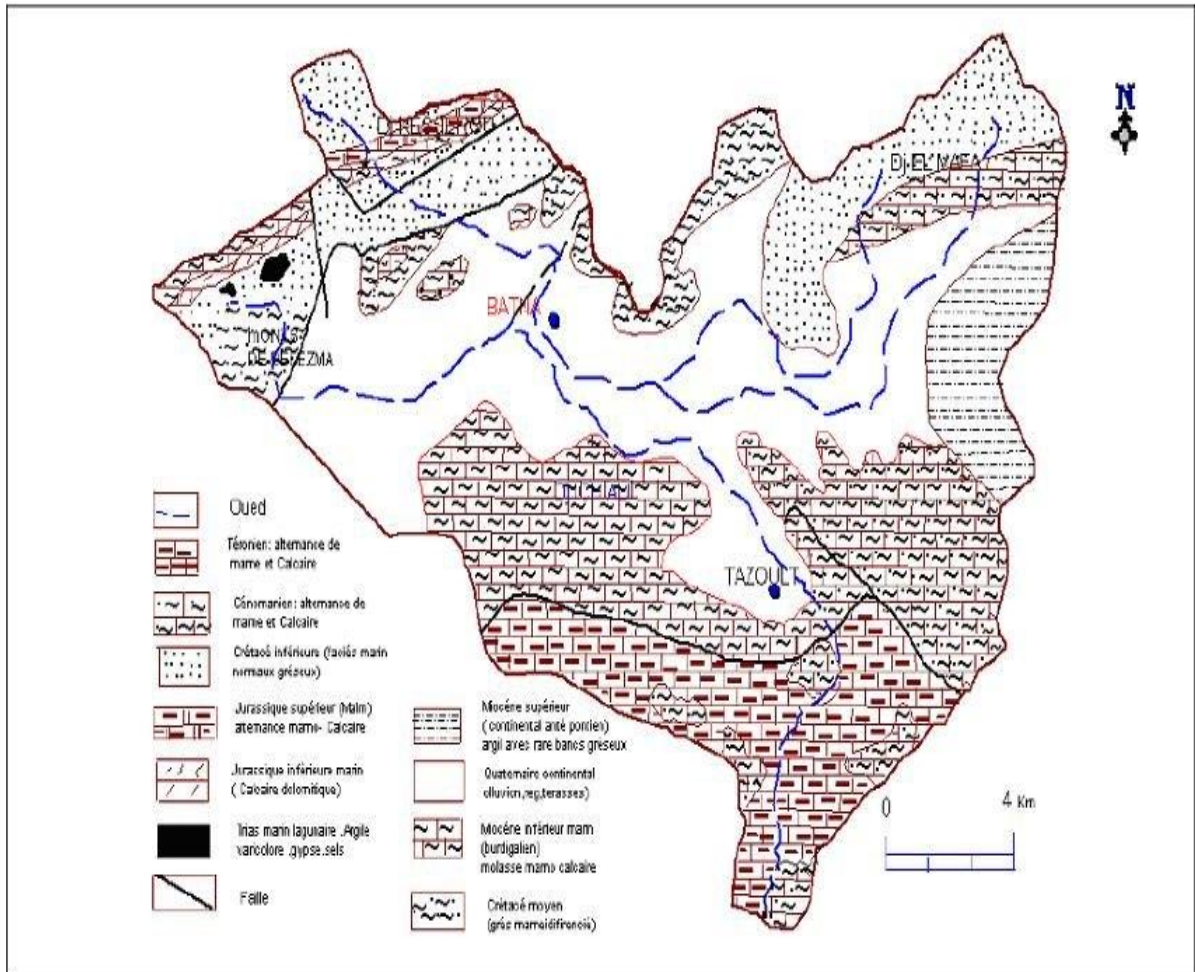


Figure 03 : la carte géologique de la zone centrale de Batna (Belkhiri,2006)

1.3. Pédologie

La région de Batna est principalement composée de hauts plateaux de la chaîne des Aurès et d'un morceau de la cuvette du Hodna. La forme générale est montagneuse et traverse les régions orientales ou occidentales de la région. Considérez la présence d'une zone de plateau au nord, ainsi que la présence de chaînes de montagnes (Hannachi, 2010).

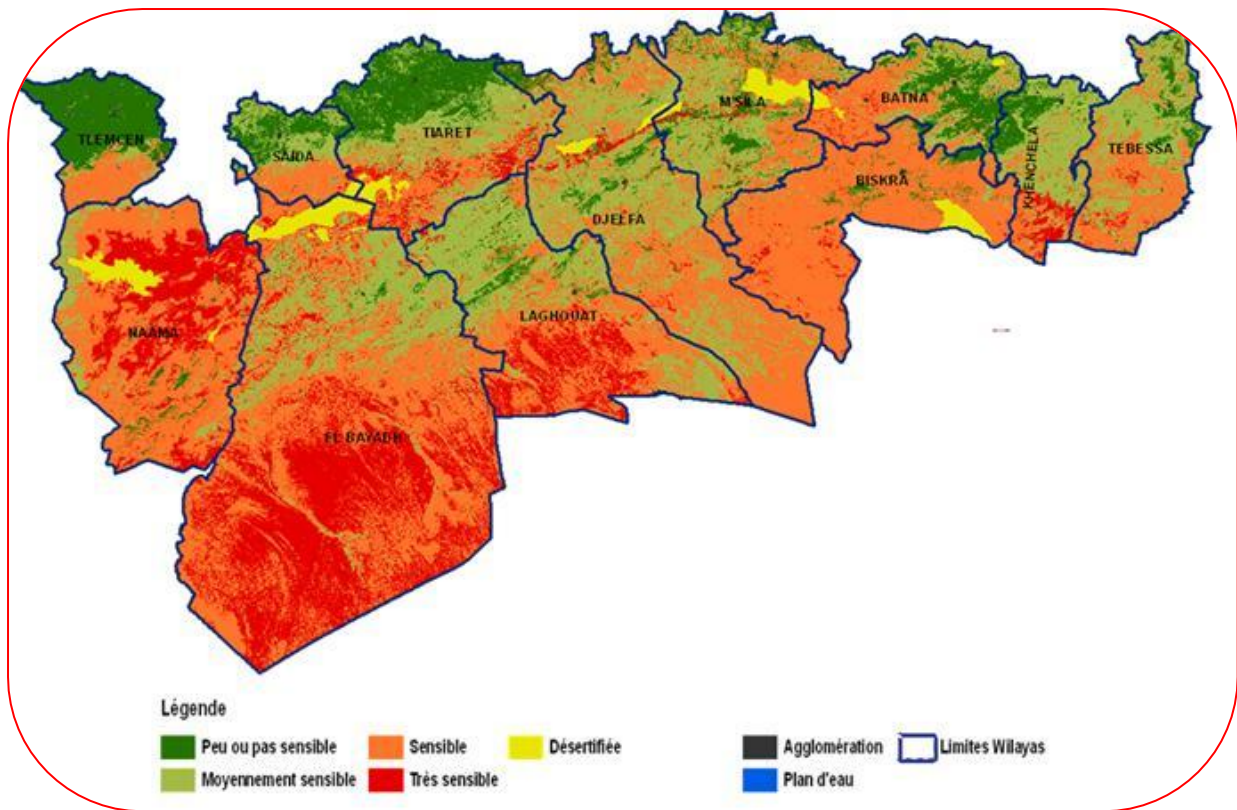


Figure 04 : Carte pédologique de la wilaya de Batna. (A.S.A)

1.4. Présentation générale du Barrage Koudiet M'douar

1.4.1. Géographie et historique

Le barrage de Koudiet M'douar est situé à 35 km de Batna et à 7 km au nord-est du site historique de Timgad (ruines romaines). Les coordonnées Lambert 06°24'E et 35°31'N marquent le point du barrage où la côte de la vallée se trouve à environ 988 m au-dessus du niveau de la mer. Il fait partie de la dérivation principale du barrage de Beni Haroun (figure 1). Le réservoir a une capacité totale de 69,10 millions de m³ et est utilisé pour répondre à une demande estimée à 38 millions de m³ en 2000. Il a pour objectif d'alimenter la province de Batna en eau potable et industrielle et d'irriguer 15 700 hectares de terres agricoles dans les plaines de Batna et de Chamoura (**Agence nationale des ressources en eau, 2003**).

Une fois la dérivation de Beni Haroun réalisée, le volume annuel régulé passera de 15 millions de m³ à 191 millions de m³, ce qui permettra d'alimenter les villes de Tazoult, Arris, Khenchela et Kaïs en eau potable et industrielle (**Agence Nationale de Distribution d'Eau et d'Assainissement, 2003**).

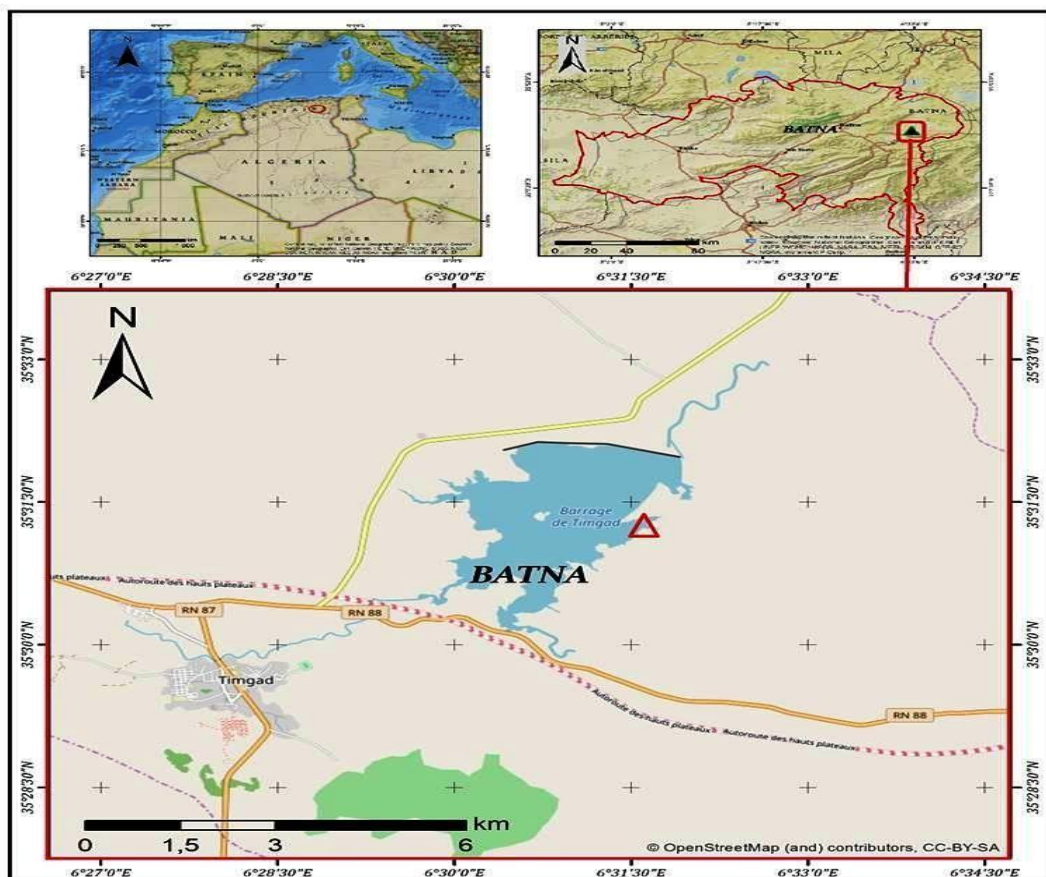


Figure 05: Localisation du Barrage de Koudiet M'douar (Timgad, Batna).

Le barrage est encadré par le grand bassin versant suivant :

- Au nord : Kabîr Rhumel et Seybouse;
- A l'est : Medjerdah;
- Au sud : Chot Hadna et Chot Melghir;
- A l'ouest : Soummam.

Le sous bassin du barrage est

limité par:

- Au nord : Chemora et Madher
- A l'est : Toufana
- Au sud : Tazoult et Batna
- A l'ouest : Arris et Chemora

Figure 06: Schéma de transfert hydraulique de Beni-Haroun .



Le pompage d'eau brute du barrage de Beni Haroun par l'intermédiaire de la station de Ain Kercha (W. d'Oum El Bouaghi) dans la direction du Sud-Ouest sur une distance de 49,4 km à destination du barrage de Koudiet M'douar (capacité : 82 hm³).

Ce dernier (barrage-tampon) fournira un volume utile de 62,5 hm³ entre les cotes 975 et 992,5 m. Il est en cours d'exploitation et reçoit un apport propre (bassin de l'oued Reboa) estimé en moyenne interannuelle à 18 hm³ par an.

Le système de distribution projeté prendra naissance à partir des 2 stations de pompage (cotes: 954 m et 1.078 m) disposées en série au pied de la station de traitement de Koudiet M'douar.

Cette dernière comportera 4 lignes de traitement pour la production de 119.000 m³ par jour (plus de 43 hm³ par an) en première phase, et de 178.000 m³ par jour (65 hm³ par an) en phase finale. Le pompage de l'eau traitée s'effectuera vers un réservoir de mise en charge ensuite vers le *couloir 1* composé des villes de Batna, Tazoult, Ain Touta et Barika..

Quatre autres stations de pompage seront disposées en série (cotes 954, 970, 1039,77 et 1120 m) pour assurer le refoulement de l'eau traitée vers le *couloir 2* comportant les centres urbains de Khenchela, Kais, El Mahmel et Ouled Rechache.

Toujours à partir de la station de traitement de Koudiat Medaour, le *couloir 3* (adduction de 36 km et 5 stations de pompage) est en cours d'étude en vue d'alimenter la ville d'Arris, au cœur du massif de l'Aurès.

Il est également envisagé de fournir à partir de la retenue de Koudiat Medaour, l'eau d'irrigation nécessaire au périmètre en projet de Batna-Ain Touta (6.000ha). Ce réservoir assurera probablement un complément d'eau au périmètre d'irrigation de Chemora.

1.4.2. La Géologie et pédologie

La zone du barrage présente un substratum de la digue principale formé de grés argilites et des argilites gréseuses. La digue du col est constituée de limons argileux, argiles limoneuses et d'argiles. La présence du gypse est très importante et se trouve sous forme de plaquettes allant de 1mm d'épaisseur formant un réseau polygonal, l'analyse granulométrique montre que c'est un sol fin avec les proportions suivantes : Sable : 2 à 27%, Limon : 39 à 57%, Argile : 28 à 51%. C'est donc une argile limoneuse peu sableuse. Le site du barrage et sa cuvette se situent dans des terrains d'origine marine datés du miocène inférieur ; avec formation gypsifère terminale du miocène supérieur (Fig.08) (Houadef et Salem., 2007).

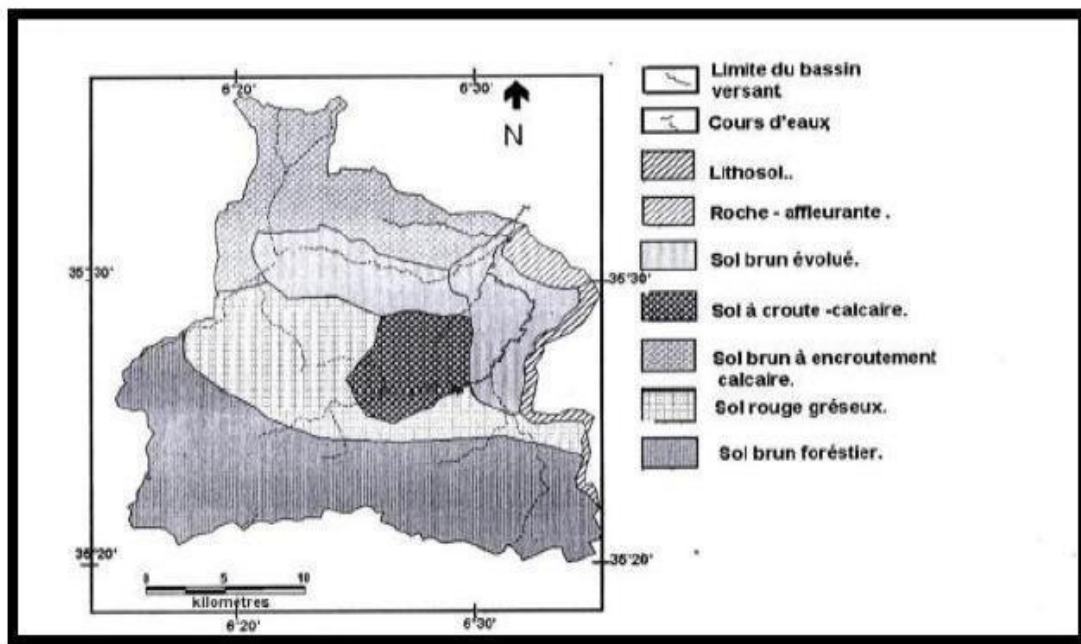


Figure 07: Carte pédologique du barrage de Koudiat M'douar.

1.4.3. Hydrologie

Le barrage de Koudiet M'douar fait partie du bassin versant de l'Oued de Chemora. Ce dernier jusqu'à la section du barrage, a une surface de 590 km². Cet Oued se bifurque en deux Oueds principaux : l'Oued Soultez et l'Oued Reboa, ce dernier draine toute la partie Sud du bassin. Il est de 1,6 fois plus grand que l'Oued Soultez qui coule de l'Ouest vers l'Est jusqu' Ils sont constitués par les monts de Ras_Er_Rih (1916 m), El Mahmel dont l'altitude s'élève jusqu'à 2231m, plus à l'Est on rencontre les massifs de Djebels Aoures (1521 m), Djebel Aidel (2173 m) et Djebel Feraoun (2093 m).

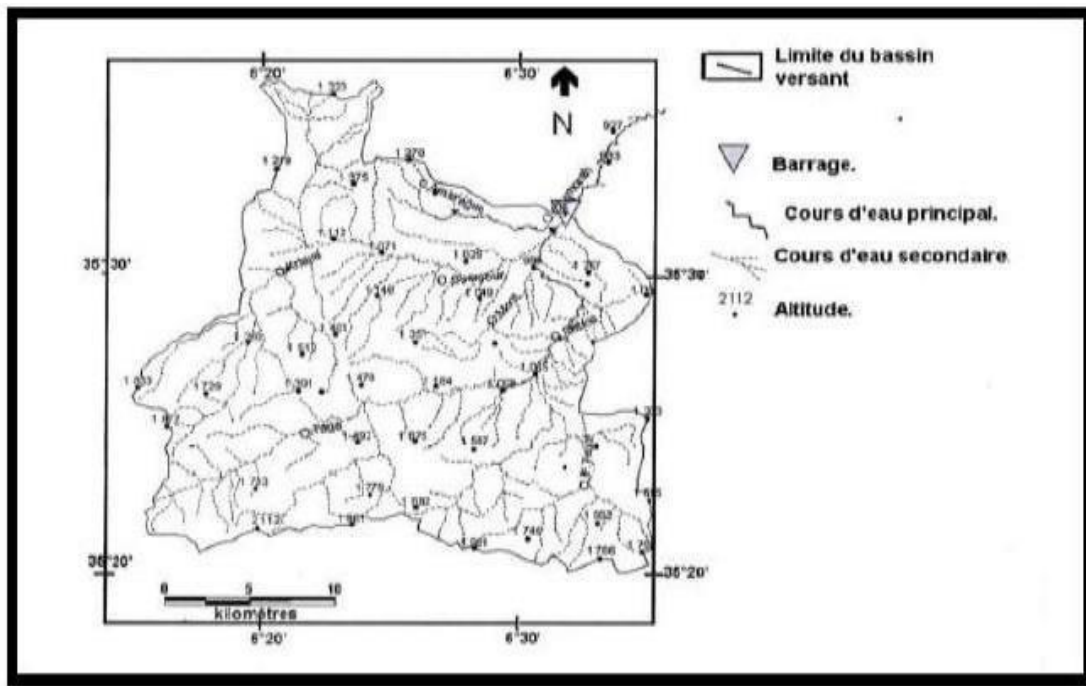


Figure 08: Carte hydrologique du bassin versant du barrage de Koudiet M'douar
(Anonyme, 2006 in Houadef et Salem, 2007)

1.5. Caractéristique technique du barrage de koudiet m'douar**1.5.1. Description**

Barrage en terre et enrochement, les talus amont et aval sont protégés par la roche (rip-rap) avec une digue principale d'une longueur de 1280 m et une digue de col (secondaire) d'une longueur de 990 m.

1.5.2. Détails

- Digue principale : longueur 1280 m, hauteur 48 m
- Digue de col : 990m, hauteur 26 m
- Cote de la retenue normale : 992.50m (NNR)
- Capacité de la retenue normale : 70 Mm³
- Cote max : 996.65 (NPHE)
- Superficie du bassin versant : 731.32 km²
- Périmètre du bassin versant: 137.53 km
- Précipitation moyenne annuelle : 375 mm
- Apport moyen annuel : 28Mm³
- Largeur de la crête : 10m
- Largeur totale de la base : 350 m

1.5.3. Evacuateur de crue

Largeur : 42m

Longueur totale : 378m

Hauteur de la lame déversant : 4.5m

Capacité d'évacuation : 867m³/s

1.5.4. Galerie de dérivation**Vidange de fond**

Dimensions d'un puits : 1.70m x 2.40m

Longueur : 263m

Tunnel

Dimensions: 8.8m X 8.8m

Longueur : 223m

Diamètre de la conduite d'AEP= 1000mm

Diamètre de la conduite irrigation=1500mm

1.5.5. Infrastructures

Évacuateur de crue: du type latérale sur la rive droite (coursier + bassin d'amortissement). En mars 2009, le barrage a connu son premier versement depuis sa mise en exploitation, ce phénomène a duré du 15 mars au 31 estimé de 24.025 Hm³.



Figure 09: évacuateur de crue (déversoir)

1.5.6. Galerie de dérivation

Il y a deux compartiments, l'inférieur sert à la vidange de fond et le supérieur conçu en demi-cercle, il sert comme abri des deux conduites (AEP + irrigation) et comme accès à la tour de prise et la chambre des vannes.

Vidage de fond: répartie en deux compartiments rectangulaires, sert aux lâchées

Tour de prise: en béton armé d'une forme cylindrique avec cinq prises d'eau dans trois niveaux : Le premier niveau contient trois prises d'eau dont deux pour l'irrigation et l'autre pour l'AEP à la cote 966 m.

Les deuxième et troisième niveaux servent pour l'AEP sur les cotes 975.10m et 985m respectivement,

La chambre des vannes : abris pour l'équipement hydromécanique

1.5.7. Le contrôle technique

Répartis en deux phases:

1^{re} phase: exploitation

Station météo: bac Colorado d'une surface de 11304 mm² ; Pluviomètre et thermomètre.

2^{ème} phase: auscultation

Piézomètres: contrôler les deux digues (digue principale et digue de col) durant toute l'année avec une prospection visuelle et des mesures de pression dans tous les piézomètres incorporés dans le corps du barrage, Ces mesures de niveau piézométrique se font hebdomadairement.



Figure 10: les forages piézométriques

Conclusion

Sur le secteur étudié, le Crétacé inférieur s'est déposé sous forme de calcaires marneux, de marnes, de calcaires gréseux et de calcaires compacts. L'Aptien et l'Albien affleurent dans le massif des Aurès. L'Albien existe dans les anticlinaux des Aurès ; il présente souvent un faciès gréseux, marneux et dolomitique, devenant franchement marneux à la base.

Le Tertiaire est constitué d'argiles rouges gypseuses et repose directement, en discordance, sur le Crétacé. Cette formation est composée de marnes gréseuses et de grès reposant directement sur le conglomérat de base. Il convient de préciser que ces formations miocènes, fréquemment classées sous le terme de « grès », ne comportent en réalité que quelques bancs de grès noyés dans une importante épaisseur de marnes gréseuses. Ce qui fait que ces marnes gréseuses constituent la majeure partie de la formation miocène étudiée.

CHAPITRE 02 :
IMPACT ET
CHANGEMENT
CLIMATIQUE

Chapitre 02 : Impact et changement climatique

Introduction

Sur le plan climatique, Batna se distingue par un régime bioclimatique semi-aride. L'analyse climatique révèle trois zones distinctes de pluviosité en fonction de la variance qui caractérise son relief. La première est la zone humide, qui reçoit des précipitations allant de 900 à 1200 mm/an et correspond aux montagnes et sommets supérieurs à 1800 mètres. La zone à précipitations moyennes reçoit des précipitations comprises entre 400 et 800 mm/an et correspond au versant nord du massif. Le secteur sec reçoit des précipitations allant de 200 à 400 mm/an, est réparti à l'ouest et au sud du massif et englobe l'intégralité de la forêt de Beni Imoul (Bouha, 2012).

En été, les températures peuvent atteindre 45°C à l'ombre, tandis qu'en hiver, les températures peuvent descendre en dessous de zéro la nuit, avec des gelées fréquentes (Bouha,2012).

2. Etude climatique

2.1. Précipitation

Un jour pluvieux est un jour avec au moins 1 millimètre de précipitations ou d'eau mesurée. La probabilité de précipitations à Batna varie tout au long de l'année.

Les données climatiques utilisées dans cette étude pour caractériser le climat de la région proviennent de la station pluviométrique de Batna, accessible sur le site web Infoclimat. Les coordonnées de cette station sont indiquées dans le tableau suivant:

Tableau 01: Caractéristiques de station pluviométrique de Batna (source web: Info climat).

Station	Latitude en DD (Degrés décimaux)	Longitude en DD (Degrés décimaux)	Altitude en mètre
Batna	35,75	6,18	1052

2.1.1. PRÉCIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES:

La précipitation moyenne annuelle établie sur un grand nombre d'années (hauteur moyenne des précipitations annuelles tombant à un endroit donné) est aussi appelée sa valeur normale, son module annuel ou sa valeur interannuelle.

Les données des précipitations moyennes annuelles dans le graphe (figure 11) durant la période (1980_2020) Pour la station de Batna. Avec un tableau (3) qui représente l'année la plus pluvieuse et celle la plus sèche de la station.

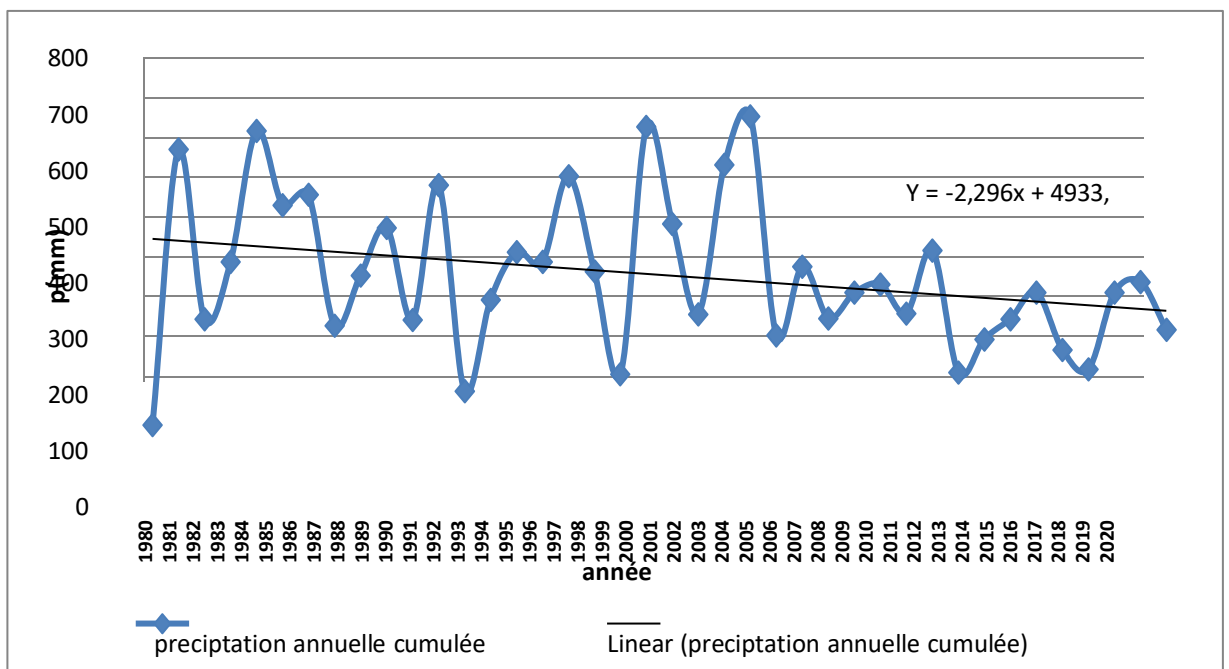


Figure 11: Précipitations moyennes annuelles de stations de Batna (1980/2020).

Tableau02: l'année la plus pluvieuse et sèche de la station de Batna

Station de Batna	Valeur de précipitation	L'année la plus pluvieuse	Valeur précipitation	L'année la plus sèche	Moyenne
	665 mm	2004	29,9 mm	1980	340,83

Pour les différents périodes, on remarque une variabilité des apports annuelles des précipitations, la grande valeur de pluviosité annuelle dans la station de Batna est enregistrée en 2004 avec une valeur égale à 665 mm, et la plus petite valeur enregistrée en 1980 avec des précipitations de 29,9 mm. La plus moyenne interannuelle est de l'ordre de

2.1.2. régime pluviométriques de la région de batna

On utilise la valeur de précipitation moyenne annuelle pour caractériser le régime par la classification suivante:

Tableau 03: Régime pluviométriques du monde (Tire de cham poux, Toutant,1988)

Nom	Caractéristiques
Régime équatorial humide	Plus de 200cm de précipitations annuelles moyennes. à l'intérieur des continents et sur les cotes. région typique de ce régime : bassin de l'amazone.
Régime subtropical humide en Amérique	Entre 100 et 150 cm de précipitation annuelle moyenne. à l'intérieur des continents et sur les cotes. région typique de ce régime : pointe Sud-est de l'Amérique du Nord.
Régime subtropical sec	Moins de 25 cm de précipitation annuelle moyenne. à l'intérieur des continents et sur les cotes ouest. région typique de ce régime : le Sud du Maghreb.
Régime intertropical sous l'influence des Alizés	Plus de 150 cm de précipitation annuelle moyenne Sur des zones côtières, humidité Région typique de ce régime : cotes est de l'Amérique central
Régime continental tempéré	Entre 10 et 50 cm de précipitation annuelle moyenne à l'intérieur des continents ; il en résulte ou des steppes Région typique de ce régime : plaines de l'ouest du continent nord américain
Régime océanique tempéré	Plus de 100 cm de précipitation annuelle moyenne Sur les cotes ouest des continents Région typique de ce régime : la Colombie
	britannique, l'Europe
Régime polaire et arctique	Moins de 30 cm de précipitation annuelle moyenne Se situe au nord de 60e parallèle ; formation de grands déserts froids Région typique de régime: le Grand Nord canadien

On a une valeur de précipitation moyenne annuelle entre 10 et 50 cm donc le régime c'est un régime continental tempéré.

2.1.3. Précipitation moyennes mensuelles:

2.1.3. Précipitation moyennes mensuelles:

Les données des précipitations mensuelles sur la période (1980_2020) recueillies à la station de Batna ont permis de calculer les modules pluviométriques mensuels présentés dans le tableau ci-dessous:

Tableau 04: Précipitation moyennes mensuelle de la station de Batna (d’après info climat 1980_2020).

Mois	Jan.	Fév.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
valeur	34,34	24,64	35,76	38,36	44,45	22,26	11,5	24,15	34,73	27,71	26,56	34,3

Ce tableau montre la variation des précipitation d’un mois à l’autre des moyennes mensuelles des hauteurs pluviométriques enregistrées dans la station de Batna. Avec un maximum de l’ordre de 44,45 mm qui s’observe au mois de Mai , et un minimum de l’ordre de 11 ,5 mm s’observe au mois de Juillet . Nous pouvons mieux voir cela grâce au graphe suivant :

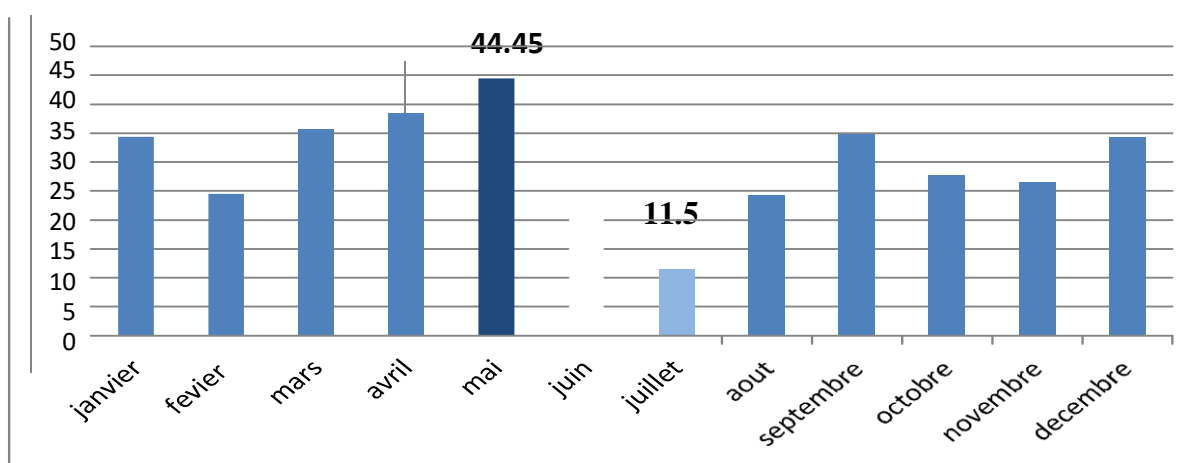


Figure 12: variation des précipitations moyennes mensuelles de la station de Batna(1980_2020)

2.1.4. Précipitation Moyenne Saisonnière:

La subdivision des pluies de l’année pour chaque saison est faite suivant les saisons agricoles (automne : S O N /L Hiver : D J F/Printemps :M A M/Eté : J A)

Tableau 05: précipitation moyenne saisonnière (d’après le site web info climat 1980-2020)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Station	mm		%	mm		%	mm		%	mm		%
BATNA	89		24,8	93,28		26,00	118,57		33,05	57,91		16,14

La répartition mensuelle des précipitation dans l’année et ses variations conditionnent, en relation avec les facteurs thermiques, l’écoulement saisonnier et par la même le régime des cours d’eau, l’érodabilité des sols et le transport des matériaux en suspension (BOUANANI A, .2005)

2.2. Coefficient Pluviométrique(H)

Ce coefficient permet de déterminer pour une station donnée si l'année est excédentaire ou déficitaire, il est défini par le rapport de la pluviométrie P d'une année à la pluviométrie moyenne \bar{P} pour une période de n années:

Avec:
$$H = \frac{P_i}{\bar{P}}$$

H: Coefficient pluviométrique

P_i: Hauteur annuelle des pluies en mm

\bar{P} : Pluviométrie moyenne en mm

Si l'année est d'autant plus excédentaire lorsque que H est supérieure à l'unité (H>1) et (H<1) l'année est dite déficitaire. Dans notre cas : P=45,73mm.

La figure ci-dessous montre les variations de H à la cour des années d'observations.

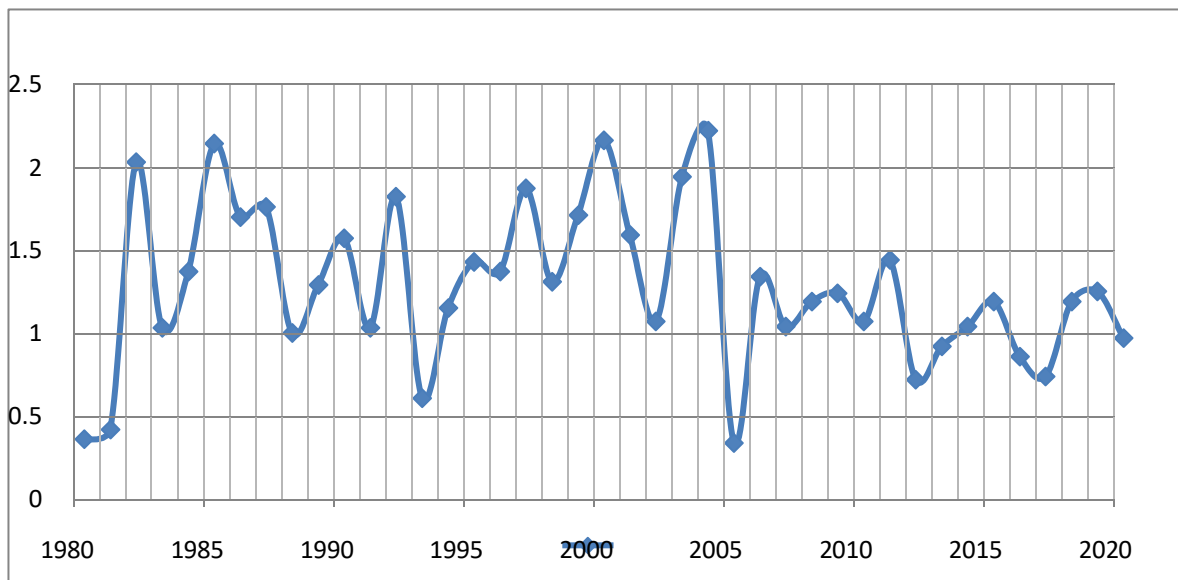


Figure 13: variation du coefficient pluviométrique avec la précipitation annuelle

2.3. La temperature

2.3.1. Température Moyenne mensuelle:

La paramètre de la température est indispensable à la climatologie et fortement influencer par le changement climatique, vu qu'il rend compte de son apport d'énergie à la végétation, de son pouvoir évaporation. Elle joue un rôle très important pour la détermination du bilan hydrique, et enfin, qu' il est à l'origine du bon fonctionnement du cycle de Léau.

Tableau 06: Répartition moyenne mensuelle de température a la station de Batna (1980_2020)

Mois	Jan.	Fév.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Valeur Maximale	11 ,16	12 ,59	16 ,05	20,13	25 ,4	30,61	35,25	34,56	28,99	23,43	16 ,35	12,41
Valeur Moyenne	6,12	7,1	9,91	13,15	17,68	22,96	26,41	25,98	21,66	16,68	10,85	7,05
Valeur Minimale	0,59	0,95	3,31	6,23	10,01	14,51	17, 61	17,34	14, 38	9,9	4 ,9	1,75

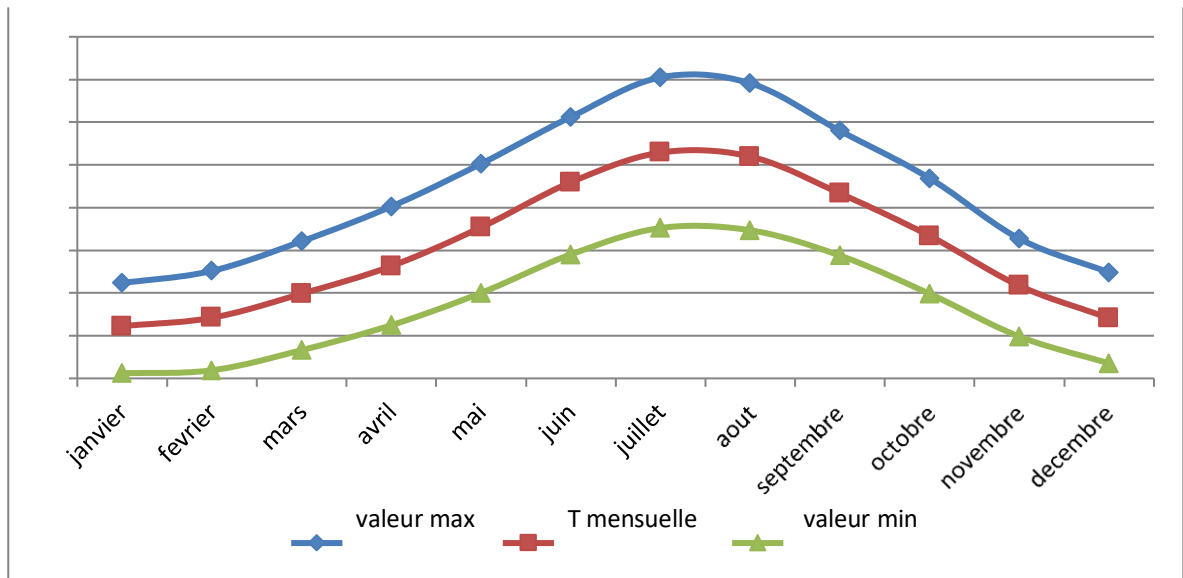


Figure 14: Température mensuelle pour la station de Batna (1980-2020)

La figure 13 indique la répartition moyenne mensuelle de la température, et montre que : Le mois le plus froid est le moins de Janvier avec valeur de 6,12 le mois le plus chaud est celui de Juillet avec une température moyenne mensuelle de 24,66°C .La température mensuelle moyenne pour cette période (1980_2020) est de 16,28 degrés centigrades.

2.3.2. Température moyenne annuelle :

D’après la figure suivante nous montrent que l’année la plus chaude est l’année 1999 avec une valeur maximale de 16,5°C , et l’année la plus froide est celle de 1980 avec une valeur minimale de 14°C.

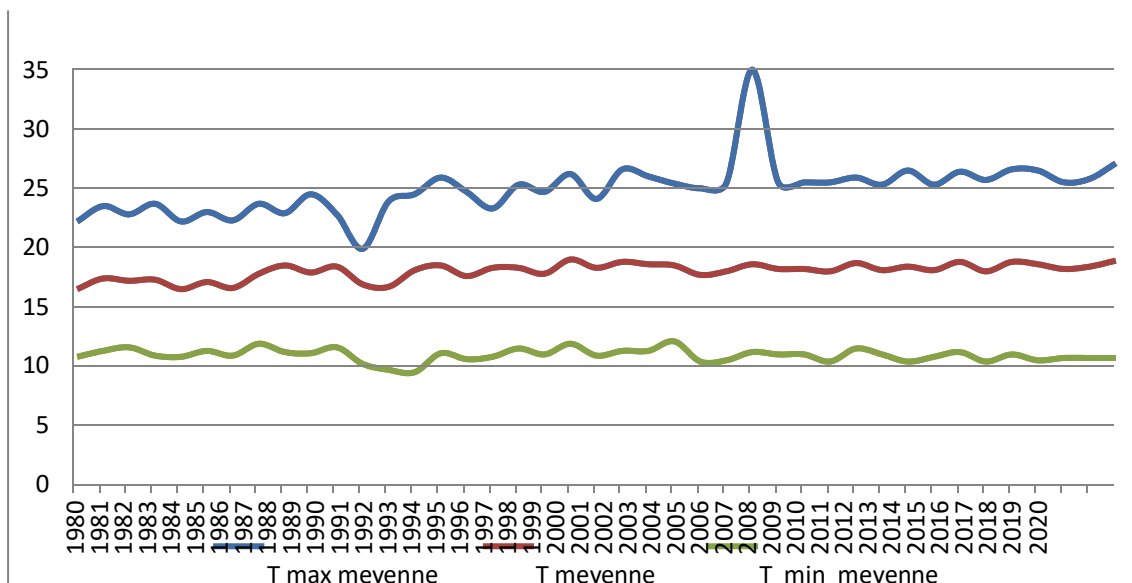


Figure15: Evolution de température (moyenne annuelles, moyenne maximales annuelles, moyenne minimales annuelles) pour la station de batna (1980_2020)

2.4. Diagramme ombro-thermique de GAUSSEN:

Il permet de déterminer les périodes humides ou sèches, par un total pluviométrique (moyenne en millimètres) et la température moyenne mensuelle°C.

Tableau 07: données du diagramme ombrothermique de Gausсен de station de

Batna(1980_2020)

Mois	Jan.	Fév.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
P(mm)	34,34	24,54	35,76	38,36	44,45	22,26	11,5	24,15	34,73	27,71	26,56	34,23
T(°C)	6,12	7,1	9,91	13,15	17,68	22,96	26,44	25,98	21,66	16,68	10,85	7,05

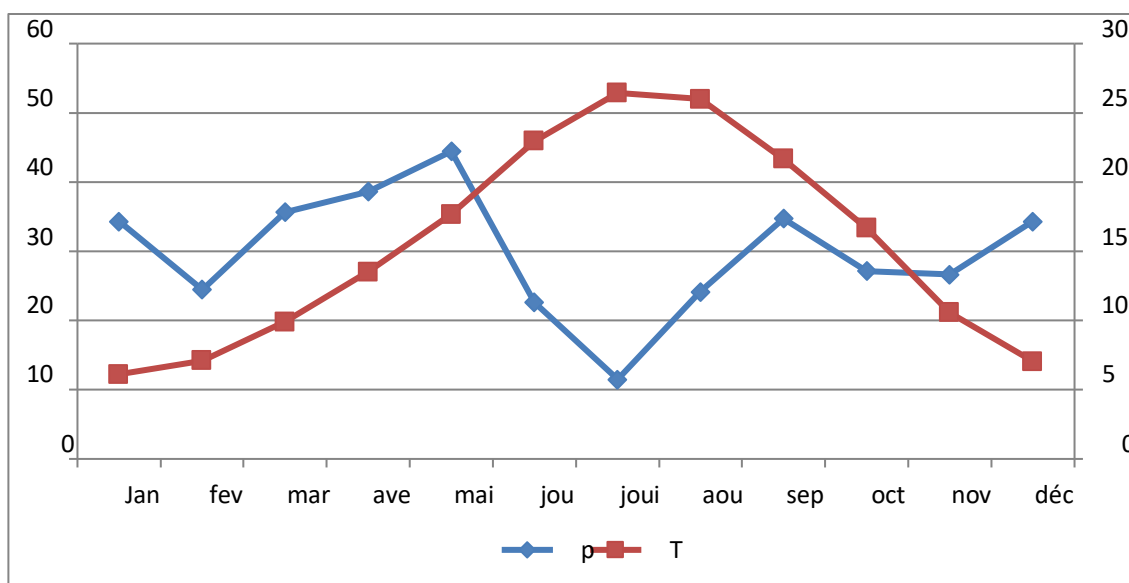


Figure 16: Diagramme ombrothermique de la station de Batna.

Deux saisons peuvent être distinguées, un humide allant de Novembre à Avril et l'autre sec sur le reste de l'année.

2.4. Détermination Du Type Du Climat:

2.4.1. Climagramme Demberrger:

Le système d'Emberger permet la classification des différents climats méditerranéens (DAJOZ, 1985-2003). Cette classification fait intervenir deux facteurs essentiels, d'une part la sécheresse représentée par le quotient pluviothermique Q_2 en ordonnées et d'autre part la moyenne des températures minimales du mois le plus froid en abscisses. Il est défini par la formule simplifiée suivante (STEWART, 1969) :

$$Q_2 = 3,43 \frac{P}{M-m}$$

P : pluviométrie annuelle en mm.

M : température moyenne maximale du mois le plus chaud en °C.

m : température moyenne minimale du mois le plus froid en °C.

NOTE : $T (K^\circ) = T (^\circ C) + 273,15$

Tableau 08 : Données du climagramme DEMBERGER de Batna (1980_2020)

Station	P (mm)	Température maximale °C	Température minimale °C	Q2
Batna	340,83	26,41	6,12	58,04

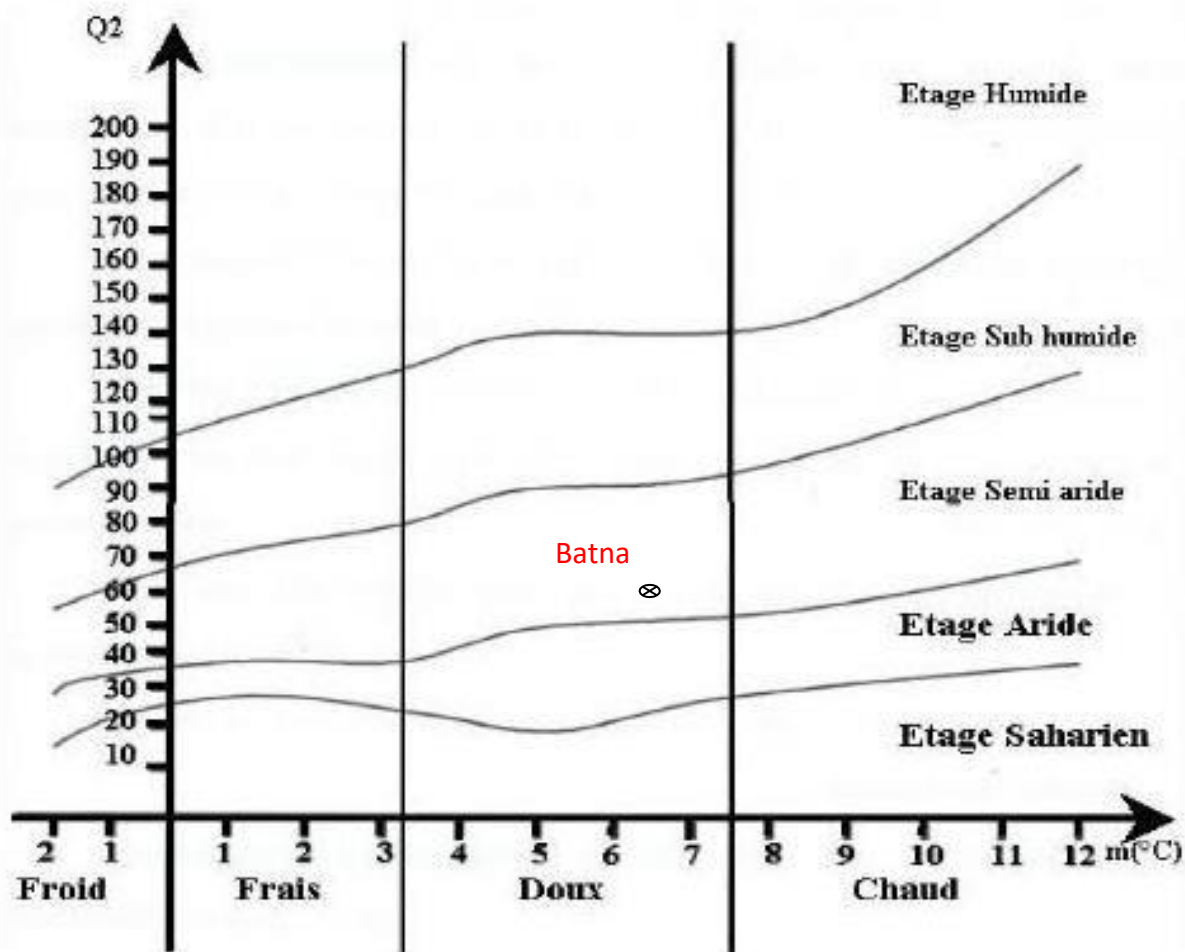


Figure 17: Climagramme D'EMBERGER de la station de Batna (1980_2020)

Le climagramme d'EMBERGER de la station de Batna à la période de 1980-2020 indique que la région de Batna appartient à l'étage bioclimatique semi-aride à Hiver doux.

2.5. Bilan hydrique

Le bilan hydrique est le suivi de l'ensemble des entrées et des sorties d'un système donné (lac, réservoir) (Anctil et al, 2012). L'équation générale d'un tel bilan peut s'écrire : **$P=ETR+R+I$** .

Avec :

- **P** : Précipitation annuelle en mm ;
- **ETR** : Evapotranspiration réelle annuelle en mm ;
- **R** : Ruissellement en mm ;
- **I** : Infiltration annuelle en mm (Kergreis et Claude, 1991).

2.5.1. Estimation de l'évapotranspiration

Par définition, le terme évapotranspiration désigne la quantité d'eau rejetée dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau par évaporation directe à partir du sol et par transpiration des organes aériens des plantes (Jacob et al 2002).

2.5.2. Évapotranspiration potentielle (ETP)

Thornthwaite, en est le premier à introduire le concept d'évapotranspiration potentielle, dans un contexte de classification du climat : « Il y a une distinction entre le volume d'eau qui est effectivement évapotranspiré et celui qui pourrait être évapotranspiré, s'il était disponible. Lorsque la disponibilité en eau augmente, l'évapotranspiration atteint un maximum qui dépend uniquement du climat.

Calcul l'ETP selon Thornthwaite

La formule utilisée est :

$ETP \text{ (mm/mois)} = 16(10T/I)^a$ (Lambert, 1996). Où :

- **T** : La température moyenne mensuelle en °C ;
- **I** : indice thermique annuelle, somme des 12 indices mensuels i ; et **$I \sum i$ et $i = (t/5)^{1,514}$** (Bouchagour L, 2003);
- **a** : Coefficient constant pour un même lieu et ne dépendant que de i ; **$a = 0.016 I + 0,5$**

$ETPc = ETP \times K$

Où :

- **ETPc** : l'évapotranspiration potentielle corrigée (mm)
- **K** : le facteur de correction en fonction de la durée d'ensoleillement.

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau n : avec $I = 73.44$ et $a = 1.67$

2.5.3. L'évapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle c'est la quantité d'eau réellement évaporée. Elle représente la quantité de vapeur d'eau relativement dégagée vers l'atmosphère par les sols et les végétaux. Des méthodes peuvent être proposées :

- La méthode de Turc.
- La formule de Coutagne.
- La méthode de Thornthwaite

Formule de L.TURC annuelle (Boutaleb et Lhoussaine, 2006)

$$ETR = P / \sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}$$

- **ETR** : L'évapotranspiration réelle, en (mm) ;
- **P** : La précipitation annuelle, en (mm) ;
- **T** : La température moyenne annuelle en °C ;
- **L** : Un paramètre calculé en fonction de la température selon la formule :

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3 \text{ (Lambert, 1996).}$$

2.6. Le bilan hydrologique selon Thornthwaite

Le bilan hydrique est établi pour un lieu et une période donnés par comparaison entre les apports et les pertes en eau dans ce lieu et pour cette période. Il tient aussi compte de la effectués par les précipitations.

Les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de l'évaporation et la transpiration des plantes, que l'on désigne sous le terme d'évapotranspiration. Le bilan est évidemment positif lorsque la différence est positive ou que le rapport est supérieur à un. On choisit l'un ou l'autre expression en fonction de commodités ou de diverses. L'écoulement à partir d'une unité de surface sera compté dans les pertes. L'infiltration est considérée comme une mise en réserve sous forme de nappes souterraines ou d'eau capillaire dans le sol.


La détermination de l'ETR en fonction de L'ETP et de la quantité d'eau disponible (pluie+RFU).

ETR peut être évalué par l'établissement du bilan comme par l'application de certaines formules empiriques .ce paramètre peut être calculé d'après Thornthwaite en utilisant les conditions suivantes :

- Si: ETP=P; il y a existence d'une évapotranspiration réelle ETR, la réserve RFU ne se modifie pas et aucune infiltration est produite en direction de nappe. RFU=0.
- Si: ETP >P; on a ETR=P+RFU .un déficit apparait une partie de l'RFU sera sollicitée jusqu'à la compensation de l'ETR .l'évapotranspiration agit donc sur le sol.
- Si: ETP<P; alors ETR=ETP.RFU pourra atteindre son maximum au-delà duquel, il y aura une infiltration vers la nappe.

L'application de la méthode de Thornthwaite pour l'année moyenne, l'année la plus humide et l'année la plus sèche a donné les résultats qui sont consignés dans le tableau suivants :

Tableau 09: Bilan hydrique de la région de Batna (1980_2020)

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
T°C	6,12	7,1	9,91	13,15	17,68	29,96	26,41	25,98	21,66	16,68	10,85	7,05	
i	1,35	1,7	2,18	4,32	6,76	15,03	12,42	12,12	9,20	6,19	3,23	1,68	76 ;18
I = 76,18													
a	1,71												
K	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85	
P	34,34	24,54	35,76	38,36	44,45	22,26	11,5	24,15	34,73	27,71	26,56	34,23	
ETP(mm)	11	14,18	25,08	40,69	67,50	166,36	134,35	130,37	95,53	61,11	29,29	14,01	789,79
ETPc	9,57	12,05	25,83	44,35	78,04	200,86	165,25	151,22	98,39	59,27	25,18	11,90	881,91
P - 	24,77	12,49	9,93	-5,99	- 33,64	- 178,60	- 153,75	- 126,77	- 63,66	- 31,56	1,38	22,33	
ETR	9,57	12,05	25,83	44,35	78,04	58,58	11,5	24,45	34,73	27,71	25,18	11,90	363,89
RFU	84,84	60,97	70,90	64,91	31,32	00	00	00	00	00	1,38	23,71	
DA	00	00	00	00	00	147,28	153,75	126,77	63,66	31,56	00	00	523,02
EX	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

T : Températures moyennes mensuelles °C .

I: Indice thermiques mensuels.

a: Exposant climatique.

ETP: Evapotranspiration potentielle mensuelle non corrigée(mm).

ETPc: Evapotranspiration potentielle mensuelle corrigée(mm).

K: facteur de correction qui dépend du temps du mois et de l'altitude de lieu.

P: précipitation moyennes mensuelles (mm).

RFU: Réserve facilement utilisable (mm).

ETR: Evapotranspiration réelle (mm).

DA: Déficit agricole(mm).

EX: Excédent (mm).

Vérification du bilan :

$$\sum P = \sum ETR + \sum EX \Rightarrow 358,89 = 358,89 + 00,00$$

$$\sum ETP = \sum ETR + \sum DA \Rightarrow 881,91 = 358,89 + 523,02$$

2.7. Interprétation des résultats du bilan hydrique :

Le tableau du bilan hydrique a pour but de connaître des différents paramètres (ETP, ETR, RFU, DA, EX). On remarque que : L'excédent est nul sur tout les mois

Le déficit agricole est enregistré durant les mois de Juin, Juillet, Aout Septembre et Octobre avec une valeur totale de 523,02 mm et la grande valeur enregistrée 153,75 mm dans le mois de juillet. L'évapotranspiration potentielle (ETP) la grande valeur enregistrée est 200,86 mm dans le mois de Juin, est la plus petite valeur est 9,57 mm enregistrée dans le mois Janvier avec une valeur totale de 881,91 mm.

Pour l'évapotranspiration réelle (ETR), la grande valeur enregistrée est 78,04 mm dans le mois de Mai, est la plus petite valeur est 9,57 mm enregistrée dans le mois de Janvier avec une valeur total de 358,89 mm .Soit 100% des précipitations moyennes annuelles.

Conclusion:

Dans cette section, nous définissons le climat de la zone d'étude à Batna, un climat semi-aride et subcontinental, caractérisé par des précipitations mensuelles irrégulières et un faible nombre de jours de pluie.

Les données climatiques de la station météorologique de Batna sur une période de 40 ans (1980-2020) montrent que l'automne est la saison la plus humide, tandis que l'été est la plus sèche. Elles montrent également deux conditions distinctes:

Une période déficitaire de Avril jusqu'à Octobre ou la précipitation est inférieure à l'évapotranspiration potentielle ($P < ETP$).

Un période déficitaire de Novembre jusqu'à Mars ou la précipitation supérieure à l'évapotranspiration potentielle ($P > ETP$).

Un bilan hydrologique est une méthode permettant de calculer l'ensemble des apports et des sorties d'eau sur une surface donnée

CHAPITRE 03 :
HYDROCHIMIE
DES EAUX

CHAPITRE 03: HYDROCHIMIE DES EAUX

Introduction

Ce travail est consacré à l'étude de la qualité des eaux de barrage de Timgad. Pour cela, des analyses physico-chimiques ont été nécessaires. Dans ce chapitre, nous allons présenter les prélèvements effectués et les différentes méthodes et matériels utilisés.

3. Méthodes et stratégie de travail :

3.1. Échantillonnage :

Les 02 échantillons destinés aux analyses physico-chimiques sont prélevés dans des flacons en plastiques (figure. 17), ces flacons sont rincés à l'eau distillée et égouttés avant d'être rincés plusieurs fois et remplis par l'eau à analyser.



Figure 18: les échantillons dans des flacons en plastiques

3.2. Analyse physico-chimique :

Les différentes analyses des paramètres physico-chimiques des eaux de Barrage ont été effectuées au laboratoire d'Elhamma.

3.2.1. Mesures in situ :

Trois paramètres physico-chimiques sont mesurés in situ, immédiatement après prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un appareil multiparamètre de type CONSORT 926. Il s'agit pH, CE, T°.

3.2.2. Analyse des éléments chimiques :

3.2.2.1. Les bicarbonates (HCO_3)

Les dosages ont été effectués par potentiomètre et par volumétrie.

Chapitre 03 :

Hydrochimie Des Eaux

Appareil : appareil de titrage automatique

Réactifs : H₂SO₄ à 0.02N, solution tampon.

3.2.2.2. La dureté totale TH (Ca²⁺ + Mg²⁺) :

La mesure a été effectuée par volumétrie complexométrie.

Réactifs : Sel disodique de l'acide Éthylène Diamino Tétra Acétique (EDTA) 0.02 N. noir d'Eriochrome T (indicateur coloré, solution tampon PH = 10)

3.2.2.3. Le sodium (Na⁺) et le potassium (K⁺) :

Les paramètres ont été déterminés par spectrophotomètre à flamme

Appareil : un spectrophotomètre à flamme type (SPF CORNING)

Étalon : solution NaCl 0.1mg/l et KCl 0.1mg/l

3.2.2.4. Les chlorures (Cl⁻) : ont été déterminés par colorimétrie

Appareil : appareil de titrage (burette et bêche graduée)

Réactifs : chromate de potassium, nitrates d'argent AgNO₃, 0.02 N, Étalon : solution NaCl 0.1g/l.

3.2.2.5. Sulfates (SO₄⁻) : ont été déterminés par spectrométrie.

Appareil : spectromètre type (HACH DR/2010)

Réactifs : En gélule le NITRA VER5

Tableau 10: Résultats des analyses physico-chimiques des eaux échantillonnées

Point	CE (μS/cm)	pH	T (C°)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)
P1	1140	7,2	27	90,3	32,55	93,4	7,2	151	95,3	265,3
P2	1141	7,2	27	90,6	31,37	94,7	7,5	149,3	96,4	265,8

3.4. Variation Spatiale Des Paramètres Physico- Chimiques

3.4.1. Paramètres Physiques

Ces paramètres sont très importants, car ils jouent un rôle majeur dans la solubilité de l'eau et aident à la détermination de son origine, pour cela, on va étudier trois paramètres, la température, le PH et la conductivité électrique.

3.4.1.1. La Température

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

Les mesures de la température montrent que l'eau de Barrage est 27c° Ceci nous permet d'avancer que la température de l'eau provient de température extérieure (l'air) (**Figure18**).

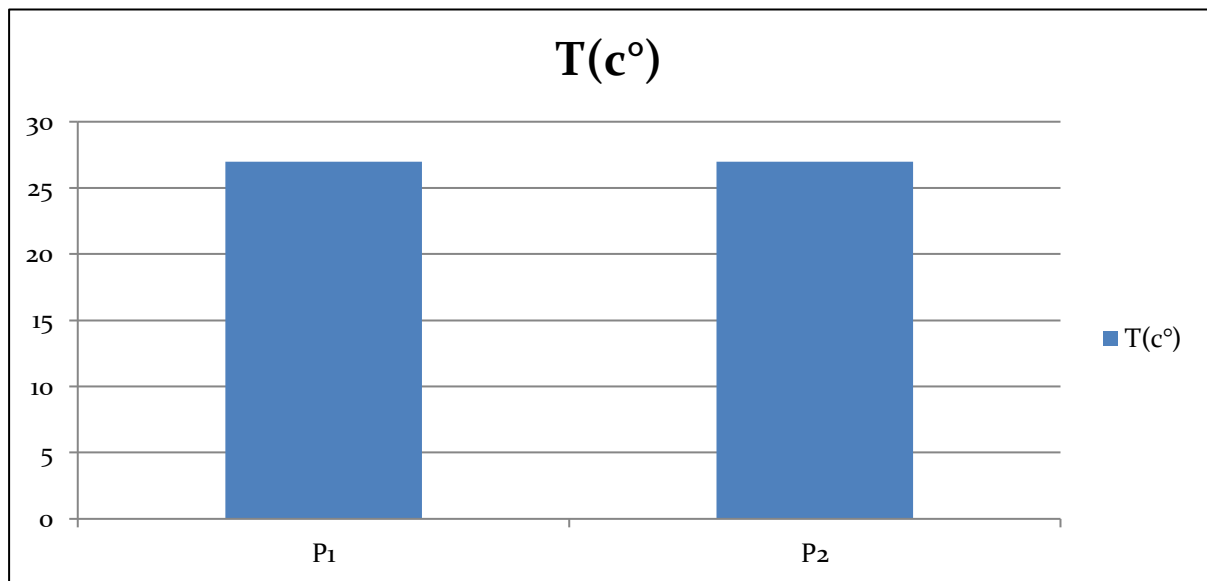


Figure19: Répartition des températures (°C) des eaux de la zone d'étude.

3.4.1.2. Le potentiel hydrogène (Ph)

Le potentiel hydrogène est liée principalement à la nature lithologique des terrains traversés. Il constitue le mode de représentation de la concentration en ion H^+ d'une solution, c'est-à-dire l'alcalinité ou l'acidité du chimisme du milieu. Il est exprimé par le log décimal de l'inverse de la concentration en ion H^+ .

$$pH = \log 1/ [H^+].$$

L'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique :

- Si $[H^+] = [OH^-]$ → Le pH = 7, donc l'eau est neutre.
- Si $[H^+] > [OH^-]$ → Le pH < 7, donc l'eau est acide.
- Si $[H^+] < [OH^-]$ → Le pH > 7, donc l'eau est basique.

Le pH des eaux de la zone d'étude est neutre à alcaline. Ceci est lié à la nature des roches présentes dans la région et qui sont essentiellement constituées de roches sédimentaires à composante carbonatée importante.

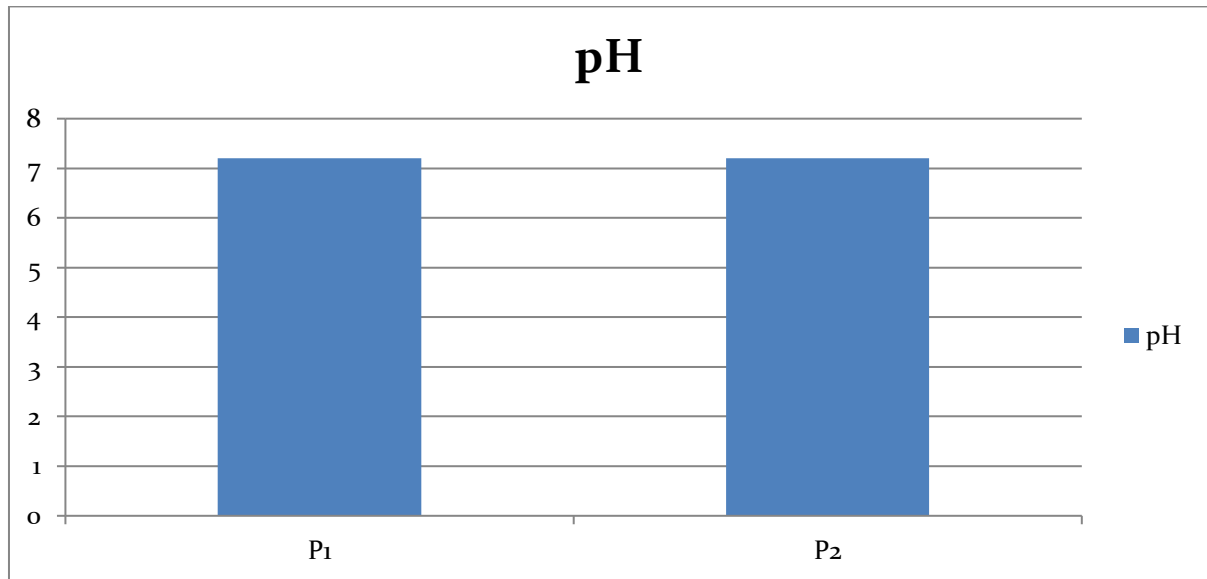


Figure 20: Répartition des Ph des eaux de la zone d'étude.

3.4.1.3. Conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique des eaux souterraines de la zone d'étude ont été mesurées sur terrain et sont exprimées en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductivité électrique est un moyen important d'investigation en hydrogéologie. Sa mesure est précise et rapide. Sa variation est liée à la nature des sels dissous et de leur concentration.

Les valeurs de la conductivité des eaux de la région d'étude sont $1140 \mu\text{S}/\text{cm}$. La conductivité électrique est liée à la présence d'ions en solution. Elle augmente avec la température et la concentration en sels dissous. L'OMS conseille, pour une eau destinée à la consommation humaine, une conductivité électrique pouvant atteindre la valeur de $2500 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$.

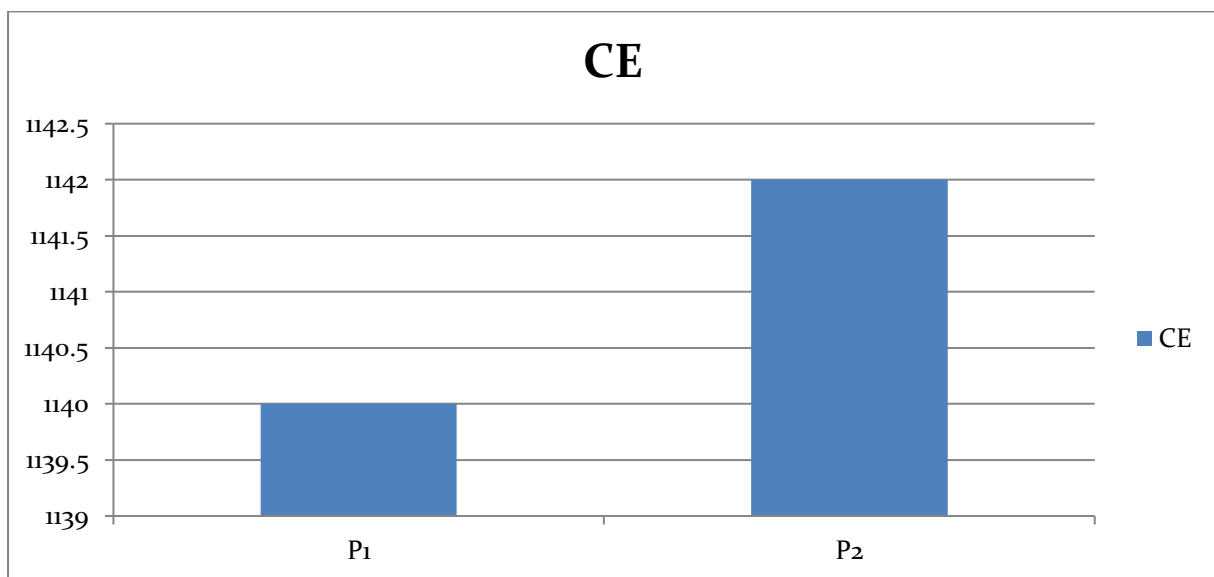
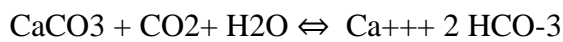


Figure 21: Répartition des conductivités (c25°C).

3.4.2. Evaluation spatiale des éléments chimiques majeurs

3.4.2.1. Le calcium (Ca⁺⁺)

Les ions de calcium existants dans l'eau proviennent de la dissolution des carbonates et de roches gypseuses. Pour les roches carbonatées, l'apparition du calcium résulte de la dissolution des formations (CaCO₃) par l'attaque chimique des eaux en présence du gaz carbonique (CO₂).



Les résultats des teneurs en Calcium calculées dans les eaux sont (90 mg/l) proche des normes de l'OMS (108 mg/l) (**Figure 22**).

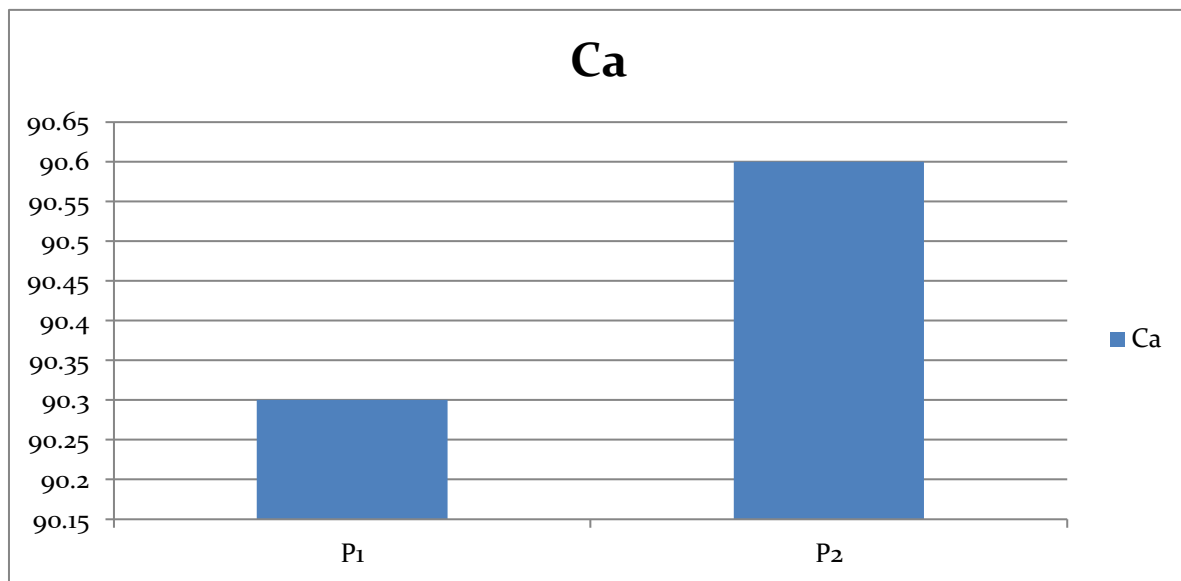


Figure 22: Répartition des concentrations de Ca (mg/l).

3.4.2.2. Le Magnésium (Mg⁺⁺)

L'existence du magnésium dans les eaux résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations dolomitiques, c'est-à-dire la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium, ou bien par les formations salifères riches en magnésium « MgSO₄ ». La réaction chimique est accentuée par la présence de l'acide carbonique présente dans l'eau. (Vallès, 1985)

La teneur en magnésium pour les deux points est au dessous des normes (Figure 23). Ces résultats laissent supposer que les apports en magnésium proviennent de la dissolution des formations évaporitiques, et prouvent une nouvelle fois que ces eaux sont insalubres.

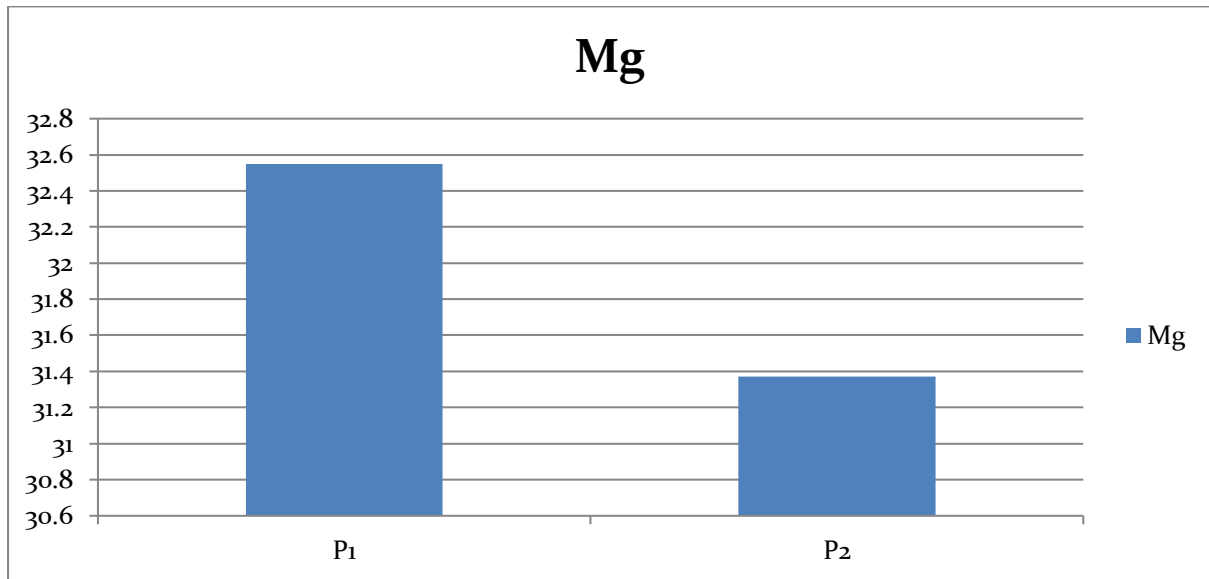


Figure 23: Répartition des concentrations de Mg (mg/l).

3.4.2.3. Le Sodium Na^+ et le potassium K^+

Le sodium est le plus fréquent parmi les éléments alcalino-terreux présents dans la lithosphère. Il est bien présent dans les roches sédimentaires et magmatiques, et a l'effet de la salinité marine (Olivier et al., 2008). La teneur en magnésium pour les deux points est (94 mg/l) (**Figure 23**).

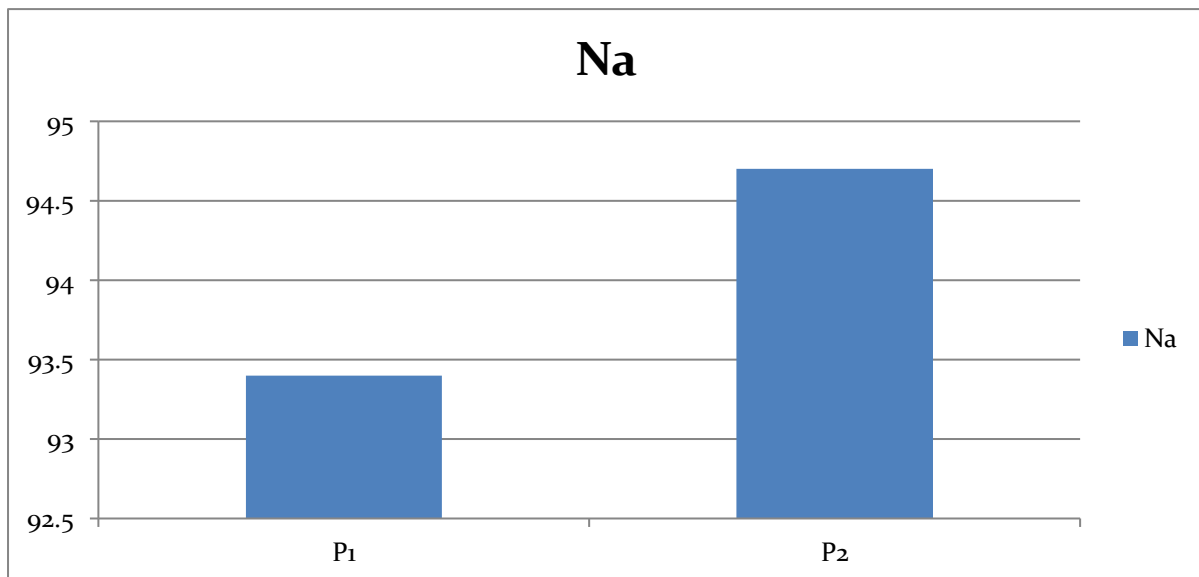


Figure 24: Répartition des concentrations de Na (mg/l).

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées et des argiles potassiques. En général, il dépasse rarement les 10 ou 20 mg/l dans les eaux thermales (Olivier et al., 2008).

Dans le cas des deux points étudiées, la concentration représente 7 mg/l pour, les deux points dans les normes norme de l’OMS (Figure 24).

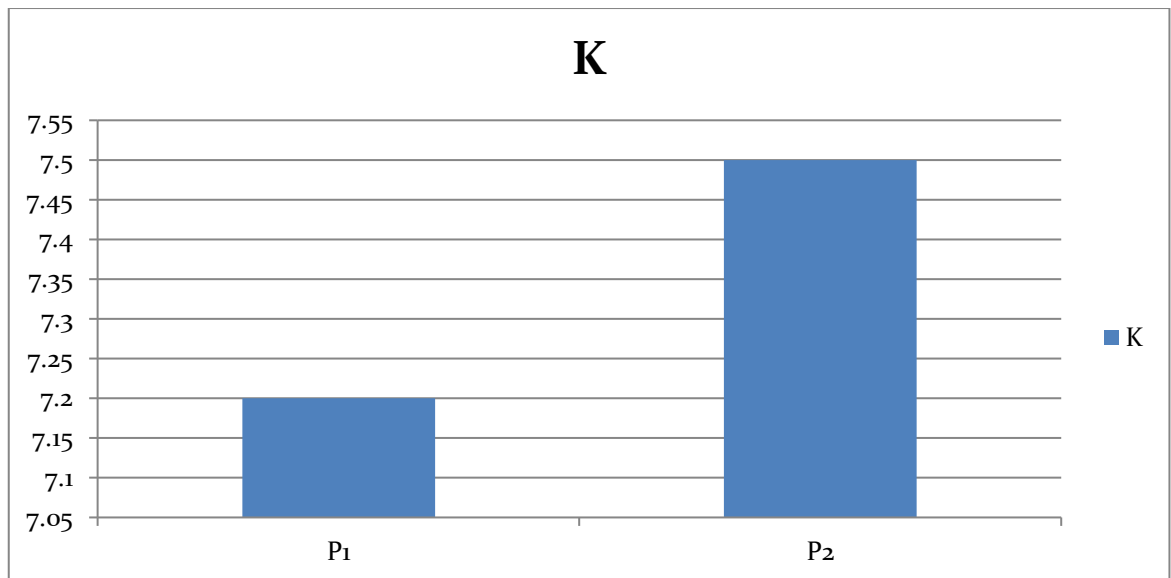
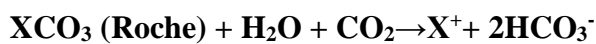


Figure 25: Répartition des concentrations de K (mg/l).

3.4.2.4. Bicarbonates (HCO₃⁻)

Les ions bicarbonatés résultent de l’équilibre physico-chimique entre la roche, l’eau et le gaz carbonique, selon la relation suivante :



Avec :

X : désigne un élément chimique de la roche.

En d’autres termes, la teneur en (HCO₃⁻) dans l’eau dépend d’un certains nombres de paramètres physico-chimiques à savoir :

- la température de l’eau.
- la concentration du (CO₂) dissous.
- la concentration de l’eau en sels ainsi que la nature lithologique des terrains traversés.

Les concentrations mesurées pour les deux points sont dans les normes OMS (250 mg /l) (**Figure 25**), ce qui peut être dû à la dissolution des roches calcaires en bicarbonates.

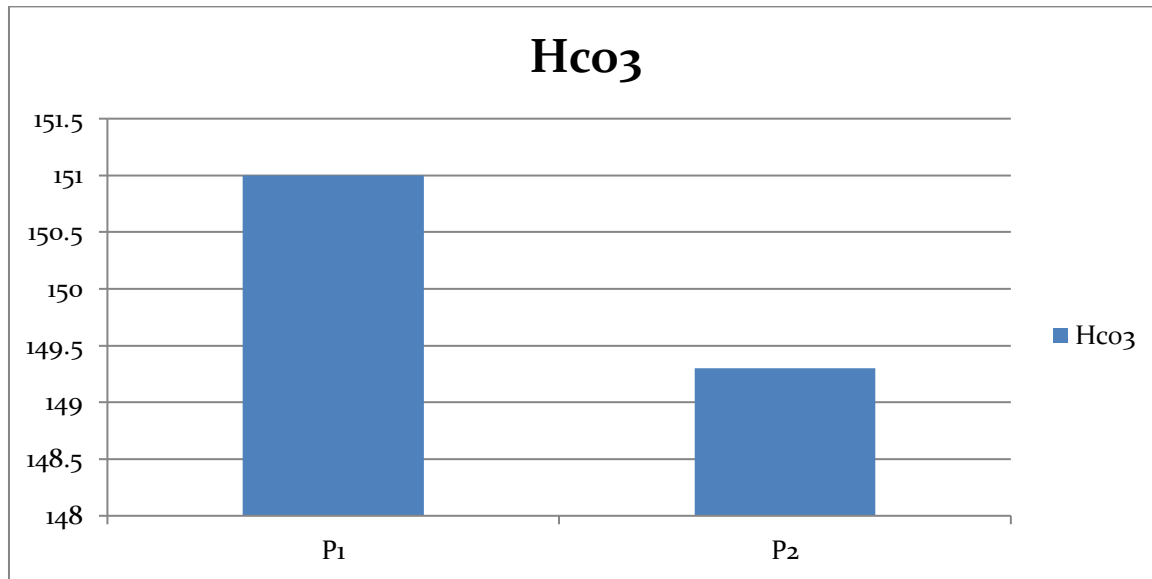


Figure 26: Répartition des concentrations de Hco₃ (mg/l).

3.4.2.5. Les chlorures (Cl⁻)

Les chlorures sont des éléments conservés en solution .il ne subissent aucune interaction eau-roche et ne sont pas dégradés en solution. Ils ont pour origines :

- La dissolution des sols naturels et le lessivage des terrains salifères ;
- Les engrais chimiques et les pesticides utilisés en agriculture ;
- Les rejets des eaux usées d'origines domestique et industrielle.

Les valeurs mesurée dans l'eau de Barrage (96 mg/l) sont au dessous des normes de l'OMS.

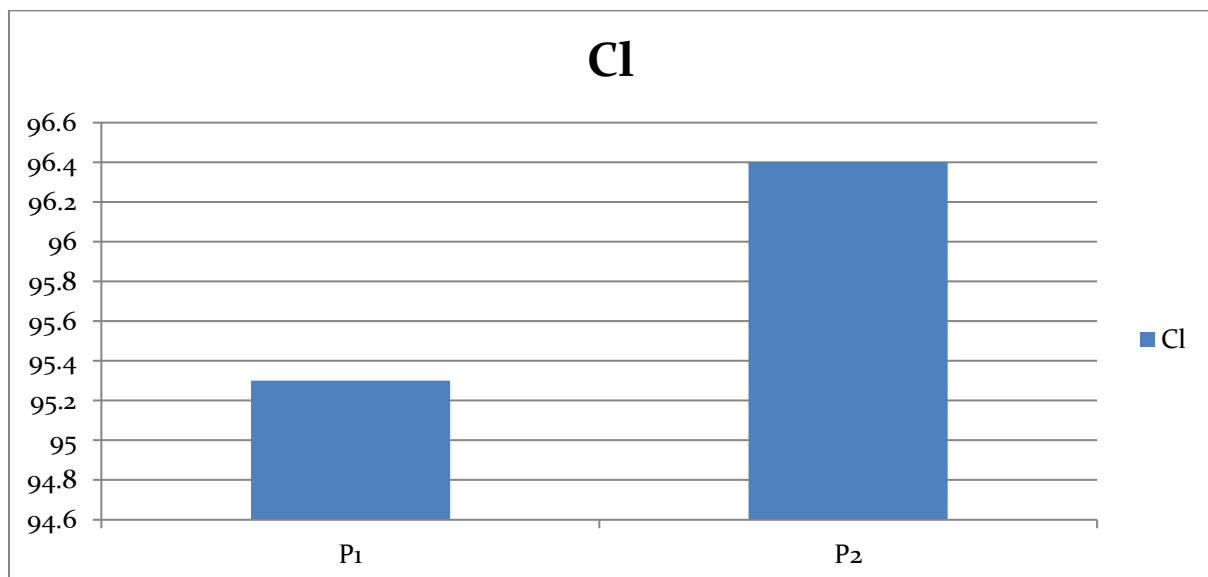


Figure 27: Répartition des concentrations de Cl (mg/l).

3.4.2.6. Les sulfates (SO₄⁻²)

La concentration en sulfates des eaux naturelles des terrains à faibles teneurs en minéraux sulfatés est généralement inférieure à 50 mg/l (soit 1,04 méq/l) (Rodier et al, 1984). L'augmentation des sulfates peut provenir en grande partie de la dissolution des minéraux évaporitiques, de l'oxydation du soufre des roches sédimentaires et/ou de pollution urbaine, industrielle et agricole.

Les concentrations mesurées sur les deux points sont (265 mg/l) la teneur est proche aux normes OMS (250 mg/l) ce qui pourrait traduire l'influence de la saison sèche ou l'absence de la dissolution du gypse (Figure 27).

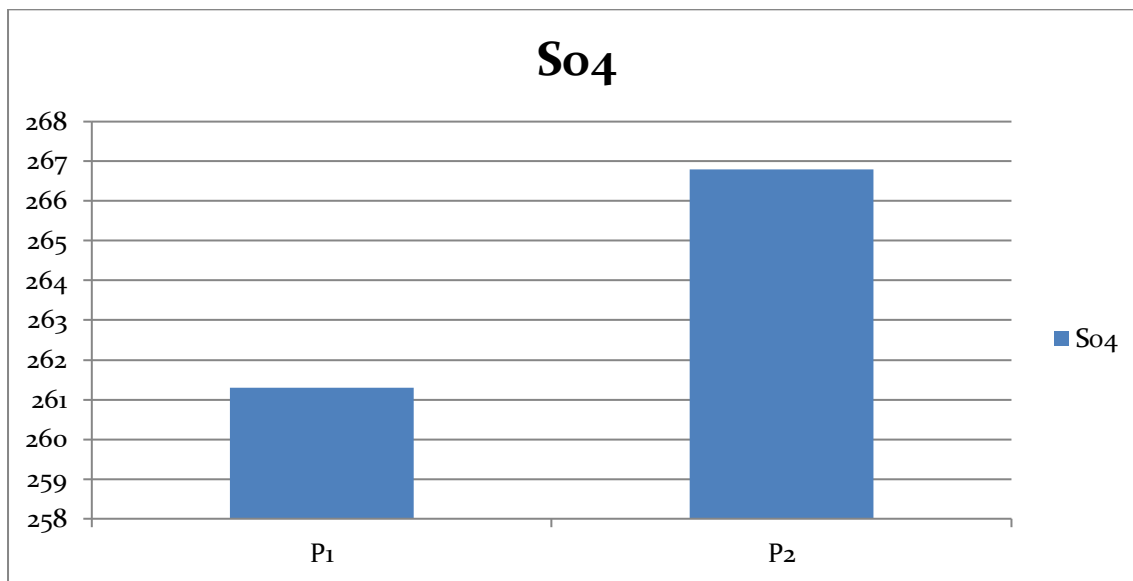


Figure 28: Répartition des concentrations de So₄ (mg/l).

3.4.3. Le faciès chimique des eaux échantillonnées

Les faciès hydrochimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité de permettre une comparaison aisée voire de classer les eaux naturelles selon les échantillons analysés a induit l'utilisation de représentation graphique. De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer, le diagramme à coordonnées rayonnantes, le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff et le diagramme de Piper. Ce sont ces deux dernières représentations graphiques qui ont été retenues et utilisées dans ce travail.

3.4.3.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eaux. Il est composé de deux triangles équilatéraux à la base surmontés d'un losange au milieu permettant de représenter le faciès hydro-chimiques des eaux par rapport à la concentration relatives des cations et des anions. Ce type de diagramme est

particulièrement adapté pour étudier l'évolution du faciès des eaux lorsque la minéralité augmente ou bien pour distinguer des groupes d'échantillons.

Le diagramme de Piper appliqué aux eaux échantillons (Figure 28) montre que les eaux de Barrage ont un faciès sulfatée calcique.

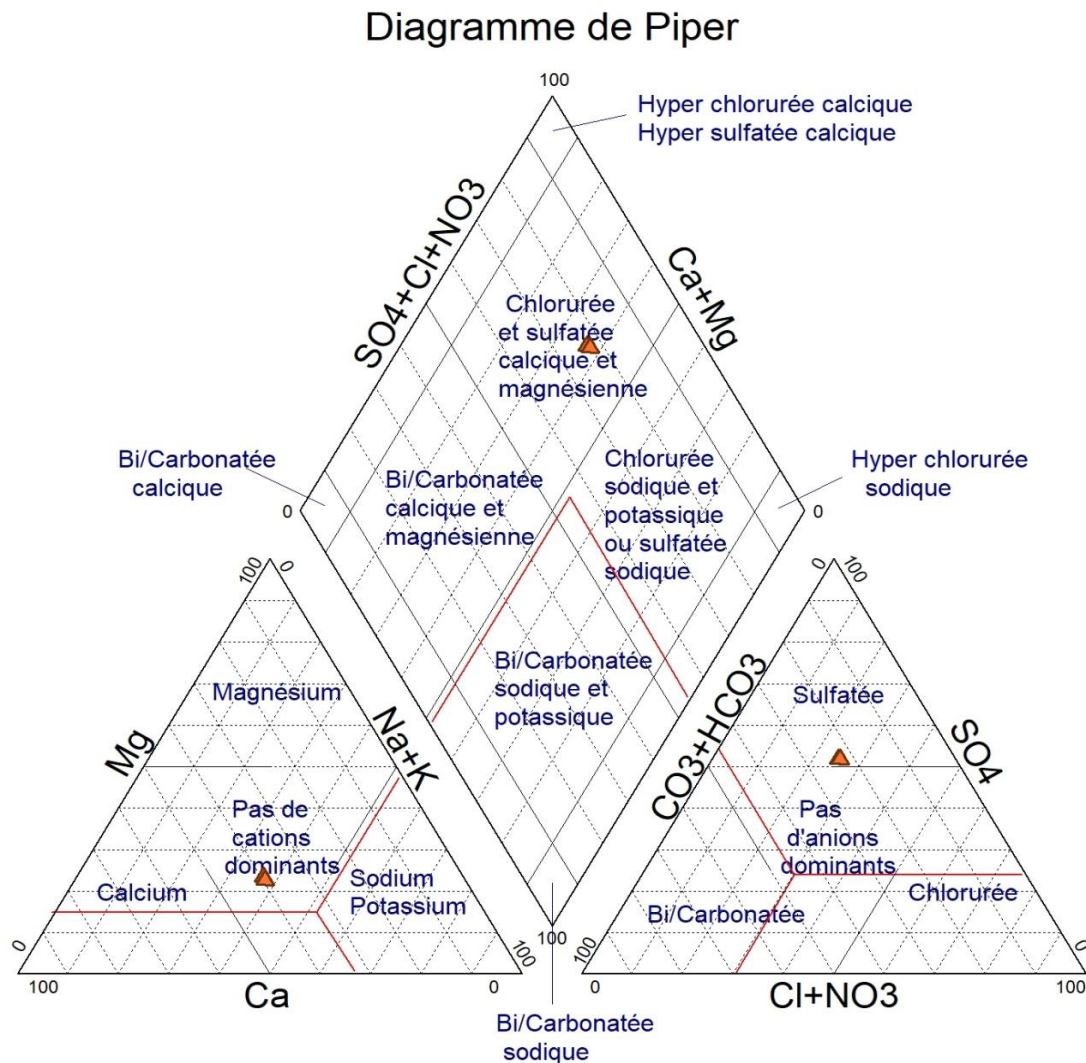


Figure 29: Représentation des eaux sur le diagramme de Piper.

3.4.3.2. Diagramme de Schoëller et Berkalov:

Le diagramme de SchoëllerBerkalov permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques.

Un groupe d'eau de minéralité variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles.

Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence. (Gouiadia, 2008)

Il est ainsi possible de visualiser le faciès chimique, comme pour le diagramme de Piper, mais aussi la minéralisation de l'eau (sa charge dissoute), ce qui est appréciable. Toutefois, la visualisation du faciès est moins aisée qu'avec le diagramme de Piper.

La représentation graphique des résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Figure 29), montre que les eaux sont issues d'un même aquifère.

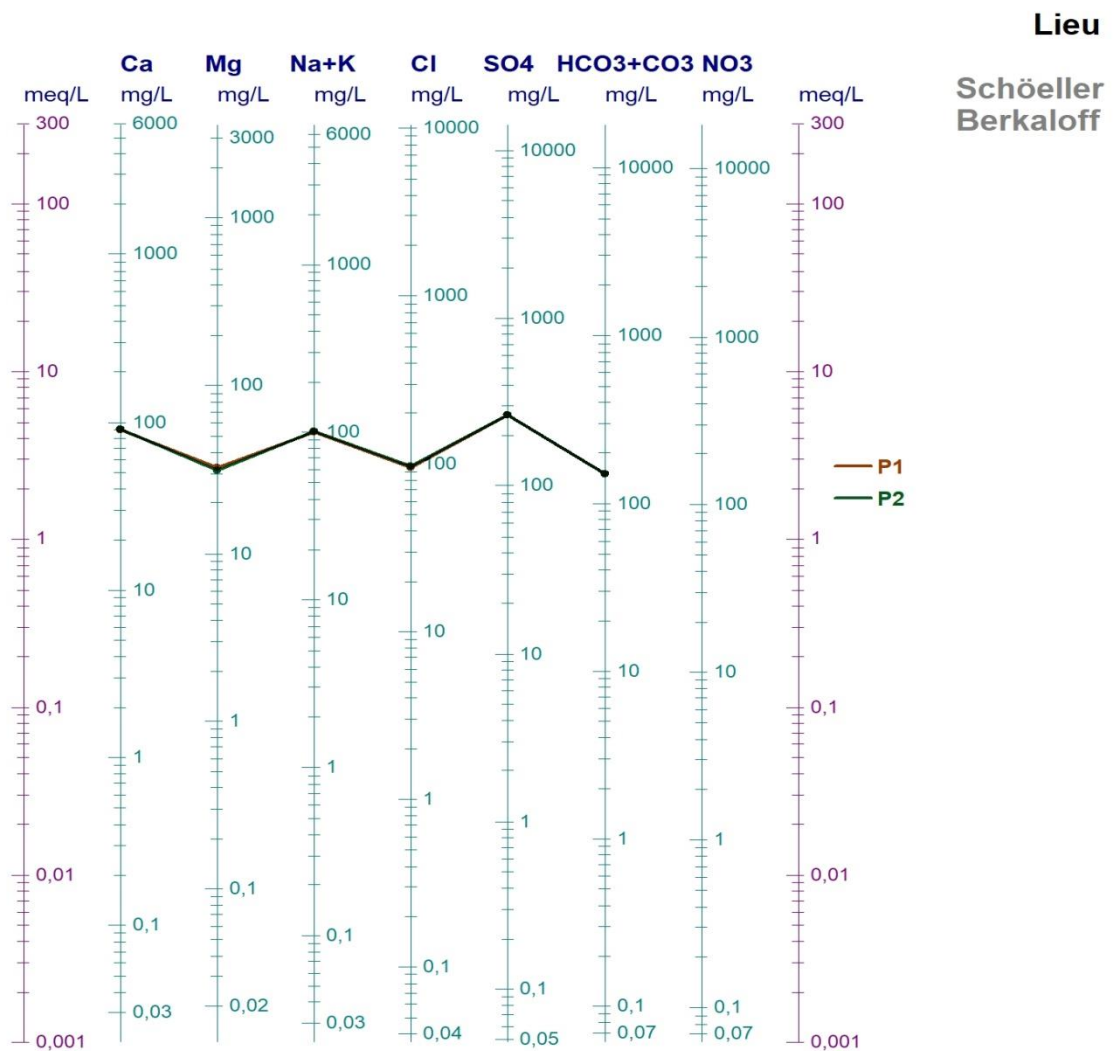


Figure 30 : Représentation des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

3.4.3.3. Diagramme de Stabler

Ce diagramme donne une représentation très claire des résultats des analyses chimiques. Le calcium est l'élément qui domine sur les cations, Pour les anions, c'est le sulfate qui domine ce qui confirme que le faciès est sulfaté calcique. (Figure 31).

Stabler

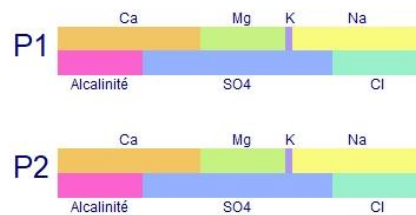


Figure 31 : Représentation des eaux de Barrage sur le diagramme de Stabler.

3.5. Qualité des eaux pour l'irrigation selon Wilcox

L'aptitude des eaux à l'irrigation est ici définie en se basant sur le diagramme de Wilcox, qui permet d'indiquer les zones où les eaux sont utilisables pour l'irrigation selon un critère fondé sur la conductivité et sur le SAR.

Lorsque le SAR est supérieur à 10, le taux de fixation de sodium sur le complexe adsorbant est élevé ce qui provoque une dispersion des argiles. Le sol devient alors compact, imperméable à l'eau et à l'air (Cissé, 2012).

Le pourcentage en ions Na^+ est défini par la relation suivante :

$$\frac{\text{Na}^+}{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+)} \times 100 \quad (\text{Cissé, 2012}).$$

Où tous les ions sont exprimés en méq/l.

Tableau 11 : Classification des eaux à l'irrigation selon Wilcox.

Les classes	La qualité des eaux pour l'irrigation
C1S1	excellente
C1S2	
C1S3	
C2S	Bonne
C2S2	
C2S3	
C3S1	Admissibles; eau de Barrage
C3S2	
C3S3	(fortement minéralisées) ;
C4S1	
C4S2	
C4S3	mauvaise (très minéralisée)

Les eaux de Barrage sont localisées dans la zone zones (C3S1) ce qui exprime que les eaux sont admissibles pour l'irrigation. (Tableau 11), (Figure 31).

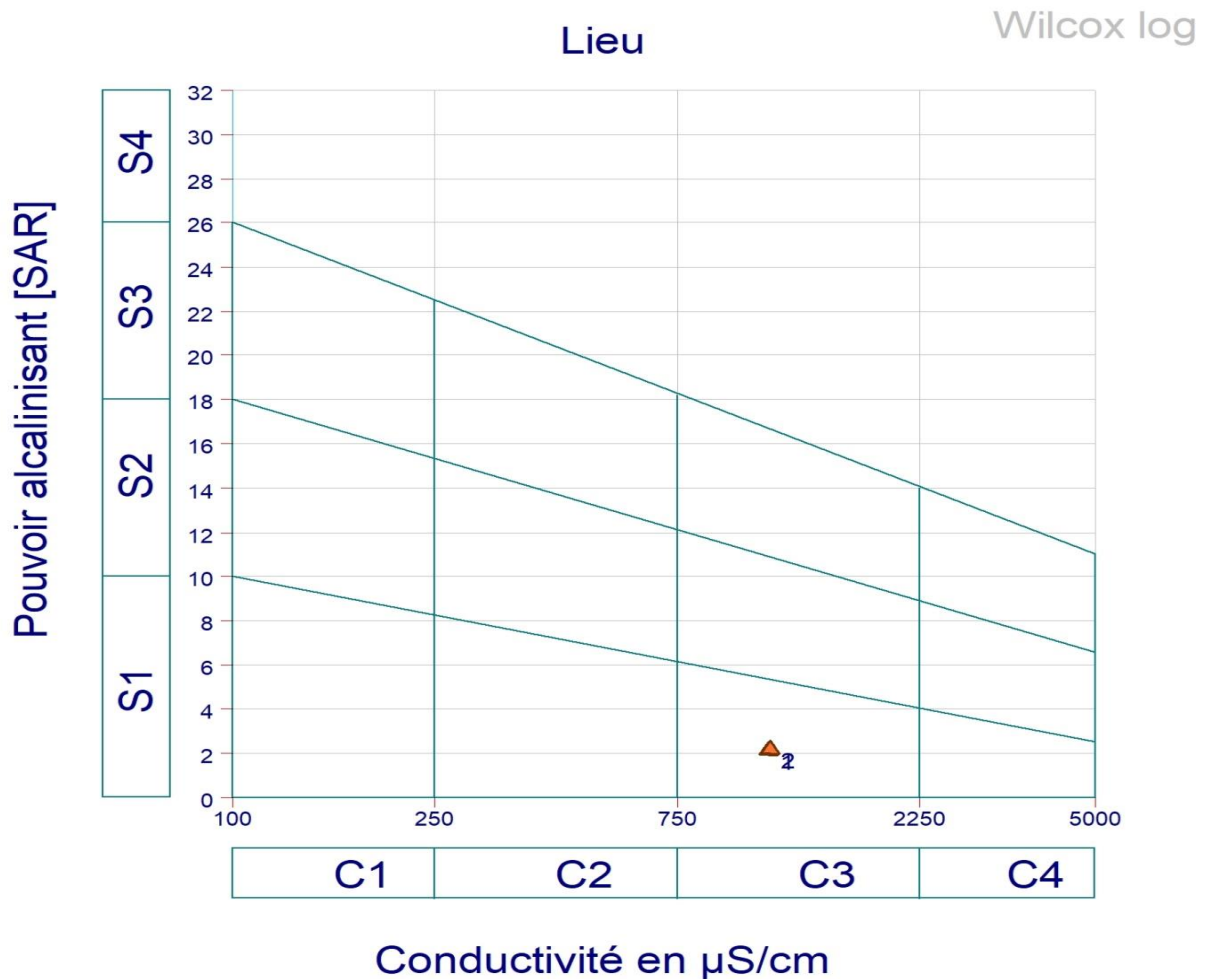


Figure 32 : Représentation des eaux de Barrage sur le diagramme de Wilcox.

Conclusion:

D'après la représentation des résultats sur les diagrammes de Piper et de Stabler, l'eau de Barrage de Timgade possède un faciès chimique Sulfatée calcique;

D'après le diagramme du Schoeller-Berkaloff, on pourrait avancer que les deux sources possèdent une même origine puisque les deux lignes de ont une même évolution.

La classification de Wilcox, qui est utilisée pour estimer si les eaux de Barrage de Timgad peuvent être utilisées pour l'irrigation, on a pu constater que les eaux sont admissibles pour l'irrigation.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Tenant compte de la qualité des eaux de surface qui peuvent être altérée par l'activité humaine qu'elle soit agricole ou industrielle et que l'effet des conditions géologiques, climatiques et hydrogéologiques peuvent les impactées, le but principal de cette étude était l'évaluation physico-chimique de la qualité de l'eau du barrage de Koudiet M'douar (Timgad, Wilaya de Batna). Dans l'objectif d'évaluer la qualité des eaux, on s'est appuyé principalement sur les normes préconisées par l'OMS et l'Algérie pour les eaux potables et la FAO pour l'irrigation. L'interprétation des résultats d'analyses physico-chimiques et organique des eaux du barrage a révélé les constatations suivantes:

- La classification des eaux selon Piper et Schoeller et Berkloff a donnée un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien sur toute la période d'étude.
- La température des eaux étudiées s'étale de 27°C durant la période de prélèvements, ce qui est acceptable pour faire de l'irrigation du périmètre agricole.
- La valeur du pH mesurée est d'environ 7, ce qui indique que le pH est modéré pour toutes les eaux en raison de l'influence de la nature du sol du bassin.
- Les eaux ont une conductivité moyenne de l'ordre de 1141µS/cm, traduisant une minéralisation moyenne.
- Les eaux présentent des valeurs des paramètres physico-chimiques pris en compte conformes aux normes Algériennes de potabilité donc acceptables pour l'alimentation en eau potable.
- Les ions dominants sont le plus souvent les sulfates pour les anions et le calcium pour les cations qui ne dépassent pas la norme algérienne pour les eaux de surface.
- La classification de Wilcox a montré que les eaux du barrage sont de bonne qualité pour l'irrigation agricole.
- Les eaux du barrage de Koudiet M'douar et durant la période d'étude se situent dans la classe : Moyenne-Bonne pour tous les paramètres considérés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Anctil, F., Rousselle, J., & Lauzon, N. (2012).** *Hydrologie: Cheminement de l'eau.* Presses inter Polytechnique.
- **Baziz N., 2017.** Contribution à la caractérisation et modélisation du cycle de l'eau potable et les risques associés dans la wilaya de Batna (Approche par SIG). Thèse de doctorat en géographie et aménagement du territoire. Université Mostafa ben Boulaid Batna 2. 169p.
- **Belkhiri K., 2006.** Contrôle Rapide des Structures en Relation avec le Risque et Evaluation des Dommages Causés par une Catastrophe Naturelle : cas de séisme. Mémoire de Magister en aménagement des milieux physiques. Université de Batna. 91p.
- **Bouanani A. (2005) :** Hydrologie, Transport solide et modélisation, étude de quelques sous bassin de la Tafina.(N-W-Algérie), Doctorat de Etat, université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 250p.
- **Bouha I., 2012.** La ville de Batna, à la recherche d'un schéma de cohérence urbaine, mémoire de Magister en Architecture. Université Mohamed Khider – Biskra. 176p.
- **Boutaleb, S., & Bouchaou, L. (2006).** Étude de faisabilité de la recharge artificielle des formations calcaires en zone semi-aride. Cas de l'oued Tagmoute, (Anti-Atlas occidental, Maroc). In N. Goldscheider, J. Mudry, L. Savoy, & F. Zwahlen (Eds.), Actes du 8e colloque d'hydrogéologie en pays calcaire (pp. 268). Presses universitaires de Franche-Comté. ISBN 2-84867-143-2.
- **Dajoz R. (1985)** Précis D'écologie. Ed. Dunod, Paris. 505 P.
- **Dajoz R. (2003)** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris. 615 p.
- **Gouaidia, L. (2008).** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-est Algérien (Thèse de doctorat). Université Badji Mokhtar-Annaba, Annaba, Algérie.
- **Guettala F-N., 2010.** Entomofaune, Impact Economique et Bio- Ecologie des Principaux Ravageurs du Pommier dans la région des Aurès. Thèse doctorat d'état en Sciences Agronomiques. Université de Batna. 166p.

Références bibliographiques

- **Houadef R, Salem D., (2007).** Monographie écologique de la zone humide du Barrage Koudiet M'daouar (Timgad, Batna) Mémoire d'Ingénieur en Écologie Végétale et Environnement. Université El Hadj Lakhder. Batna. 103p.
- **Houha, B. (2007).** Etude du fonctionnement hydrogéochimique et salin d'un bassin semi-aride : Remila-Khenchela (Doctoral dissertation, University of Annaba, Algeria).
- **Houha, B. (2015).** Using contribution of stable isotopes (18O and 2H) in the estimation of recharging altitudes of thermal sources in Aures massif. Algeria (Dissertation, University of Constantine).
- **Jacob, F., Oliso, A., Gu, X. F., Su, Z., & Seguin, B. (2002).** Mapping surface fluxes using airborne visible, near infrared, thermal infrared remote sensing data and a spatialized surface energy balance model. *Agronomie*, 22, 669-680.
- **Kergreis, A., & Clande, J. (1991).** Utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins versants en zone aride. John Libbey Eurotext.
- **Lambert, R. (1996).** Géographie du cycle de l'eau. Presses universitaires du Mirail.
- **Menchar S. (2013)** Contribution a l'étude de possibilité d'envasement de la retenue de Koudiet Medouar. Mémoire de Master. Univ. de Batna.
- **Vila, J. M. (1977).** Carte géologique de l'Algérie et notices explicatives.
- **Site web:**
- **<https://fr.climate-data-3686/climate-table>**
- **<https://www.infoclimat.fr/climatologie/globale/batna/60468.html>**
- **<https://asal.dz/?p=830>**