

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل -

Université Mohammed Seddik Benyahia-Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : des Sciences de la Terre et de
l'Univers



كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم: علوم الأرض والكون

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique en Géologie

Option : Hydrogéologie

Thème

Étude Qualitative des Données des eaux
du Barrage Béni Haroun. Wilaya de Mila.

Membres de Jury

Président : Pr. DEBIECHE T.H

Examineur : Dr. DROUCHE A.M

Encadrant : Dr. RIHIA Djamel

Co-Encadrant : Dr. DJORFI Samir

Présenté par

M^{elle} KIAS Manal

M^{elle} BELHAINE Ghouzlan

Année Universitaire 2019-2020

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

Remerciements

Ce travail a été réalisé au département des sciences de la terre et de l'univers à l'université de Jijel.

Tout d'abord nous remercions le bon Dieu de nous avoir aidé pour réaliser ce travail.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à notre encadrant Monsieur le Dr. RIHIA Djamel, Maître de conférences à l'université de Jijel pour les orientations et les nombreux conseils, son savoir scientifique, son extrême gentillesse, et sa disponibilité.

Nous remercions d'avance les membres du jury pour l'intérêt qu'ils porteront à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leur proposition.

Avant de terminer, je dois remercier ma famille pour son encouragement, son soutien et sa patience.

Enfin nous souhaitons de remercier vivement tous les enseignants de l'université de Jijel qu'ils nous ont guidés et formés scientifiquement durant les cinq années de notre étude ainsi que les étudiants de ma promotion.

Dédicaces

Dédicaces A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à tous mes sœurs et leurs enfants, je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.

A mon binôme GHOUZLAN et toute la famille BELHAINÉ.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude, et frères de cœur, toi Iman et Khadidja.

KIAS Manal.

Dédicaces

Quoi que de plus que de pouvoir partager les meilleurs moments de notre vie avec les être qu'on aime.

Arrivé au terme de mes études, j'ai le grand plaisir de dédier ce Modest Travail :

A ma mère et mon père qui ont toujours été là pour moi

A celle et ceux qui ont compati ont soutenu moralement

A mes frères (Hichem et sa femme et ses enfants, Djamel, Abd Satar, Zin eddin)

A mes Sœurs (Amira, Sawssen et son marie et ses enfants)

A mes tantes et mes oncles.

A toutes mes amies particulièrement : Asma, Fatima, Soumia, Cilia et Khadidja.

A tous mes collègues et bien sur mon binôme Kias Manel

A mon encadreur : Mr. Rihia Djamel.

A toute la promotion de deuxième année Master Spécialité Hydrogéologie Université Mohammed Seddik Benyahia-Jijel.

BELHAINE Ghouzlan.

Résumé

Le complexe hydraulique de Béni-Haroun demeure une réalisation stratégique majeure dans le programme du développement du secteur des ressources en eau. Cet énorme édifice, sert à satisfaire les besoins de six wilayas de l'Est Algérien ainsi que vers des régions limitrophes ayant souffert de manque de l'eau de consommation, notamment en période estivale.

L'objectif principal de cette présente étude était d'évaluer la qualité physico-chimique de l'eau du barrage de Béni Haroun situé en aval de la confluence de Oued Rhumel et Oued Enndja au Nord de la région de Grarem Gouga, wilaya de Mila. Un suivi mensuelle pour une durée sept mois (Décembre 2017 -Août 2018) a été réalisé par le service de l'ANRH de Constantine. Les résultats obtenus nous a montrés un caractère des eaux alcalin .Les teneurs des sels nutritifs restent généralement dans les normes de potabilité. L'oxygène dissous indique des eaux bien oxygénées, et une DBO₅ (demande biologique en oxygène) indique une eau de bonne qualité. Le rapport de DBO₅ /DCO montre qu'une grande partie de la matière organique est difficilement biodégradable. Ce que indique que les eaux du barrage de béni Haroun ont une qualité bonne a moyenne avec un niveau de pollution très réduit.

Mots clés : Barrage Béni Haroun, qualité des eaux, bassin versant, eaux de surface, pollution organique.

Abstract

The hydraulic complex of Beni-Haroun remains a major strategic achievement in the program of development of the sector of water resources. This huge building, used to meet the needs of six Wilaya in eastern of Algeria as well as to neighboring regions have suffered from poor of drinking water, especially during summer. The main objective of this study was to estimate the physico-chemical quality of the water of the Béni Haroun dam located downstream of the confluence of the two rivers, Rhumel and Enndja in the North of Grarem Gouga region, province of Mila. The study region characterized by a subhumid climate, with two different seasons, the first is a humid and cold in winter, and the second is a hot and dry in summer. A sample of the dam water was taken monthly during a seven-month period from December 2017 to August 2018. The results obtained allowed as to conclude that the pH is alkaline; the contents of the chemical elements of the dam water were generally below of the potability guidelines. The dissolved oxygen level reflects well-oxygenated water, and a BOD₅ (biological oxygen demand) indicates the good quality water. Whereas, the COD, (chemical oxygen demand) organic matter and nutrients concentrations, as well as, the phosphate reflected a medium quality water. Finally, our study revealed that the water from the Béni Haroun dam was of good to medium quality, with a very low level of pollution correlated with the results of previous work. However, this quality remains influenced by climatic and anthropogenic factors.

Keywords: Béni Haroun dam, water quality, watershed, surface water, standards, Mila.

التلخيص

يظل مجمع بني هارون الهيدروليكي إنجازاً استراتيجياً رئيسياً في برنامج تنمية قطاع الموارد المائية. يستخدم هذا المبنى الضخم لتلبية احتياجات ست ولايات بشرق الجزائر وكذلك المناطق المجاورة التي تعاني من نقص مياه الشرب خاصة خلال فصل الصيف. كان الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه من سد بني هارون الواقع عند مصب ملتقى وادي رمال ووادي النجا في شمال منطقة قرارم قوقة بولاية ميللة. تمت متابعة شهرية لمدة سبعة أشهر من ديسمبر 2017 حتى أغسطس 2018 من قبل مصلحة الموارد المائية في قسنطينة. النتائج التي تم الحصول عليها أظهرت لنا طبيعة المياه قلبية. تبقى مستويات الأملاح الغذائية بشكل عام ضمن معايير القابلية للشرب. يشير الأوكسجين المذاب إلى ماء مؤكسج جيداً، ويشير الطلب البيولوجي على الأوكسجين خلال خمسة أيام إلى ان المياه جيدة النوعية. تُظهر نسبة الطلب على الأوكسجين البيولوجي والطلب الكيميائي على الأوكسجين أن جزءاً كبيراً من المادة العضوية غير قابل للتحلل البيولوجي. وهذا يدل على أن مياه سد بني هارون ذات جودة جيدة إلى متوسطة مع مستوى منخفض للغاية من التلوث.

الكلمات المفتاحية: سد بني هارون، نوعية المياه، مستجمعات المياه، المياه السطحية، التلوث العضوي.

SOMMAIRE

REMAIRCIMENT

DEDICASES

SOMMAIRE

LISTE DE FIGURES

LISTES DE TABLEAUS

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : SITUATION GEOGRAPHIQUE

1. Introduction 3

2. Présentation de la wilaya de Mila 3

3. Bassin du Kébir- Rhumel 4

4. Barrage de Beni Haroun 6

5. Le couvert végétal 7

6. socio-économique..... 7

7. Conclusion 8

CHAPITRE II : CONTEXE GEOLOGIQUE

1. Introduction 9

2. La géologie régionale 9

2.1. Le domaine kabyle 9

2.2. Le domaine des flyschs 10

2.3. Le domaine externe ou domaine Tellien 10

2.3.1. Description lithologique des formations tellienne de la transversale 10

2.4 Les Séries numidiennes 12

2.5 Les formations néogènes 12

3. Structures tectoniques régionales 12

4. Géologie du site de barrage ... 14

4.1. Lithologie du site du barrage 14

| | |
|--|----|
| 4.2 Structure tectonique du site du barrage de Beni Haroun | 17 |
| 4.3 Capacité de perméabilité des formations lithologiques..... | 19 |
| 4.3.1 Les formations perméables..... | 19 |
| 4.3.2 Les formations imperméables | 19 |
| 5. Conclusion..... | 20 |

CHAPITRE III : HYDROCLIMATOLOGIE

| | |
|--|----|
| 1. Introduction | 22 |
| 2. Facteurs climatiques | 22 |
| 2.1. Précipitations..... | 22 |
| 2.1.1. Précipitations moyennes mensuelles | 22 |
| 2.2. Température | 22 |
| 2.2.1. Températures moyennes mensuelles | 23 |
| 3. Diagramme Ombrothermique (Pluvio- thermique)..... | 23 |
| a-Station de Mechtat Serradj | 24 |
| b-Station de Hamala | 24 |
| c-Station d'El Kheneg | 25 |
| 4. Bilan hydrologique..... | 25 |
| 4.1. Détermination des paramètres du bilan | 26 |
| 4.1.1. Évapotranspiration | 26 |
| 4.2. Estimation et Interprétation du bilan hydrologique..... | 27 |
| 4.2.1. Ruissellement (R)..... | 31 |
| 4.2.2. Infiltration (I)..... | 32 |
| 5. Conclusion..... | 33 |

CHAPITRE IV : HYDROLOGIE

| | |
|--|----|
| 1. Introduction | 34 |
| 2. Bassin versant du barrage Béni Haroun | 34 |
| 2.1. Caractéristiques morpho métriques du bassin versant | 34 |
| 2.1.1. Les indices de taille et de forme | 34 |
| a- Surface..... | 34 |
| b- Longueur | 34 |
| c- Périmètre | 35 |
| d- Indice de Gravelius (Kc)..... | 35 |
| 2.1.2 Indices des pentes et des reliefs..... | 35 |
| a- Reliefs | 35 |
| b- Les pentes..... | 38 |
| 2.1.3. Caractéristiques du réseau hydrographique..... | 40 |
| 3. Conclusion..... | 43 |

CHAPITRE V : HYDROCHIMIE

| | |
|--|----|
| 1. Introduction | 44 |
| 2. Étude les différents paramètres physico-chimiques | 44 |
| 2.1 Variations temporelles des paramètres | 44 |
| 2.1.1 Le potentiel hydrogène « PH »..... | 44 |
| 2.1.2. Résidu sec..... | 45 |
| 2.1.3. Oxygène dissous OD | 46 |
| 2.1.4. Cycle d'azote..... | 47 |
| A. L'Azote ammoniacal (NH_4^+) | 48 |
| B. les Nitrites (NO_2^-) | 49 |
| C. Les Nitrates (NO_3^-) | 49 |

| | |
|---|----|
| 2.1.5 Phosphate (PO_4^{-3}) | 50 |
| 2.1.6 Demande biochimique en oxygène (DBO_5)..... | 51 |
| 2.1.7 Demande chimique en oxygène (DCO) | 51 |
| 2.1.8 La matière organique MO | 52 |
| 2.1.9 Le rapport DCO/ DBO_5 | 53 |
| 2.1. Variations des différents paramètres en fonction du Volume | 54 |
| 2.2.1 Résidu Sec/Volume | 54 |
| 2.2.2 Volume / NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{-3} ETO _{2d} | 55 |
| 2.2.3 Volume / DBO_5 , DCO, MOetO _{2d} | 57 |
| 2.3. La classification des eaux du barrage..... | 58 |
| 3. Conclusion..... | 60 |
| Conclusion générale | 61 |
| Référence bibliographique | |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 01 : Carte de découpage administratif (Nord-Est Algérien)..... | 3 |
| Figure 02 : Situation du Bassin versant de Kébir-Rhumel (Atamnia DJ., 2010)..... | 5 |
| Figure 03 : Bassin versant de Barrage Beni Haroun | 6 |
| Figure 04 : Carte et coupe structurale schématique de la chaîne des maghrébides montrant la disposition des zones internes et externes (M. Durand Delga et Fontboté ; 1980) | 9 |
| Figure 05 : Colonne litho-stratigraphique des séries telliennes du Sud d'El Milia a Béni Haroun..... | 12 |
| Figure 06 : Géologie locale du barrage de Beni Haroun (d'après Harza, 1986)..... | 15 |
| Figure 07 : Coupe géologique montrant la position de site du barrage sur le tellien effondré (coupée)..... | 15 |
| Figure 08 : Log litho- stratigraphique du site Beni Haroun (D'après R. marmi, M. kacimi, M. boularak)..... | 17 |
| Figure 9 : Position des stations climatiques | 21 |
| Figure 10 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de trois stations (1980-2019). | 22 |
| Figure 11 : Variation des températures moyennes mensuelles de trois stations (1980- 2019)..... | 23 |
| Figure 12 : Diagramme Ombrothermique de la station de Mechtat Serradj (1980- 2019) | 24 |
| Figure 13 : Diagramme Ombrothermique de la station de Hamala (1980- 2019) | 24 |
| Figure 14 : Diagramme Ombrothermique de la station d'El Kheneg (1980- 2019) | 25 |
| Figure 15 : Représentation graphique du bilan de C .W. Thornthwaite à la station de Mechtat Serradj (1980-2019) | 28 |
| Figure 16 : Représentation graphique du bilan de C .W. Thornthwaite à la station de Hamala (1980-2019) | 29 |
| Figure 17 : Représentation graphique du bilan de C .W. Thornthwaite à la station d'El Kheneg (1980-2019) | 30 |

| | |
|---|----|
| Figure 18 : Carte de Relief du bassin versant Beni Haroun en UTM.WGS84 (Brahmi S.) | 36 |
| | |
| Figure 19 : Courbe hypsométrique de la zone d'étude..... | 38 |
| Figure 20 : Carte de pente du bassin versant béni Haroun en UTM. WGS84. (Brahmi,S.) | 39 |
| Figure 21 : Carte du Réseaux Hydrographique BV Oued Rhumel | 40 |
| Figure 22 : Variation mensuelle de Potentielle hydrogène des eaux du Barrage Béni Haroun..... | 45 |
| Figure 23 : Variation mensuelle de résidu sec des eaux du Barrage Béni Haroun | 46 |
| Figure 24 : Variation mensuelle d'oxygène dissous des eaux du Barrage Béni Haroun .. | 47 |
| Figure 25 : Cycle d'azote (Zsolnay A, Baigar E, Jimenez M, et al. 1999) | 48 |
| Figure 26 : Variation mensuelle de L'Azote ammoniacal des eaux du Barrage Béni Haroun | |
| | 48 |
| Figure 27 : Variation mensuelle du Nitrite des eaux du Barrage Béni Haroun..... | 49 |
| Figure 28 : Variation mensuelle du Nitrate des eaux du Barrage Béni Haroun..... | 50 |
| Figure 29 : Variation mensuelle du Phosphate de l'eau du Barrage Béni Haroun..... | 50 |
| Figure 30 : Variation mensuelle de la demande biochimique en oxygène de l'eau du Barrage Béni Haroun..... | 51 |
| Figure 31 : Variation mensuelle de la demande chimique en oxygène de l'eau du Barrage Béni Haroun | 52 |
| Figure 32 : Variation mensuelle de la matière organique des eaux du Barrage Beni Haroun | |
| | 53 |
| Figure 33 : Évolution de la teneur en DCO/DBO ₅ en fonction du temps | 54 |
| Figure 34 : Évolution de résidu sec en fonction du volume de barrage de béni Haroun .. | 55 |
| Figure 35 : Évolution des éléments nutritifs en fonction du volume de barrage de béni Haroun..... | 56 |
| Figure 36 : Évolution des paramètres de la qualité en fonction du volume de barrage de béni Haroun | 57 |

LISTE DE TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau1 : Les sous bassins et leurs superficies (Marouf. N ,2012)..... | 5 |
| Tableau2 : les principales unités industrielles dans le bassin Kébir Rhumel (ABH 2009) 8 | |
| Tableau 3 : Les coordonnées géographiques des stations de surveillance | 21 |
| Tableau 4 : Bilan Hydrique selon Thornthwaite de la station de Mechtat Serradj (1980-2019)..... | 27 |
| Tableau 5 : Bilan Hydrique selon Thornthwaite de la station de Hamala (1980-2019).... | 29 |
| Tableau 6 : Bilan Hydrique selon Thornthwaite de la station d'El Kheneg (1980-2019) 30 | |
| Tableau 7 : Résultats du Ruissèlement pour les stations étudié (1980-2019)..... | 32 |
| Tableau 8 : Estimation de l'Infiltration par l'équation globale du bilan hydrique pour les stations étudié (1980-2019)..... | 32 |
| Tableau 9 : détermination de la courbe hypsométrique (Benchabane. N, 2015) | 37 |
| Tableau 10 : classification des reliefs d'après O.R.S.T.O.M. | 39 |
| Tableau11 : Récapitulatif des paramètres morphométriques du bassin versant de Béni Haroun. (Paramètres calculés à partir des cartes topographiques au 1/50 000, d'après A.N.R.H., Alger, modifiée)(In Brahmi S.)..... | 42 |
| Tableau12 : Grille de qualité des eaux de barrages adoptée par l'ANRH 2009 | 58 |
| Tableau 13 : Classification de qualité des eaux de barrage béni Haroun par apport à la grille adoptée par l'ANRH 2009 | 60 |



Introduction Générale

Introduction générale

"L'eau n'est pas nécessaire à la vie, elle est la vie ", C'est la base de notre alimentation, de notre hygiène, de nos modes de vie quels soient. L'eau recouvre 70% de la surface de notre planète : elle peut se trouver sous différents états physiques : solide, liquide et gazeuse ; ces changements d'état peuvent être illustrés par le cycle de l'eau en milieu naturel.

L'eau douce est une ressource essentielle tant pour le développement humain que pour le maintien des écosystèmes .Or, les zones en situation de risque hydrique, où l'eau s'avère insuffisante en qualité ou en quantité, s'étendent et ce phénomène pourrait être exacerbé par le changement climatique.

Nous sommes donc déterminés à préserver cette ressource et cherchons constamment la performance de nos unités.

En Algérie, en raison de la croissance incessante des besoins en eau douce qui dépassent les ressources naturelles conventionnelles, la mobilisation des eaux superficielles reste l'une des préoccupations capitales des pouvoirs publics. En effet un programme de construction de barrage a été lancé dès les années 80. Cependant la qualité des eaux est extrêmement variable et dépend de différents facteurs. Raison pour laquelle l'Agence National des Bassin versant a établi en 2009 une grille de classification de la qualité des eaux superficielles.

Le barrage de Béni Haroun est un grand complexe hydraulique stratégique en Algérie, Classé le deuxième grand barrage d'Afrique après Al Sad El Alli d'Egypte ; C'est l'un des 85 barrages en exploitation que compte actuellement notre pays .Avec une capacité de 960 millions de mètres cubes et une hauteur de 120 m, elle est constitué d'une digue renforcée de 1,5 million de m³ de béton roulé compact. Elle est située dans la Wilaya de Mila au Nord-Est de l'Algérie. Les eaux du barrage de Béni Haroun, sont destinées à l'alimentation en eau potable de quatre millions d'habitants, répartis sur les wilayas de Constantine, Mila, Jijel, Batna, Oum El Bouaghi et Khenchela .En plus il fournit également une quantité important d'eau pour l'irrigation. [3]

Pour mieux comprendre et précise les caractéristiques des eaux de barrage béni Haroun, il est nécessaire de faire une étude hydro chimique pour juger la qualité des eaux de la région.

Le travail que nous présentons structurée comme suit :

- ✚ le premier chapitre, un aperçu sur la localisation et les caractéristiques du site d'étude.
- ✚ Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude du contexte géologique, structurale et tectonique de la région.
- ✚ le troisième chapitre on a évalué à l'aide d'une étude hydro climatologique les différentes termes du bilan hydrique, on d'appuyant essentiellement sur les données pluviométriques et de températures. Il est devisé en deux titres :

- Les facteurs climatiques.

Introduction générale

- Le bilan hydrique.
- ✚ Le quatrième chapitre s'intéresse de l'étude hydrologique, qui concerne les caractéristiques du bassin versant de Kébir-Rhumel, Relief, pentes, réseaux hydrographique.
- ✚ Le dernier chapitre sera consacré à l'étude hydrochimique des eaux de barrage béni Haroun à travers la représentation graphique des résultats, puis l'interprétation des résultats pour chaque éléments et déterminer sa qualité.
- ✚ Et en termine par une conclusion générale.

A decorative graphic of a scroll, oriented horizontally. The scroll is white with a black outline and features three grey, semi-circular elements at the top corners, representing the rolled-up ends of the scroll. The text is centered within the main body of the scroll.

Chapitre I
Situation géographique

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons montrer la situation géographique et les caractéristiques du site de barrage de Beni Haroun.

2. Présentation de la wilaya de Mila

La wilaya de Mila est située au Nord-Est de l'Algérie. Elle est limitée : par la wilaya de Jijel et Skikda au Nord, de l'Ouest par la wilaya de Sétif, à l'Est par la wilaya de Constantine et au Sud par la wilaya de Batna et Oum El Bouaghi. Elle s'étend sur une superficie de 9373km². (Fig. 1)

La wilaya de Mila renferme beaucoup de potentialités en matière de développement locale et régional. Elle dispose d'un équipement de grande hydraulique qui devrait la transformer. C'est le Barrage de Beni Haroun.

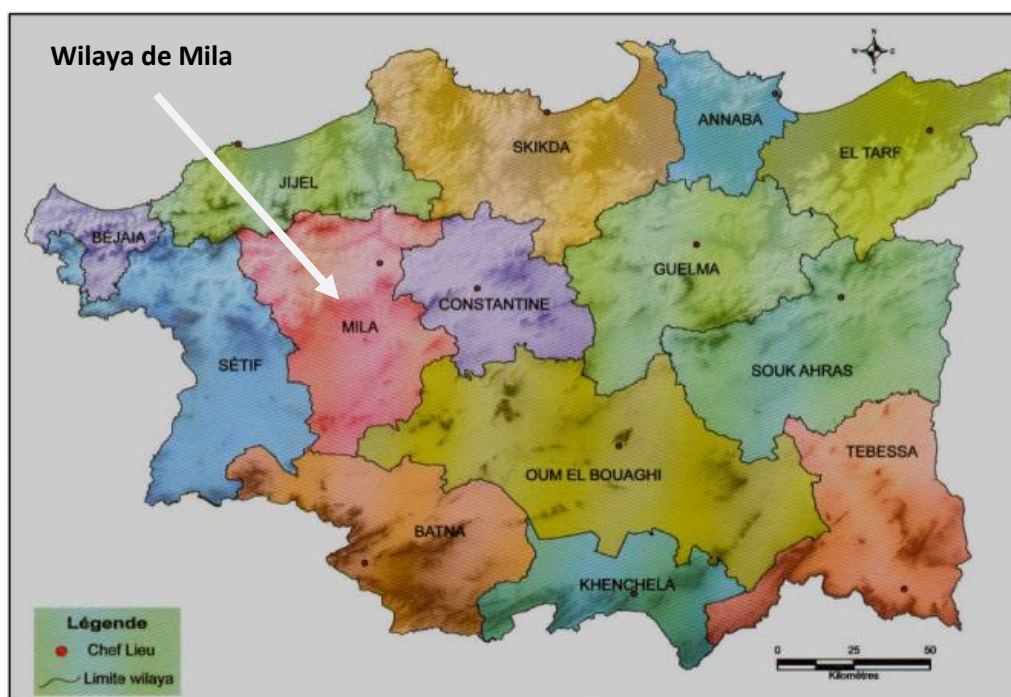


Fig.1 : Carte de découpage administratif (Nord-Est Algérien)

3. Bassin du Kébir- Rhumel

Le bassin du Kébir- Rhumel couvre une superficie de 8811 km². Qui s'étale entre la mer méditerranéenne au Nord et les hautes plaines des Chotts au Sud, il est limité naturellement par :

- le bassin des côtières Constantinoises au Nord,
- le bassin des hauts plateaux constantinois au Sud,
- les bassins de l'Algérois- Hodna- Soummam A l'Ouest,
- le bassin de Seybouse A l'Est. (Fig.2)

Le bassin de Kébir –Rhumel comporte trois barrages : Barrage de Beni Haroun, Hammam Grouz et Berla. Cette entité est composée de trois grandes zones hydrographiques distinctes :

- une zone méridionale « les Hautes Plaines » correspondant au bassin de l'oued Rhumel

Amont et son principal affluent, l'oued Boumerzoug (4 247 km²) ;

- « Piémont Sud-tellien oriental » c'est la zone hyperboréenne Est de simplification au bassin inférieure de Rhumel avec son affluent l'oued Smendou jusqu'à confluence avec oued Enndja (sous bassin de Rhumel Smendou 1 085 km²)

- une zone septentrionale Ouest « Piémont Sud-tellien occidental » s'étend du bassin l'oued Enndja jusqu'à la confluence l'oued Rhumel (sous-bassins de Dehamcha-Kébir

Amont et Kébir-Enndja : 2 146 km²).

-La zone de « massifs telliens du Nord » s'accroît de l'aval de la confluence Rhumel Enndja jusqu'au site du barrage sur l'oued El Kébir, elle abrite une surface de 247 km² [4].

Le tableau 1 représente les surfaces des sous bassin du bassin versant de Kébir Rhumel.

Tableau 1 : Les sous bassins et leurs superficies (Marouf N., 2012)

| Nom du sous Bassin | Superficie (km ²) |
|------------------------|-------------------------------|
| Oued Dehamecha | 1067 |
| Oued Kébir Ennjda | 1102 |
| Oued Rhumel Amont | 1241 |
| Oued Rhumel Seguin | 1150 |
| Oued Boumerzoug | 1835 |
| Oued Rhumel Semndou | 1091 |
| Oued Kébir Marithine | 1339 |

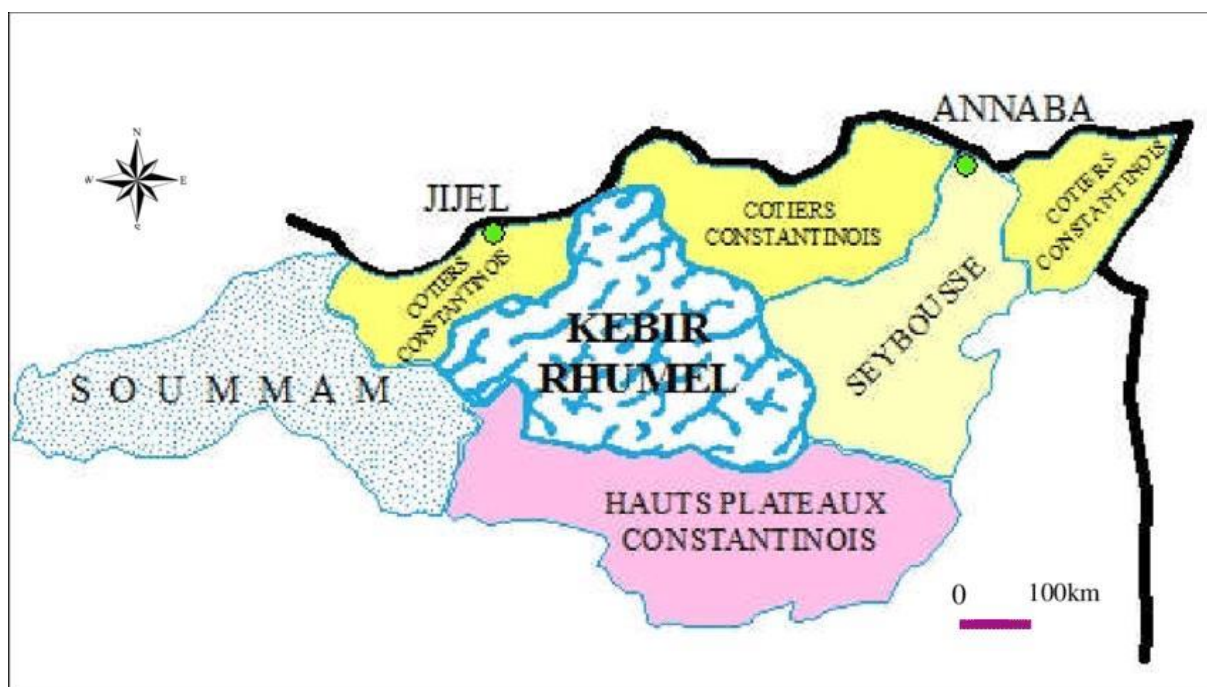


Fig. 2 : Situation du bassin versant de Kébir-Rhumel (Atammia Dj., 2010)

4. Barrage de Beni Haroun

Le barrage de Beni Haroun est le grand complexe hydraulique en Algérie et le seconde du continent Africain (après le barrage d'Al Sad El Alli en Egypte). Situé sur l'oued El-Kébir dans la wilaya de Mila au Nord-Est de l'Algérie à des coordonnées géographiques (36°33'19" N ; 6°16'11" E). Il est construit à la confluence du oued Rhumel et oued Enndja au Nord – Ouest de la région de Grarem. Il est distant de quarantaine de Kilomètres au nord du Constantine et à une même distance à l'embouchure de l'oued Kébir (Mer Méditerranée) ; sa mise en exploitation était en Aout 2003. (Fig.3)

Le barrage de Beni Haroun est de type poids en Béton compacté rouleau ; avec une capacité de 960 millions m³ et d'une hauteur de 118 m au-dessus des fondations, le barrage mobilise les eaux d'oued Rhumel, oued Enndja et oued Smendou. En février 2012, le barrage reçoit un volume d'eau de 1 milliard de m³ [16].

Il couvre une superficie de 5320 km², représentant plus 60% de la superficie totale du bassin versant de Kébir Rhumel.

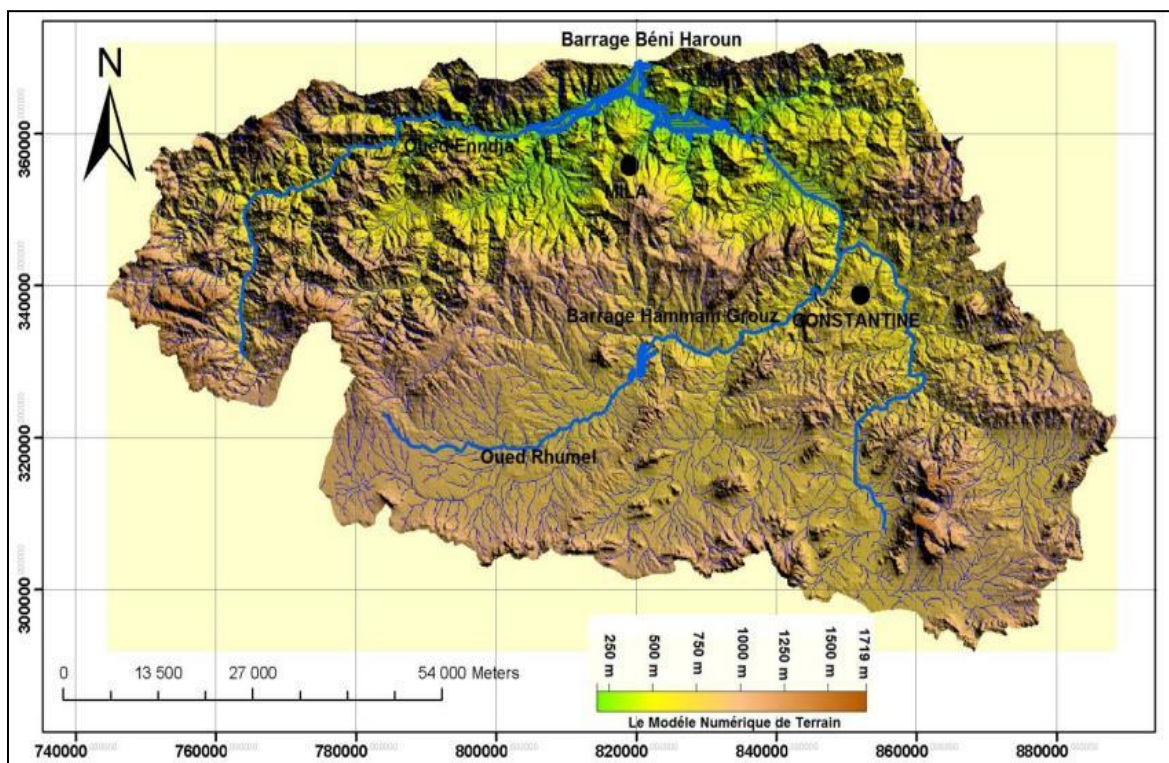


Fig. 3 : Bassin versant de Barrage Beni Haroun.

5. Le couvert végétal

La végétation joue un rôle protectif de la terre contre tous les phénomènes climatiques. Son absence rend la terre lâche et exposée à l'érosion. En revanche, la présence de la couverture végétale augmente l'infiltration d'eau dans le sol, et aussi, atténue les conséquences des pluies torrentielles.

Le bassin versant de Beni Haroun est caractérisé par un faible couvert végétal, le sol est presque nue, sauf quelques zones où se maintient des maquis, quelques plantes aux montagnes et quelques plantes romarins, l'autre part sont des propriétaires privées destinés à l'agriculture des légumes et des arbres fruitiers. Ces caractéristiques favorisent le phénomène de l'érosion du terrain soit par les pluies ou par l'irrigation. Donc, le traitement sérieux du bassin de Beni Haroun en termes de reboisement et corrections torrentielles est plus qu'obligatoire, pour minimiser au maximum l'érosion, afin de protéger les ouvrages hydrauliques contre l'envasement et conserver la fertilité du sol [11].

La végétation augmente la durée de séjour de quelques types de pollution (ex : hydrocarbures).

6. Socio-économique

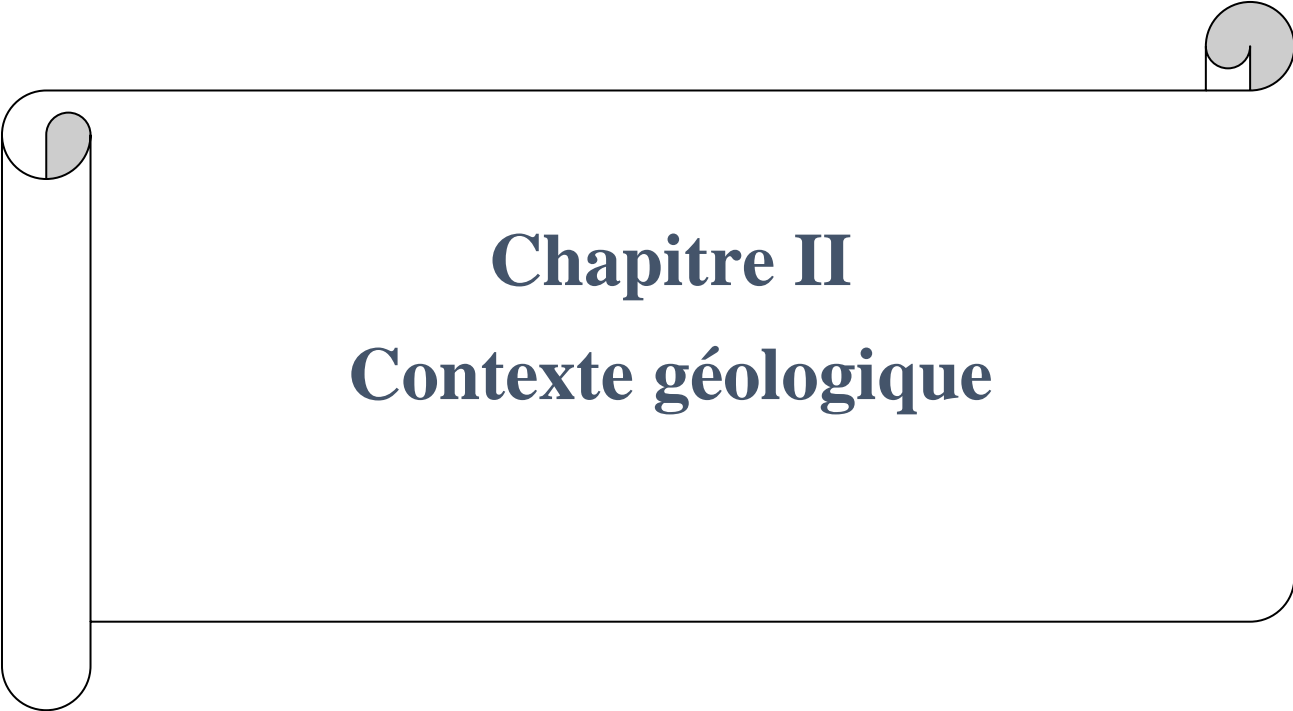
La compréhension et l'interprétation du phénomène de pollution et de ses diverses origines ne peut être dissocié de l'aspect socio-économique dans cette région d'étude. La ville de Constantine considérée comme la plus grande ville dans le bassin versant du barrage de béni Haroun, abrite 938475 habitants selon le recensement de 2008. L'agglomération regroupe un tissu industriel important et varié. Citons à titre d'exemple les industries de construction mécanique d'Ain Smara et d'Oued Hamimime, les unités de textile d'Iben Badis, le dépôt d'hydrocarbures d'ElKhroub, la cimenterie de Hamma Bouziane, les unités de matériaux de construction et bien d'autres. (Tableau 2). L'oued Rhumel est l'unique récepteur alimentant le barrage de Béni Haroun, et il est actuellement gravement menacé par les rejets diffus et nocifs provenant de ces structures industrielles malgré l'existence de la station d'épuration Ibn Ziad [3].

Tableau 2 : Les principales unités industrielles dans le bassin Kébir-Rhumel (ABH., 2009).

| Lieu d'implantation | Type d'activité | Lieu d'implantation | Type d'activité |
|---------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| Chelghoum Laid | Détergents | El Khroub | Le dépôt d'hydrocarbures |
| Ain Smara | Pelle, grues, compacteur | IbenBadis | les unités de textiles |
| Oued Athmania | Céramique | Hamma Bouziane | la cimenterie |
| Mila | Briques | Mila | Céramique |

7. Conclusion

Le bassin de Beni Haroun couvre une surface de 5320 km², soit plus de 60 % de la superficie du grand bassin du Kébir Rhumel dont il fait partie. La région d'étude caractérisée par un couvert végétal très faible. Il contient des arbres fruitiers, des herbes et quelques arbres d'eucalyptus. Du fait que, la plupart du sol du bassin de béni Haroun est presque nue. Il présente un milieu favorable à l'érosion du terrain surtout lors des pluies torrentielles.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and rounded corners on the right. The text is centered within this scroll.

Chapitre II
Contexte géologique

1. Introduction

La composition chimique des eaux superficielles, est liée à la solubilité et de l'altération des éléments de la roche. Pour une meilleure connaissance des différentes caractéristiques chimiques de ces eaux, il est indispensable de donner un aperçu plus ou moins détaillé sur l'aspect géologique du terrain.

2. La géologie régionale

Le barrage de Béni Haroun est localisé dans une région de la chaîne Alpine d'Afrique du Nord, caractérisé par la présence des nappes de charriage qui composent des grands ensembles de terrain d'âge Antécambrien à plio-quadernaire qui sont déplacés à l'horizontale de plusieurs kilomètres et superposés suivant des modalités variées et complexes.

Les formations post-nappes issues de l'érosion en général se sont déposées sur cet ensemble.

Dans cette partie de l'Algérie du Nord, on peut identifier les zones suivantes de la chaîne Alpines du Nord au Sud (Fig. 04) :

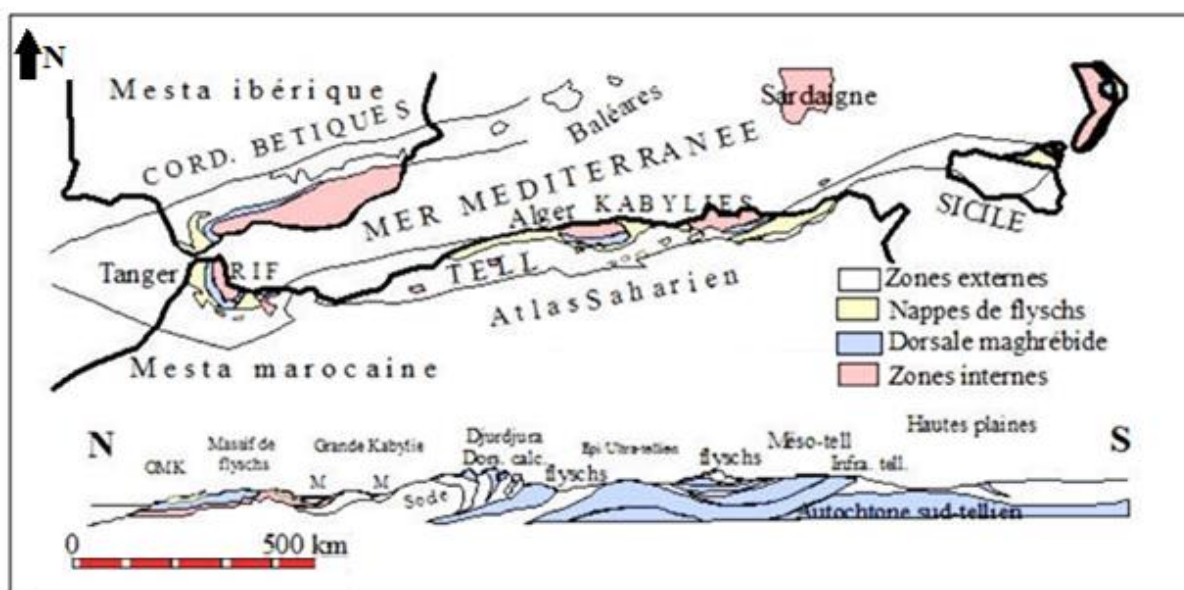


Fig. 4 : Carte et coupe structurale schématique de la chaîne des maghrébide montrant la disposition des zones internes et externes (M. Durand Delga et al, 1980).

2.1 Le domaine kabyle

Représentées par le socle kabyle et sa couverture

- **Le socle kabyle**

Le socle de la Petite Kabylie couvre la partie Nord de la région, qui est caractérisée par des terrains cristallophylliens anciens (gneiss, phyllades, calcaires métamorphiques), d'épaisseur

de 2 à 3 km entièrement charriés vers le sud sur des terrains sédimentaires d'âge Jurassique à Éocène présentant une frange étroite de 10 à 15 km qui constitue la chaîne calcaire.

- **La Dorsale kabyle**

C'est la couverture méso-cénozoïque ; elle est constituée de trois grandes écailles calcaires carbonatées qui sont du nord au sud :

- le dorsal interne ;
- la dorsale médiane ;
- la dorsale externe.

2.2 Le domaine des flyschs

C'est un domaine situé au sud de la dorsale à sédimentation épaisse déposée entre le domaine kabyle et la marge tellienne.

Il existe les séries de type flysch d'âge Crétacé à Éocène qui sont subdivisées en :

- Flysch Maurétanien proximal et sa couverture Gréso- micacé.
- Flysch Massylien distal.

NB : le flysch Numidiens est déposé postérieurement à l'orogénèse et occupe une position structurale haute sur l'édifice maghrébin.

2.3 Le domaine externe ou domaine Tellien

C'est le domaine de sédimentation des formations telliennes, situées sur la paléo-marge africaine. Ce sont des séries épaisses à faciès marno-calcaire d'âge Trias à Éocène ; le domaine tellien est subdivisé en trois grandes unités :

- a. Les nappes Ultra-telliennes sont largement développées dans le Constantinois et formées par des faciès carbonaté clair d'âge Crétacé à Éocène.
- b. Les nappes Epi-tellienne (sensu-stricto) localisé dans l'axe Chalghoume El-Aid, Constantine, composées d'une séquence carbonatée détritique allant du Crétacé à l'Éocène.
- c. Les nappes Péni-telliennes sont représentées au Nord et à l'Ouest de Constantine (Djebel Chettaba, Djebel Akhal, Djebel Grouz et Djebel Kheneg) constituées d'une séquence carbonatée d'âge Jurassique à Crétacé supérieur.

2.3.1 Description lithologique des formations tellienne de la transversale

Les formations telliennes du terrain d'étude sont représentées par les faciès suivants de bas en haut :

- **Le Trias**

Il est représenté par des formations Argilo- gypsifères, des grés rouges et des Argile lient de vin ainsi que des venues ophitiques.

- **Le Jurassique**

Les trois thermes du jurassique comportent des facies de calcaires et dolomies en bancs massifs fossilifères formant des pics dans la morphologie (région de Sidi Marouf) (voir **Fig.05**).

- **Le Crétacé Inferieur**

Il est représenté par les termes allant du Berriasien à l'Albo-Aptien représenté par des marnes feuilletées, des formations schisto-gréseuses et des grés fins.

- **Le Crétacé Supérieur**

Les termes du crétacé supérieur sont représentés par les marnes sombres à fausses boules jaunes du Maestrichtien et des marno-calcaires du sénonien à inocérames.

- **Le Paléocène**

Il est marneux dans sa totalité et représenté par des marnes sombres à débit en plaquettes et à lentilles calcaires.

- **L'Éocène inferieur**

Dans la morphologie en général, les calcaires Yprésiens à patine jaune renfermant des rognons de silex noirs forme des écailles à escarpements assez rade surmontés par des marnes noires à boules jaunes métriques du Lutétien.

- **Le Miocène Supérieur**

Il est transgressif sur les nappes telliennes effondrées par distension et est représenté en générale par les marnes à gypse grises admettant quelques boucs décimétrique de calcaire marneux parfois gréseux. Il affleure dans l'assiette du barrage ; son épaisseur peut atteindre 300 m.

- **Le Plio-Quaternaire**

Ce sont les dépôts les plus récents de l'édifice. On y trouve des conglomérats durs polygéniques et des argiles rouges, des calcaires lacustres à algues jaunâtre, des travertins, sables et graviers continentaux.

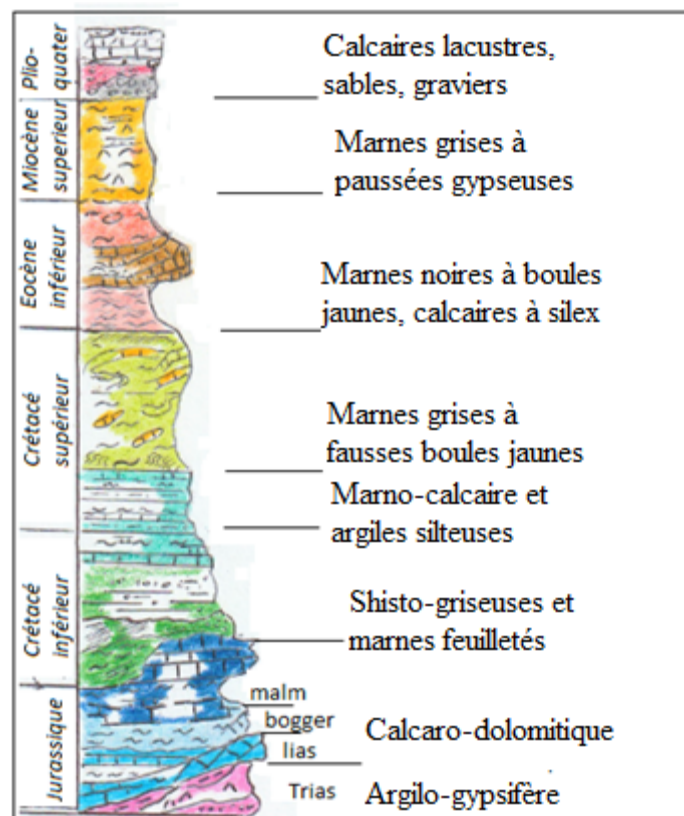


Fig.5 : Colonne litho-stratigraphique des séries telliennes du Sud d'El Milia à Béni Haroun.

2.4 Les Séries numidiennes

La série numidienne de l'oligocène sup à Burdigalien, apparait dans la partie Nord-Est sur les monts de Djebel El-Ouahch et près d'Ain Abid et Sigus au sud du Djebel Oum Settas. Elles sont composées par des formations argileuses à la base et gréseuses au sommet.

2.5 Les formations néogènes

Ces formations se sont déposées en discordance sur toutes les autres unités précédentes. Au Nord, il s'agit de formations marneuses admettant du passées calcaires et des lentilles de gypse. Vers le Sud, dans la cuvette structurale de Constantine, le néogène recèle des dépôts continentaux allant du Mio-pliocène au quaternaire [4].

3. Structures tectoniques régionales

La région concernée par notre étude se trouve sur la transversale El Milia – Béni Haroun et faisant partie intégrante de la Petite Kabylie.

Le dispositif structural de cette région du Nord – Est algérien est constitué de deux compartiments chevauchant l'un l'autre du Nord vers le Sud.

On distingue :

- Un compartiment structural "Nord" constitué de nappes gravitaires à matériel flysch dominant formant un olistostrome pouvant atteindre 1000 m. d'épaisseur surmontant des turbidites grésos- micacées de l'Oligo- miocène kabyle (OMK) transgressifs sur les zones effondrée du socle kabyle durant l'oligocène supérieur .
- Un compartiment structural "Sud " constitué des nappes du socle kabyle et des terrains méso – cénozoïques qu'il chevauche vers le sud. constitué comme suit :
 - a) Le complexe volcano sédimentaire (C.V.S) métamorphise et coincé sous le socle formant une écaille de calcschistes, pillo- lava et quartzites pélitiques (écaille de Sandouh-Tabalout).
 - b) Des nappes de flyschs superposées micro plissés et plus ou moins affectées d'un métamorphisme anchizonal.
Ex : flysch Massylien albo –optien de Ain Sebt (Texenna) qu'on retrouve dans la transversale d'El Milia dans le même contexte.

Le Flysch Maurétanien est représenté par l'écaille des Achaïches sur notre transversale est y est légèrement métamorphisé.

- c) Les nappes telliennes au sud de la transversale sont allochtones et elles – même chevauchées par les flysch kabyles (massiliens et maurétaniens).

L'édifice structural à deux compartiments distincts Nord et Sud admet des contacts anormaux chevauchants plus ou moins redressés pouvant atteindre 70° par rapport à l'horizontal dans la région Texenna au Sud – Est de Jijel représentant le contact bordier kabyle dit majeur ou contact frontalier majeur (C.F.M) entre le socle kabyle et le C.V.S de Texenna. Dans les formations à faciès moins compétents (marnes, marno-calcaires et pélit) ces contacts sont plutôt plats qu'il s'agisse du compartiment Sud ou Nord.

- Le diapirisme triasique :
En Petite Kabyle, le trias à faciès dit "alpin" argilo-gypsifère est plutôt plastique sur le plan rhéologique et joue un rôle très important dans la mise en place des structures tectoniques assez complexes (nappes de glissement).
En effet, sous l'effet des serrages profonds lors de la convergence, les argiles plastiques et gypses sont injectés dans les grands accidents et provoquent la verticalisation des masses carbonatés du Jurassique.
Comme il peut constituer une semelle de glissement pour le déplacement des nappes de charriages sous l'effet de la dynamique du système orogénique (poussée arrière).

Notre coupe montre manifestement le style tectonique de cette région où le Trias alpin a joué un rôle important dans la configuration de l'ensemble morfo-structural.

4. Géologie du site de barrage

La construction de la digue du barrage se trouve sur les massifs calcaires de la « nappe tellienne sensu-stricto » d'âge Éocène (Yprésien et lutétien) de direction E-W, quasi perpendiculaire au cours d'eau de l'oued El Kébir.

En amont de ce banc calcaire, on détecte des marnes de l'éocène (lutétiennes) placées sur le calcaire tandis qu'en aval, sous les calcaires, on aperçoit des marnes foncées du paléocène présentant un débit en frites.

Dans les calcaires, trois faciès ont été identifiés : un tronçon supérieur de calcaires marneux d'environ 30 à 40 m, un deuxième intermédiaire de calcaires à nodules de silex d'environ 30 m et un troisième tronçon inférieur de calcaires noirs d'une épaisseur de 70 à 100 m [18].

La géologie locale du barrage de Béni Haroun est caractérisée par la complexité de sa tectonique de chevauchements, des failles ou décrochement, il se manifeste par des déformations plastiques (plissement) et cassantes (failles, fractures) des unités lithologiques du site. En gros, ces unités lithologiques sont formées d'une assise calcaire compétente (à comportement rigide cassant) de 100 à 150 m d'épaisseur, entourée par deux séries marneuses incompetentes tectonisée [21].

4.1. Lithologie du site du barrage

Les différents terrains observés dans la zone du barrage ont été organisés du plus anciens au plus récents.

- **Marnes du paléocène**

Elles se situent sur les versants et dans les excavations en aval de la zone. Elles ont été détectées par plusieurs forages. Ce sont des schistes de couleur gris foncé à noirs avec des lentilles et des couches minces de calcaires aphanitiques noirs (épaisseur de 10 à 45 cm).

De telles marnes subissent des mues pour former des colluvions argilo-silteuses, ces marnes sont plus ou moins calcaires et légèrement pyriteuses. Elles montrent localement des traces de gypse et de calcite en remplissage de joints. On y trouve fréquemment des septarias.

Dans leur partie supérieure, on constate sur 5 m une alternance des marnes et des bancs de calcaires constituant la transition avec les couches supérieures. (Lahondère)

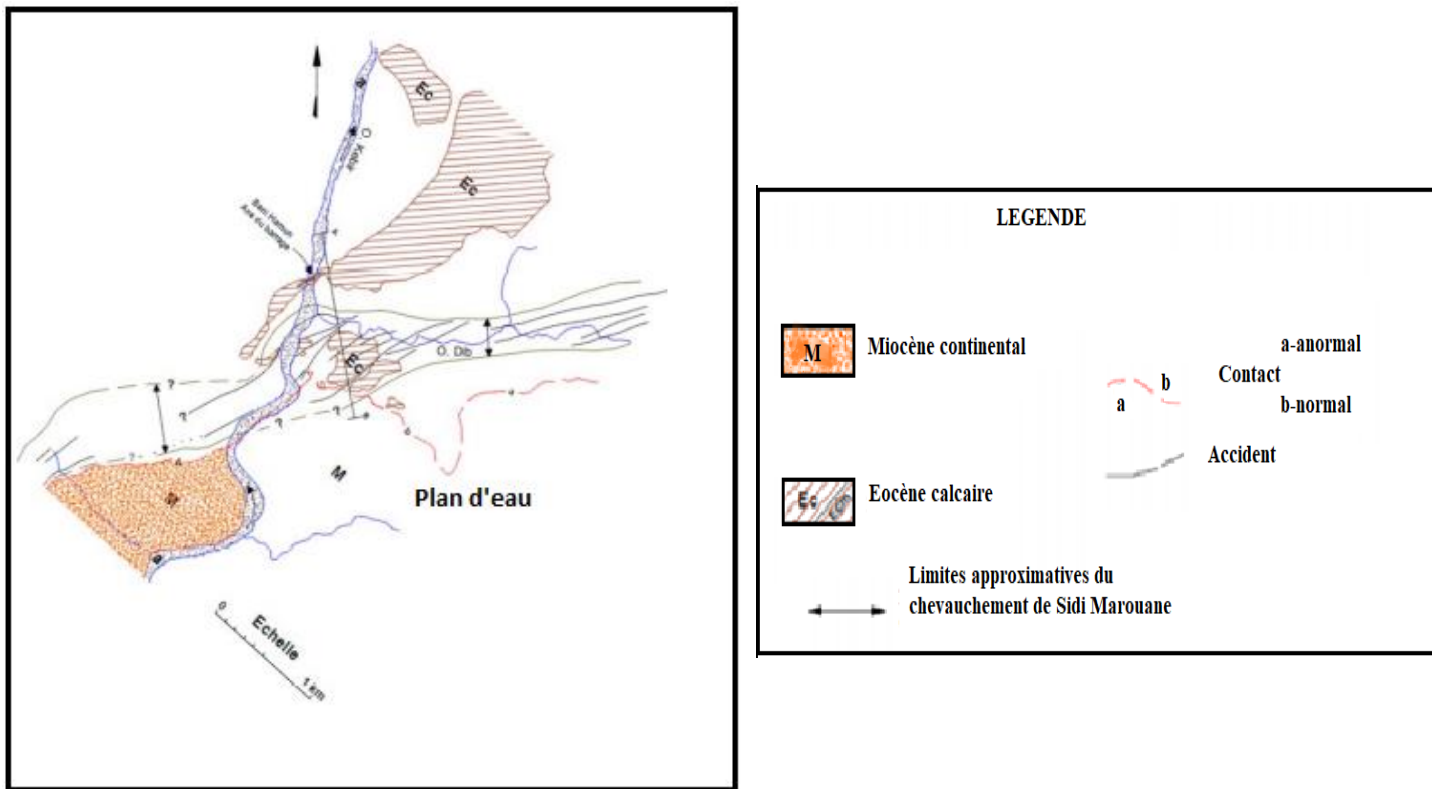


Fig.6 : Géologie locale du barrage de Béni Haroun (d’après Harza, 1986).

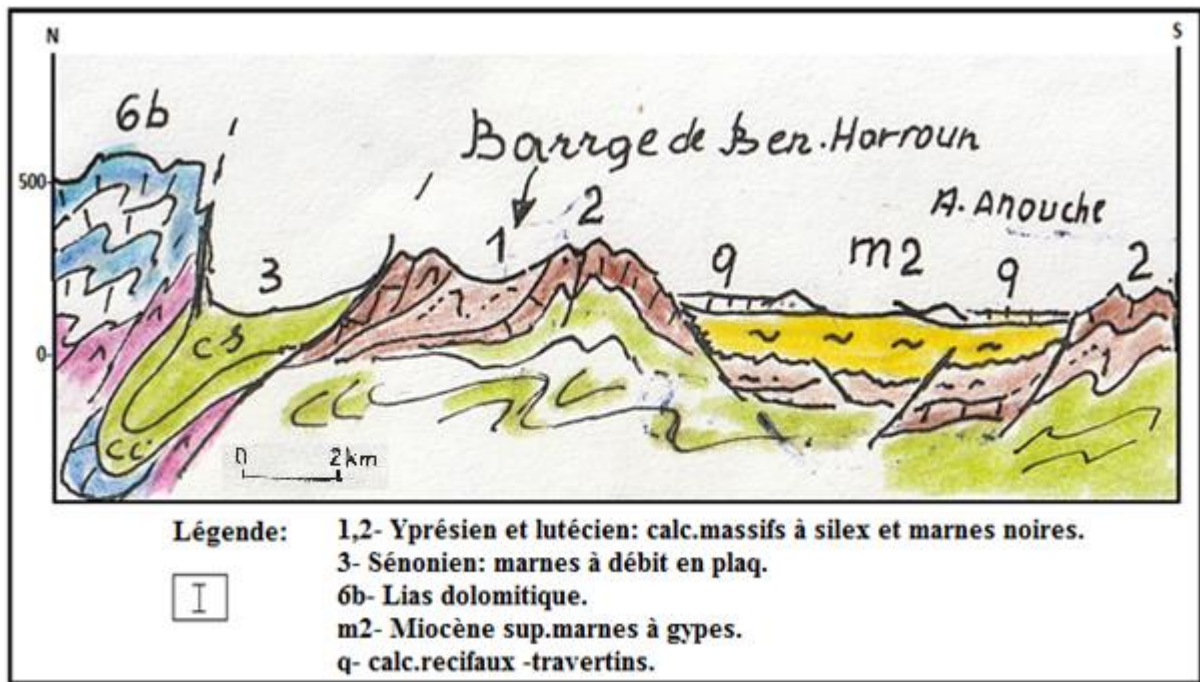


Fig. 7 : coupe géologique montant la position de site du barrage sur le tellien effondré (coupée) (réalisée en collaboration avec l’enseignant Rouikha Y.)

- **Calcaires de l'Yprésien**

La cartographie géologique détaillée du site (ANBT, T.E., 2002), a permis de différencier trois subdivisions de la barre calcaire représentant les termes suivants :

- Calcaires marneux sommitaux
- Calcaires à silex
- Calcaires de base

Ces couches sont généralement minces à épaisses de calcaire à grains fins, gris foncé à noir, durs et résistants. Certains lits calcaires sont très durs car dolomitiques et siliceux, alors que d'autres contiennent du silex noir. Ce silex prend la forme de petits nodules (de diamètres 1-3 cm) et de bandes minces (épaisses de 2 à 15 cm).

Les formations calcaires sont relativement résistantes à l'altération et à l'érosion mais elles présentent toutefois localement des indices de dissolution et des diaclases ouvertes.

- **Marnes de l'éocène (d'âge Lutétien)**

Des Marnes schisteuses de forte compaction sont apparaissent en affleurement. la lithologie semble presque identique à celle du faciès des marnes du Paléocènes. La présence de petites miches calcaires permettent de les différencier.

Dans la majorité des affleurements, ces marnes sont fortement déformées par la tectonique ; l'altération superficielle leur confère une couleur jaune sale.

- **Colluvions et éboulis**

Sur l'appui droit, on découvre des dépôts de versants ou colluvions formés par des pierres anguleuses de calcaire, parfois légèrement cimentées ou comportant une matrice argileuse. Leurs épaisseurs peuvent atteindre les 20 m.

Sur la rive gauche, on détecte des dépôts colluviaux de pierres, de blocs calcaires et de marnes.

- **Terrasses alluviales**

Dans la partie basse de la rive droite, en amont immédiat de l'axe du barrage, on trouve une terrasse alluviale dont la base se situe vers les côtes 138-140 m. Elle est constituée de graviers et gros blocs dans une matrice sableuse passant à des galets dans une matrice plus argileuse vers l'intérieur du versant.

Son épaisseur est environ 20 m et s'amincissant vers l'aval et vers la culée droite.

- **Alluvions**

Ce sont principalement des graviers, gros blocs et sables alluviaux du lit de l'oued.

- Remblais

Les principaux remblais remarquables sont des ouvrages du lit de l'oued et ceux qui recouvrent l'ancien thalweg de la culée droite ; ils ont plus de 20 m d'épaisseur entre la culée du barrage et celle du viaduc.

- ✚ Les différentes formations lithologiques du secteur étudié sont résumées sur le log litho-stratigraphique suivante (Fig. 8).

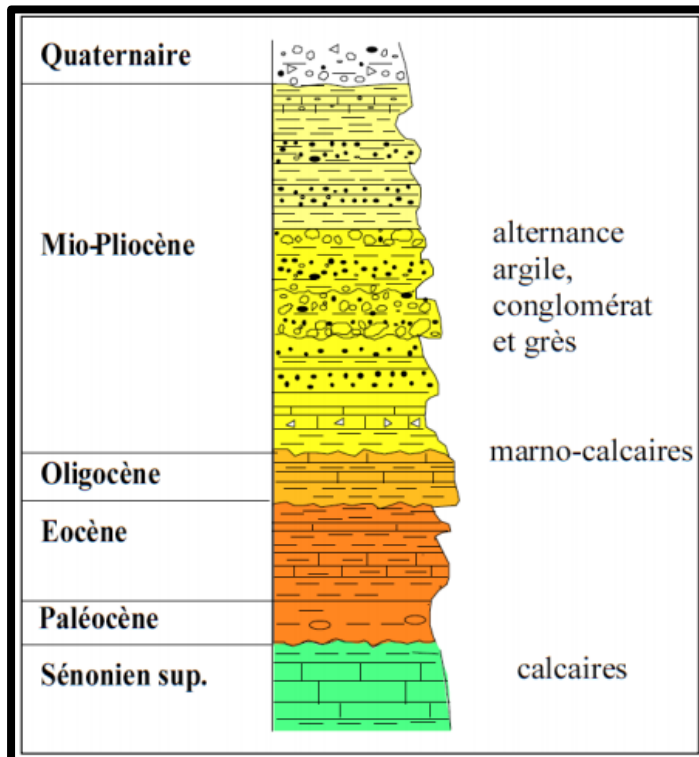


Fig. 8 : Log litho- stratigraphique du site Béni Haroun (D'après R. marmi et al)

4.2 Structure tectonique du site du barrage de Béni Haroun

Le site du barrage se trouve sur les nappes telliennes à lithologie marneuse et calcaire. Les deux culées s'appuient sur les calcaire gypseuse inclinés vers le nord et vers le sud se forment des écaillés noyées dans les marnes paléocène et lutétienne.

Le site principe de la retenue se trouve au sud de la digue dont l'orientation suit imparablement les grandes failles d'effondrements du Graben de Mila.

La barre calcaire servant d'appui du barrage qui traverse l'oued en oblique, présente un pendage amont en rive droite se redressant progressivement jusqu'à s'inverser en rive gauche.

Le pendage évolue de 32° amont du large en rive droite à $\pm 70^\circ$ au niveau de l'oued et 90° à 80° avals au large en rive gauche.

D'une manière générale, les calcaires se présentent sous forme de bancs massifs compétents sur une grande partie de la surface du fond de fouille.

En fond de fouille, il y a de nombreuses zones de fracturation avec remplissage d'argiles et/ou de calcite. Ces zones de fractures pseudo-verticales orientées Nord - Sud semblent correspondre à un éventail de fractures régionales.

Une zone karstifiée pseudo-verticale à remplissage argileux recoupe toute la vallée entre la rive droite et la rive gauche à environ 50m à l'aval de l'axe du barrage.

Sous l'emprise même du barrage, les forages réalisés n'ont pas détecté de failles majeures parallèles à la tectonique régionale. Néanmoins, on n'exclue pas la présence des failles sous le lit de l'oued. On retrouve aussi, en forage dans le fond de l'oued des zones cisailées. Par contre, il n'y a pas de décrochements importants entre les deux rives mais plutôt un phénomène de flexure.

De plus, on a cartographié plusieurs petites failles ou éventuelles dans la zone du projet.

En général, l'intervalle moyen de fracture dans les calcaires est environ 0,1 à 1 m, voire plus dense. Les niveaux les plus fracturés sont repérés à la base des calcaires.

Il existe deux systèmes de fracturation en rive droite alors que dans la rive gauche il y a une dispersion de mesures liée au redressement et la flexure des bancs [18].

La région de béni Haroun est située à la limite Nord du bassin néogène de Mila-Constantine.

La mise en place de cette structure distensive témoigne de l'existence de grande des failles normales délimitant l'aire du barrage. Ceci est d'autant plus marqué par la remonté des flammes de Tries évaporitique au droit des accidentes régionaux.

En plus le schéma tectonique d'ensemble montre un empilement de nappe de charriage à semelle triasique à vergence sud le long de l'oued el Kébir.

Ceci confirme l'existence d'un grand accidentes parallèle au tracé du cours d'eau avec injection de tries profond, d'ophites magmatique (Tries) d'abord puis Miocène magmatique.

Le schéma structural confirme la présence de deux réseaux d'accidentés sensiblement N-S et E-W qui control la géométrie de la structure du barrage et qui influent directement sur sa stabilité.

Récemment, les secousses sismiques enregistrées dans la région de Mila (Hamala, sidi Merouane...) sont la réponse vraie aux sollicitations d'une tectonique active générale des failles sismogène.

Un autre indice consiste la présence des sources thermale ascendante des niveaux profond le long de ce accidenté.

4.3 Capacité de perméabilité des formations lithologiques

On s'intéressera ici à décrire les formations lithologiques afin de préciser leur capacité d'hydratation. Il s'agit de les regrouper en deux grands ensembles compte-tenu à la fois à leur perméabilité.

4.3.1 Les formations perméables

Les formations calcaires

Les formations calcaires se révèlent à la nappe néritique constantinoise. Il s'agit des séries épaisses calcaires marneux très fissurés ce qu'il rend sa perméabilité très élevée.

Des séries très étendues et de faible épaisseur représentent des nappes phréatiques plus ou moins continues et facilement exploitables, donc sa relation est directe avec le régime hydrologique.

Ces nappes proches de la surface du sol sont soumises à l'évapotranspiration dont les effets se traduisent par la saumure des eaux, d'un côté et leurs contaminations par des solutions de lessivage des terrains percolés.

Les formations gréseuses

Les formations gréseuses affleurant sur les monts de djebel Ouahch au Nord-Est du bassin, correspondent au grès numidiens, d'âge Oligocène, à des altitudes très élevée. Ces formations sont de faibles réserves souterraines atténuées la présence d'intercalations argileuses d'une part et par la faiblesse des fissurations des roches d'autre part.

4.3.2 Les formations imperméables

Les formations imperméables regroupent l'ensemble des formations à dominance argileuse ou marneuse du Mio-Pliocène continental et du Crétacé-Éocène. Elles sont les plus largement représentées dans la région Mila-Constantine.

L'ensemble de roches présente une faible perméabilité d'interstices ou de fissures, ne déterminant donc pas d'aquifères notables.

Ces séries à perméabilité très faible, peuvent représenter des possibilités d'infiltration en raison des niveaux travertineux (calcaires lacustres) dans les secteurs localisés.

Les séries marneuses du Crétacé-Éocène, ne représentent quant à elles, aucune possibilité d'accumulation en eaux souterraines, les autres formations représentées par des alternances de faciès différents, tels que l'ensemble argilo-gréseux de l'Oligo-Miocène, les marnes et marno-calcaires du Crétacé-Éocène, offrant une certaine capacité d'accumulation [15].

5. Conclusion

Par conséquent, il ressort dans le chapitre consacré à l'étude géologique, que le cadre géologique de barrage Béni Haroun est complexe caractérisé par la présence de nappe de charriage, qui constituent de vaste ensemble de terrains d'âge Anté-Cambrien à Mio-Pliocène.

On s'aperçoit que le site de Béni Haroun est caractérisé par une barre calcaire Eocène de 100 m d'épaisseur disposée d'Est en Ouest reposant sur les marnes noires Paléocènes à l'aval surmontée par des marnes Eocènes à l'amont. Sur cette barre calcaire reposent les culées du viaduc et l'ancrage du barrage.

La digue du barrage s'appuie sur les calcaires yprésiens, fracturés et écaillés. Tandis que le lac du barrage se trouve sur les marnes du miocène supérieur transgressif sur les nappes telliennes.



Chapitre III
hydroclimatologie

1. Introduction

L'étude hydro-climatique est nécessaire pour mieux comprendre les mécanismes d'échange et de circulation des eaux superficielles.

Dans ce chapitre, on s'intéressera d'évaluer deux paramètres climatique jugés importants est ça concerne les précipitations et la température, on a pris alors les données pluviométriques et thermiques des trois stations : **Station Mechtat Serradj**, **Station Hamala** et **Station El Kheneg** ; ces données concernent une séries des données climatiques continue de 39 ans de 1980 à 2019.

Tableau 3 : Les coordonnées géographiques des stations de surveillance

| Station | Coordonnées | Latitude | Longitude |
|-----------------|-------------|-----------|-----------|
| Mechtad Serradj | | 36.4792 N | 6.0208 E |
| Hamala | | 36.5625 N | 6.3542 E |
| El Kheneg | | 36.4792 N | 6.4792 E |

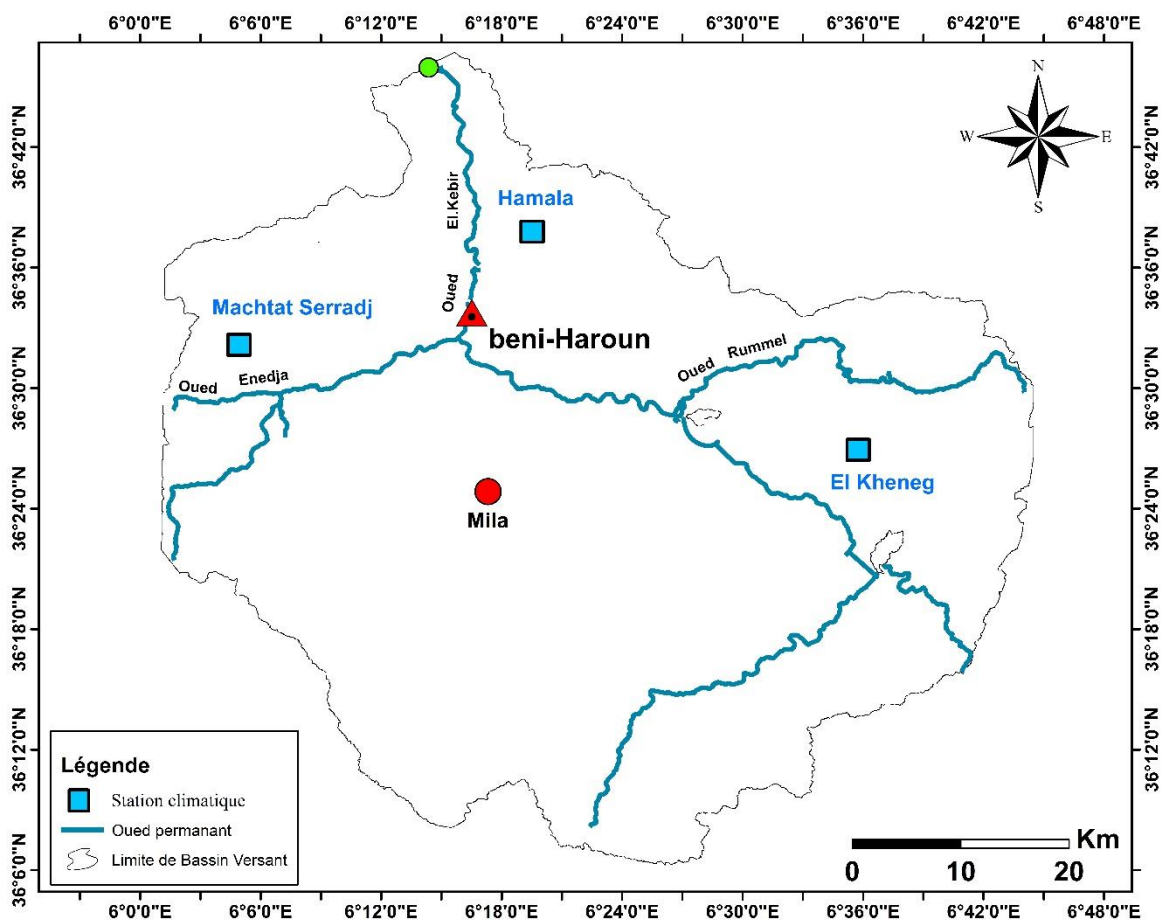


Fig. 9 : Position des stations climatique

2. facteurs climatiques

2.1. Précipitations

La pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement sur le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères.

Les mesures des précipitations permettent d'évaluer la quantité d'eau tombée.

2.1.1. Précipitations moyennes mensuelles

Les précipitations moyennes mensuelles de trois (3) Stations sont présentées dans la figure suivant :

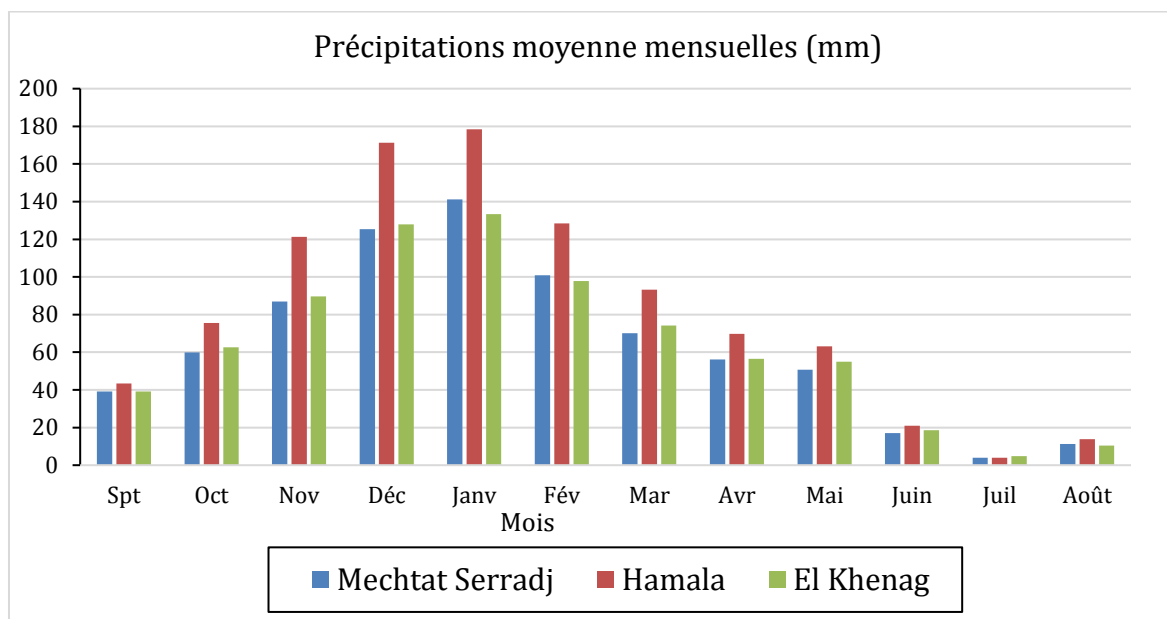


Fig. 10 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de trois stations de (1980-2019).

L'histogramme de la répartition des précipitations moyennes mensuelles des pluies dans les trois stations, montre clairement que le mois de Juillet est le plus sec. Par contre, la plus grande quantité d'eau tombée au mois de janvier, en général la station de Hamala marquée les plus hautes pluviométries au mois de janvier de l'ordre de 178,43 mm et les faibles pluies au mois de juillet de l'ordre de 3,9 mm par rapport aux autres stations.

2.2. Température

La température est un élément climatique très important dans l'estimation du bilan hydrologique. En effet, il influe sur ce dernier du fait qu'il conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration.

L'analyse des données des températures moyennes mensuelles est basée sur les données relevées au niveau de trois stations avec une série de données allant de 1980 jusqu'à 2019.

2.2.1 Températures moyennes mensuelles

La figure suivant représente les moyennes mensuelles des températures au niveau de trois stations :

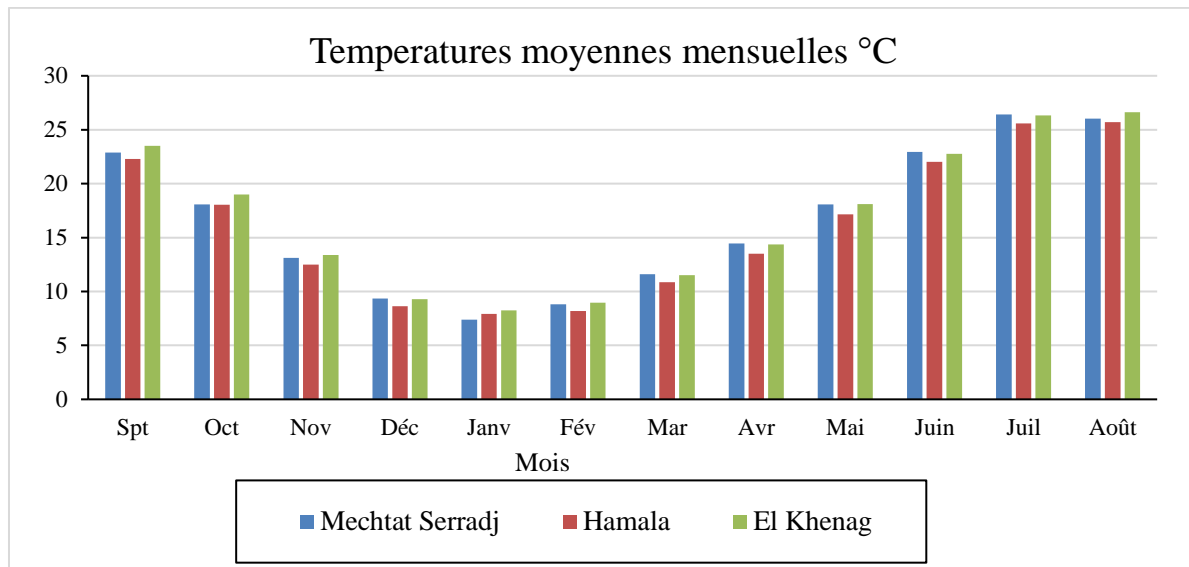


Fig. 11 : variation des températures moyennes mensuelles de trois stations (1980- 2019)

La variation des températures moyennes mensuelles (figure 11), dans les trois stations est semblable. Le mois le plus froid est le mois de Janvier avec des températures variées entre 3 et 4 °C, et le mois d’Août comme le mois le plus chaud avec des températures allant de 32 à 33°C.

3. Diagramme Ombrothermique (Pluvio-thermique)

Dans le but de bien préciser et de confirmer la durée des deux saisons humide et sèche, nous avons utilisé le diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1953). Il permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique. Il utilise les deux principaux paramètres climatiques la température et les précipitations, représentées en abscisse par les mois de l’année, en ordonnées par les précipitations en mm et les températures moyennes en °C. Avec une échelle de $P=2T$.

Lorsque la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures, la période correspondante est excédentaire. Par contre, si la courbe des températures surmonte celle des précipitations on parle à une saison sèche ou déficitaire.

La série des données climatique fournie par les trois (03) stations climatiques pendant une période de 39 ans permettre de l'établissement d'un diagramme Ombrothermique qui montre une alternance des deux saisons sèche et humide.

a) Station de Mechtat Serradj

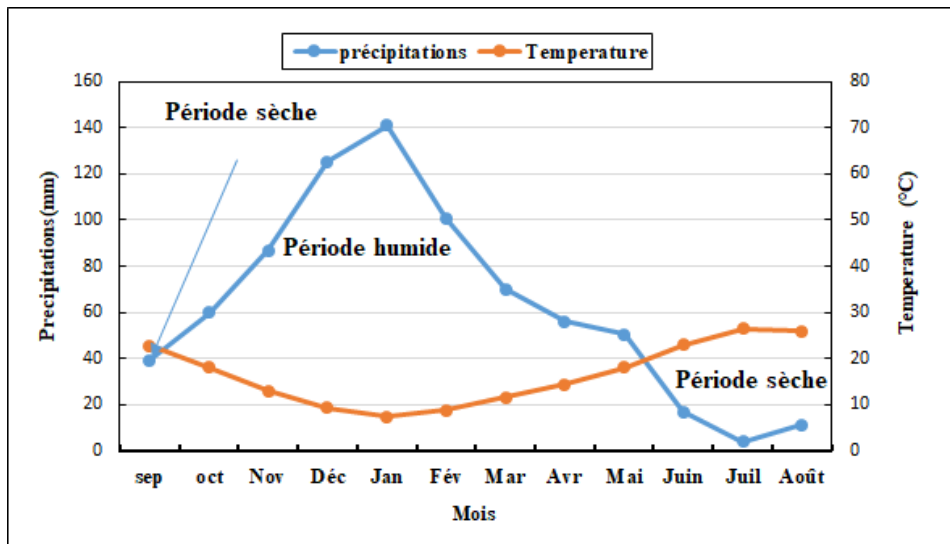


Fig. 12 : Diagramme Ombrothermique de la station de Mechtat Serradj (1980- 2019)

Le diagramme (figure 12) met en évidence deux saisons ; l'une humide s'étale de la mi-Septembre jusqu'au la fin de Mai. L'autre sèche, elle débutera par le mois de juin jusqu'au le mois de Septembre.

b) Station de Hamala

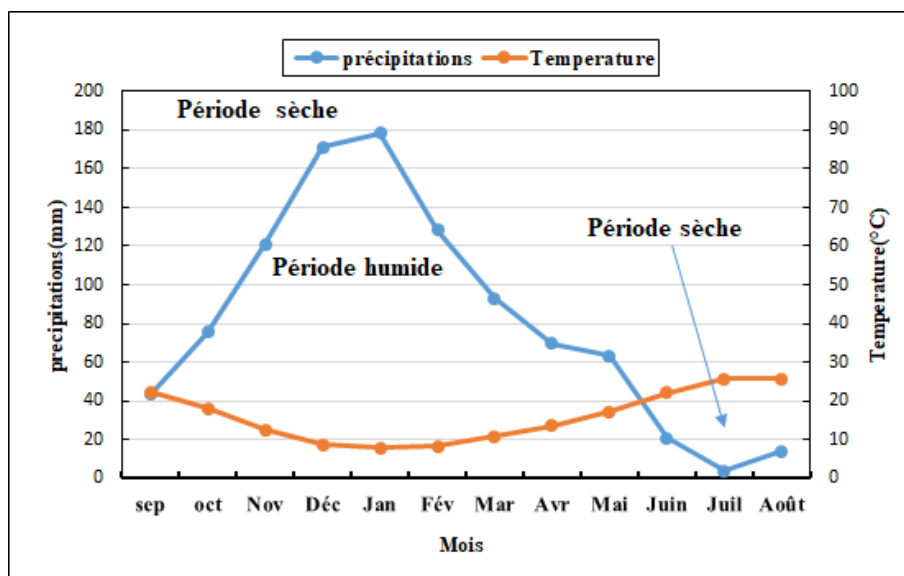


Fig. 13 : Diagramme Ombrothermique de la station de Hamala (1980- 2019)

L'utilisation des données pluviométriques et thermiques de cette station permet de tracer cette courbe qui met en évidence la durée et l'intensité de deux périodes :

- L'une humide : s'étalant de la mi-Septembre au début du mois de Juin.
- L'autre de sécheresse : s'étalant entre le mois de Juin jusqu'au mi de Septembre.

c) Station d'El Kheneg

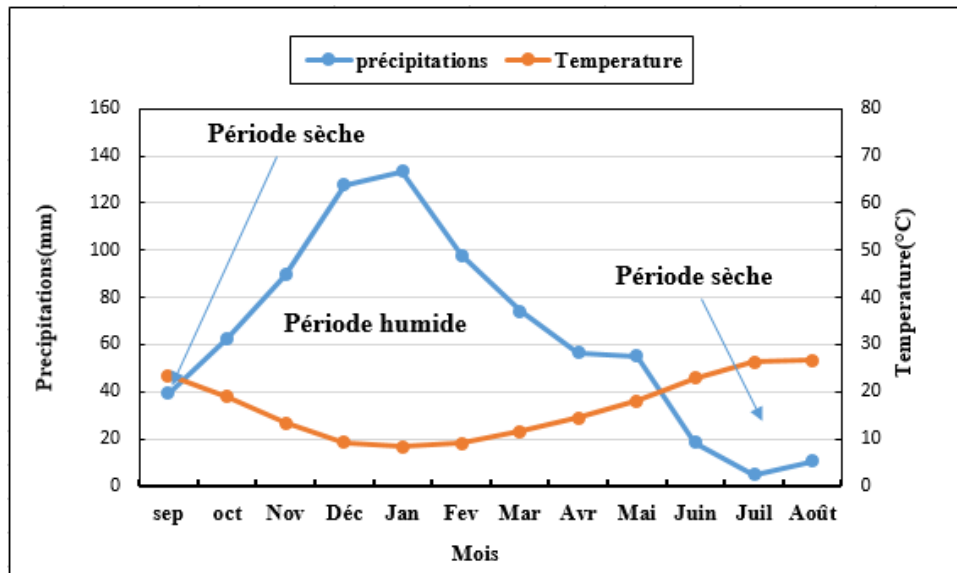


Fig. 14 : Diagramme Ombrothermique de la station d'El Kheneg (1980- 2019)

D'après la courbe Ombrothermique de cette station, on constate que la saison humide et froide étirer dès le mi de Septembre à la fin du mois Mai.

La saison sèche : s'étale par le mois de Septembre jusqu'au le début de la saison humide, et de la fin de la saison humide jusqu'au le mois d' Août.

4. Bilan hydrologique

Le bilan hydrologique est fonction de plusieurs facteurs du système hydrologique tels que les Précipitations, le ruissellement, l'infiltration et l'évapotranspiration potentielle et réelle. Le bilan hydrologique naturel peut se calculer par la formule suivante (Castany 1982) :

$$P = ETR + R + I$$

- Avec :
- **P** : précipitation moyenne annuelle (mm).
 - **ETR** : l'évapotranspiration annuelle (mm).
 - **R** : ruissellement moyen annuel (mm).
 - **I** : infiltration moyenne annuelle (mm).

4.1. Détermination des paramètres du bilan

4.1.1. Évapotranspiration

L'évapotranspiration est la quantité d'eau évaporée à partir du sol, des surfaces d'eau libres et celle transpiré par les végétaux .Le terme évapotranspiration englobe deux types :

A. Évapotranspiration potentielle (ETP)

C'est la quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée par évapotranspiration sous un climat donné par un couvert végétal continu bien alimenté en eau. Elle comprend donc l'évaporation du sol/substrat et la transpiration de la végétation d'une région donnée pendant le temps considéré, généralement exprimée en mm.

Pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle on utilise la formule de Thornthwaite qui est liée simplement à l'action des facteurs climatique et ne fait pas intervenir la nature du sol et de la végétation :

$$ETP=16. [10T / I]^a$$

Avec : $I = \sum i$ où $i = [T/5]1.514$

- **ETP** : l'évapotranspiration potentielle (mm) ;
- **T** : la température moyenne mensuelle (°C) ;
- **I** : l'indice thermique annuel ;
- **i** : l'indice thermique mensuel ;
- **a** : désigne un exposant climatique défini ainsi : $a = 0.0161 I+0.5$

Pour l'évapotranspiration corrigée, elle est obtenue à partir de la relation suivante :

$$ETP \text{ corr.} =16. [10T / I]^a.K = ETP*K$$

Où :

- **K** : désigne un coefficient de correction dépendant de la latitude de la région.

B. Évapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle (ETR), est appelé souvent déficit d'écoulement (DE), est définie

Comme étant la quantité d'eau évaporée ou transpirée effectivement par le sol, les végétaux et par les surfaces d'eau libre ; Elle dépend de l'aération et de la quantité d'eau disponible.

Pour le calcul on peut utiliser les formule de :

- Coutagne
- Turc
- Thornthwaite

L'estimation de l'ETR d'après Thornthwaite est liée au volume des précipitations. Trois cas peuvent se présenter :

□ **1^{er} cas : $P \geq ETP$: $ETR = ETP$:**

Il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu'à la saturation, le surplus va représenter l'écoulement superficiel.

□ **2^{ème} cas : $P < ETP$: $ETR = P + RFU$:**

Dans ce cas, la réserve facilement utilisable (RFU) va s'épuiser jusqu'à la satisfaction de l'ETP.

□ **3^{ème} cas : $P > ETP$ et $RFU = 0$: $ETR = P$:**

Il y a donc un déficit agricole (DA) représenté par la quantité d'eau qui doit être apportée pour l'irrigation.

4.2. Estimation et Interprétation du bilan hydrologique

a) Station de Mechtat Serradj

Le tableau suivant résume le bilan de C.W. Thornthwaite de station de Mechtat Serradj.

Tableau 4 : Bilan Hydrique selon Thornthwaite de la station de Mechtat Serradj (1980-2019)

| Mois | Sep. | Oct. | Nov. | Déc. | Jan. | Fév. | Mar. | Avr. | Mai | Juin | Juil. | Août | Année |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------------|
| P (mm) | 39,2 | 59,95 | 87 | 125,4 | 141,2 | 101 | 70,18 | 56,1 | 50,65 | 16,98 | 4 | 11,25 | 762,82 |
| T (°c) | 22,87 | 18,07 | 13,11 | 9,34 | 7,39 | 8,82 | 11,59 | 14,46 | 18,07 | 22,94 | 26,41 | 26,04 | / |
| K | 1,03 | 0,97 | 0,86 | 0,84 | 0,87 | 0,85 | 1,03 | 1,10 | 1,21 | 1,22 | 1,24 | 1,16 | / |
| I | 10 | 7 | 4,30 | 2,58 | 1,81 | 2,36 | 3,57 | 5 | 7 | 10,04 | 12,43 | 12,16 | 78,25 |
| ETP (mm) Corr. | 107,9 | 67,25 | 33,99 | 18,33 | 12,59 | 16,77 | 32,80 | 51,61 | 83,89 | 128,49 | 167,14 | 152,54 | 873,29 |
| ETR (mm) | 39,20 | 59,95 | 33,99 | 18,33 | 12,59 | 16,77 | 32,80 | 51,61 | 83,89 | 83,74 | 4 | 11,25 | 448,12 |
| RFU (mm) | 0 | 0 | 53,01 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 66,76 | 0 | 0 | 0 | / |
| EX (mm) | 0 | 0 | 0 | 60,06 | 128,6 | 84,18 | 37,38 | 4,49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 314,7 |
| Da (mm) | 68,69 | 7,30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44,75 | 163,14 | 141,29 | 425,17 |

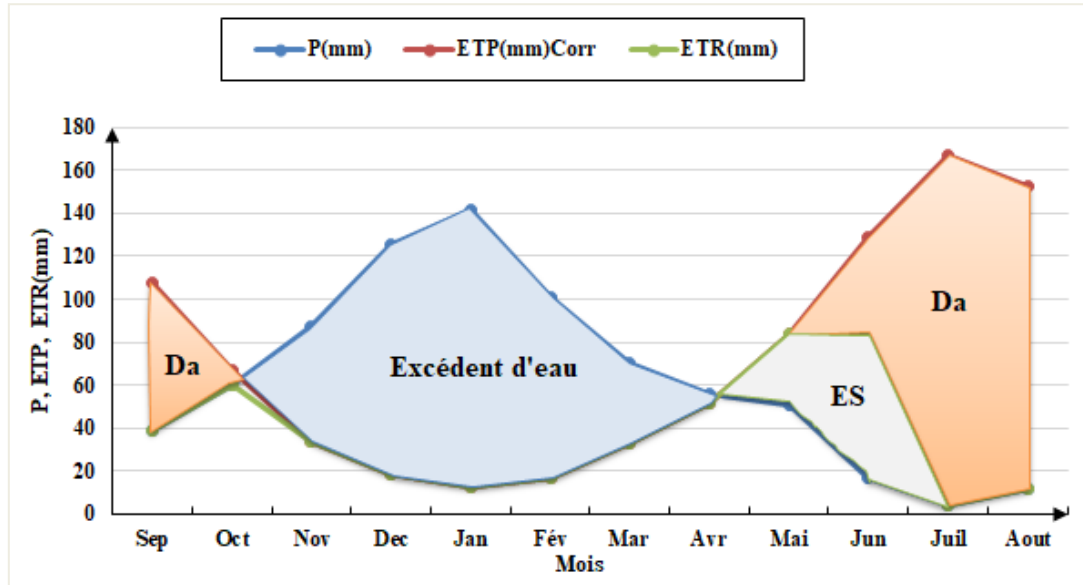


Fig.15 : Représentation graphique du bilan de C .W. Thornthwaite à la station de Mechtat Serradj (1980-2019)

Interprétation du bilan hydrique

L'examen des résultats obtenus du bilan hydrique de Thornthwaite pour la station de Mechtat Serradj (tableau 4 et figure 15) nous a permis de tirer les observations suivantes :

- ✓ La région d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 762,82 mm et une température moyenne annuelle de 16,59 °C.
- ✓ Sur l'échelle mensuelle, les précipitations deviennent supérieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP) du mois de novembre au mois d'avril, avec un pic au mois de janvier de l'ordre de 141,2 mm. Cependant, des réserves seront reconstituées dans les sols jusqu'à la saturation.
- ✓ L'Évapotranspiration réelle (ETR) total est de l'ordre de 448,12 mm.
- ✓ La recharge de la réserve facilement utilisable (RFU) des nappes s'effectue à partir du mois Novembre, elle atteint son maximum (100 mm) entre le mois de Décembre et Avril. Il y aura un surplus d'eau accompagné d'un ruissellement et le stock sera diminué jusqu'à l'épuisement, par conséquent un déficit agricole s'étalant de début du mois de Juin jusqu'au la fin du mois d'Octobre avec un total d'ordre de 425.17mm.

b) Station de Hamala

Le tableau suivant résume le bilan de C.W. Thornthwaite de station de Hamala.

Tableau 5 : Bilan Hydrique selon Thornthwaite de la station de Hamala (1980-2019).

| Mois | Sep. | Oct. | Nov. | Déc. | Jan. | Fév. | Mar. | Avr. | Mai | Juin | Juil. | Août | Année |
|----------------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|----------------|
| P (mm) | 43.40 | 75.50 | 121 | 171 | 178 | 128 | 93.20 | 69.70 | 63.20 | 20.98 | 3.90 | 13.85 | 981.73 |
| T (°c) | 22.28 | 18.06 | 12.50 | 8.64 | 7.93 | 8.19 | 10.85 | 13.50 | 17.20 | 22.03 | 25.59 | 25.71 | / |
| K | 1.03 | 0.97 | 0.86 | 0.84 | 0.87 | 0.85 | 1.03 | 1.10 | 1.21 | 1.22 | 1.24 | 1.16 | / |
| I | 9.61 | 6.98 | 4 | 2.29 | 2.01 | 2.11 | 3.23 | 4.50 | 6.49 | 9.44 | 11.85 | 11.93 | 74.44 |
| ETP (mm) Corr. | 105.09 | 69.40 | 33.03 | 17.28 | 15.49 | 15.98 | 31.15 | 48.14 | 79.73 | 122.12 | 159.86 | 150.70 | 848.036 |
| ETR (mm) | 43.40 | 69.40 | 33.03 | 17.28 | 15.49 | 15.98 | 31.15 | 48.14 | 79.73 | 104.45 | 3.9 | 13.85 | 475.8 |
| RFU (mm) | 0 | 6.10 | 94.03 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 83.47 | 0 | 0 | 0 | / |
| EX (mm) | 0 | 0 | 0 | 147.79 | 162.51 | 112.02 | 62.05 | 21.56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 505.93 |
| Da (mm) | 61.69 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17.67 | 155.96 | 136.92 | 372.24 |

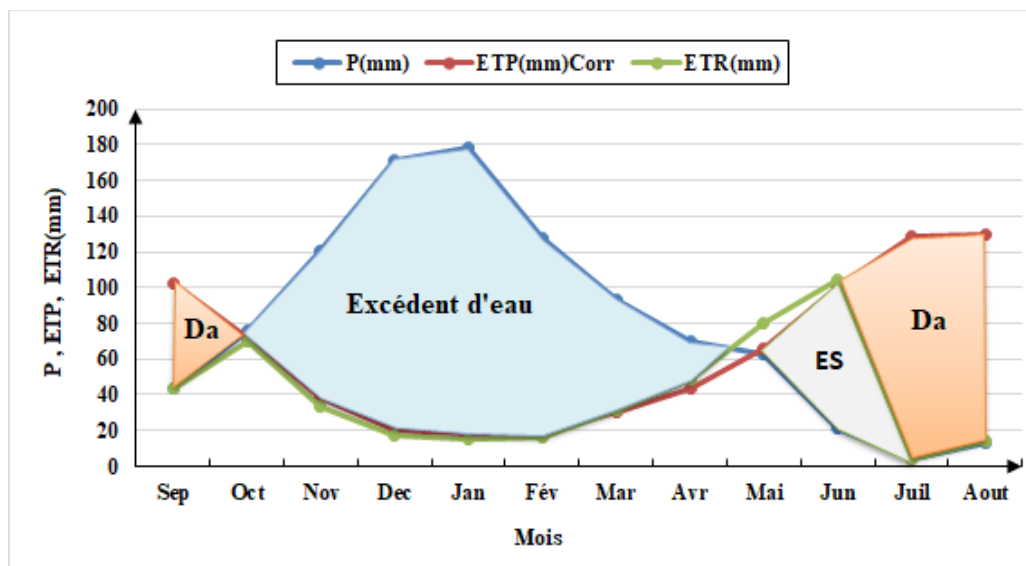


Fig.16 : Représentation graphique du bilan de C .W. Thornthwaite à la station de Hamala (1980-2019)

Interprétation du bilan hydrique

A partir des résultats obtenus (tableau 5 et figure 16) pour cette station nous constatons que :

- ✓ La région d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 981.73mm et une température moyenne annuelle de 16,04 °C.
- ✓ L'Évapotranspiration réelle (ETR) total est de l'ordre de 475,8 mm.
- ✓ Les précipitations deviennent supérieures à l'ETP à partir du mois de Novembre jusqu'à le mois d'Avril. Ça se signifie qu'Il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu'à la saturation, le surplus va représenter l'écoulement superficiel.
- ✓ La reconstitution des réserves facilement utilisables du sol (RFU), commence par le mois d'Octobre et finit au mois de Mai, ces réserves atteignent leurs maximum

(100mm) au mois de Décembre jusqu’au mois d’Avril. Cette saturation permis de former un excédent de l’ordre de 505.933 mm, allant du mois de Décembre jusqu’au le mois d’Avril.

- ✓ L’épuisement de la réserve facilement utilisable avec l’agrandissement d’évapotranspiration et la diminution des précipitations, donne l’occasion à un déficit agricole de l’ordre de 372.24 mm à apparaitre. Ce dernier, commence du mois de Juin jusqu’au mois de Septembre.
- ✓ L’évapotranspiration réelle (ETR) total est de 475.8 mm

c) Station d’El Kheneg

Le tableau suivant résume le bilan de C.W. Thornthwaite de station d’El Kheneg.

Tableau 6 : Bilan Hydrique selon Thornthwaite de la station d’El Kheneg (1980-2019).

| Mois | Sep. | Oct | Nov | Déc. | Jan. | Fév. | Mar. | Avr. | Mai | Juin | Juil. | Août | Année |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------------|
| P (mm) | 39,18 | 62,63 | 89,63 | 127,8 | 133,4 | 97,83 | 74,18 | 56,55 | 54,95 | 18,50 | 4,83 | 10,40 | 769,91 |
| T (°c) | 23,50 | 19 | 13,39 | 9,30 | 8,26 | 8,97 | 11,50 | 14,36 | 18,11 | 22,77 | 26,33 | 26,62 | / |
| K | 1,03 | 0,97 | 0,86 | 0,84 | 0,87 | 0,85 | 1,03 | 1,10 | 1,21 | 1,22 | 1,24 | 1,16 | / |
| I | 10,41 | 7,55 | 4,44 | 2,56 | 2,14 | 2,42 | 3,53 | 4,94 | 7,02 | 9,93 | 12,37 | 12,58 | 79,89 |
| ETP (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Corr. | 112,2 | 74,07 | 35,25 | 18,01 | 15,1 | 17,09 | 32,21 | 51,05 | 84,83 | 128,5 | 169,12 | 161,32 | 898,78 |
| ETR (mm) | 39,18 | 62,63 | 35,25 | 18,01 | 15,1 | 17,09 | 32,21 | 51,05 | 84,83 | 88,62 | 4,83 | 10,40 | 459,20 |
| RFU (mm) | 0 | 0 | 54,38 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 70,12 | 0 | 0 | 0 | / |
| EX (mm) | 0 | 0 | 0 | 64,20 | 118,3 | 80,74 | 41,97 | 5,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 310,71 |
| Da (mm) | 73,04 | 11,44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39,89 | 164,29 | 150,92 | 439,58 |

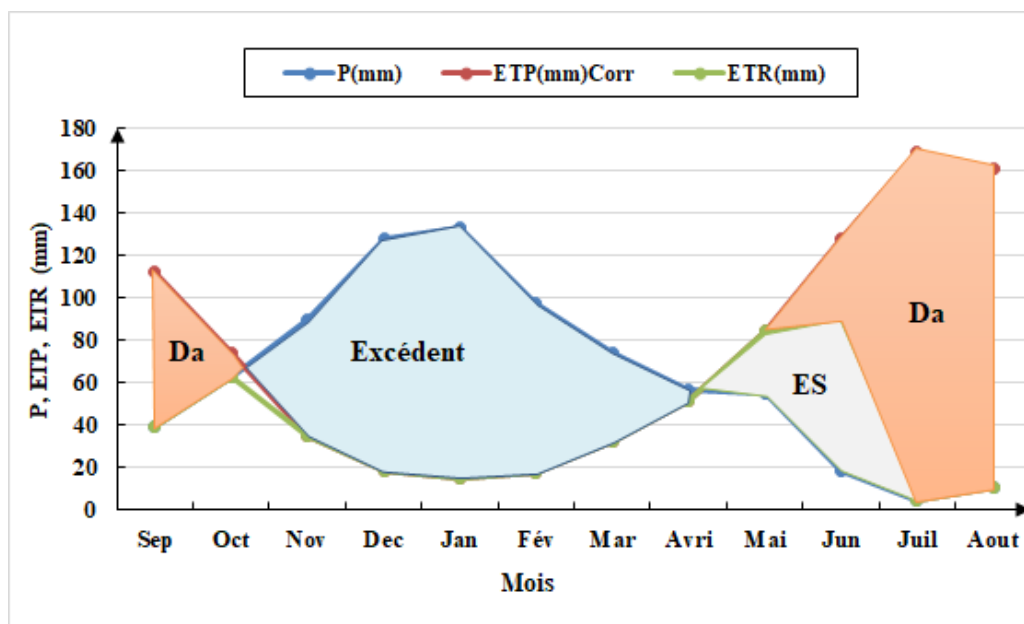


Fig.17 : Représentation graphique du bilan de C .W. Thornthwaite à la station d’El Kheneg (1980-2019)

Interprétation du bilan hydrique

L'analyse du bilan hydrique de la station d'El Kheneg (tableau 6 et figure17), nous a permis de dire que :

- ✓ La station d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 769,91 mm et une température moyenne annuelles de 16,84 °C.
- ✓ L'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son maximum au mois de juillet 169,12mm et son minimum au mois de janvier 15,1 mm l'ETP total est de l'ordre de 898,78 mm.
- ✓ L'évapotranspiration réelle (ETR) total est de 459,2 mm.
- ✓ La reconstitution de la RFU, commence à se remplir au mois de Novembre et atteint son maximum au mois de décembre et reste ainsi jusqu'au mois d'avril puis elle commence à s'épuiser pour se vider complètement au mois de juin.
- ✓ L'écoulement débute après le remplissage de la RFU (100 mm), au mois de décembre et se termine à la fin d'avril avec un maximum au mois de janvier 118,3 mm et minimum au mois d'avril de l'ordre de 5,5 mm.
- ✓ L'excédent annuel est égal à 310,71 mm.
- ✓ Le déficit agricole s'étalant du mois de juin jusqu'au mois de Octobre avec une moyenne annuelle de 439,58 mm.

4.2.1. Ruissellement (R)

Lorsque la quantité des précipitations est supérieure à la capacité d'infiltration du sol, l'excédent d'eau s'accumule en surface ou dans des flaques. S'il y a un dénivelé, l'eau s'écoule en surface, on parle ici « ruissellement ».

Ce paramètre joue un rôle important sur le bilan hydrologique, il est estimé à partir de deux formules :

- Formule de Tixeront Berkallof :

$$R = P^3/3(ETP)^2 \quad \text{si } P < 600 \text{ mm}$$

- Formule de Tixeront Berkallof modifiée par Romantchouk :

$$R = P^3 / 3 \quad \text{si } P > 600 \text{ mm}$$

Avec :

- **R** : ruissellement en (mm) ;
- **P** : précipitation moyenne mensuelle en (mm) ;
- **ETP** : évapotranspiration potentielle en (mm).

Les résultats du paramètre de Ruissèlement de différentes stations sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Résultats du Ruissèlement pour les stations étudiées (1980-2019).

| stations \ paramètre | P (mm) | R (mm) | R % |
|------------------------|--------|--------|-------|
| Machtet Sarradj | 762.82 | 147.96 | 19.40 |
| Hamala | 981.73 | 315.39 | 32.13 |
| El Kheneg | 769.91 | 152.12 | 19.76 |

4.2.2. Infiltration (I)

L'infiltration est un paramètre important dans le bilan hydrique. Elle est désignée la pénétration des eaux dans le sol et le sous-sol, sous l'action de la gravité et de la pression. Elle dépende de plusieurs facteurs, nous mentionnons :

- La perméabilité et la porosité
- La nature de sol
- Le couvert végétal

Elle peut être calculée par la formule du bilan global :

$$P = ETR + R + I \quad \text{donc} : I = P - ETR - R$$

Avec : **P** : précipitation moyenne annuelle en (mm)

R : Ruissèlement moyenne en (mm)

I : Infiltration en (mm)

Si : I > 0 : les entrées sont supérieure aux sorties.

Si : I < 0 : les entrées sont inférieure aux sorties.

Les résultats du paramètre de l'Infiltration de différentes stations sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Estimation de l'Infiltration par l'équation globale du bilan hydrique pour les stations étudiées (1980-2019).

| stations \ paramètre | P (mm) | R (mm) | ETR (mm) | I (mm) | I % |
|------------------------|--------|--------|----------|--------|-------|
| Machtet Sarradj | 762.82 | 147.96 | 448.12 | 166.74 | 21.86 |
| Hamala | 981.73 | 315.39 | 475.8 | 190.54 | 19.41 |
| El Kheneg | 769.91 | 152.12 | 459.2 | 158.59 | 20.60 |

On remarque que les quantités des eaux du Ruissèlement et d'Infiltration sont faibles par rapport aux autres valeurs des paramètres tels que l'ETP, ETR et l'excédent.

5. Conclusion

De manière générale, l'espace de la trois station qui s'internent (Mechtat Serradj, Hamala, El Kheneg) jouit d'un climat subhumide, caractérisé par une saison longue humide et froide s'étalant du mi de Septembre jusqu'à le mois de Mai ; ou elle reçoit une précipitation moyenne mensuelle atteindre jusqu'à 178,43 mm au mois de Janvier avec une température variées entre 3 et 4 C°. L'autre est une saison sèche courte qui va de Juin à Septembre ; dont les précipitations diminues au mois de Juillet (3,9 mm) et une augmentation de température au mois d'Août (32 à 33 C°).

A partir de l'analyse des facteurs climatiques et les représentations graphiques on distingue :

- La station de Mechtat Serradj a enregistré une pluviométrie de 762,82mm/an avec un taux d'infiltration et de ruissellement de 21.86 % et 19.40 % respectivement.
- La station de Hamala a enregistré une pluviométrie de 981,73 mm/an avec un taux d'infiltration et de ruissellement de 19.41 % et 32.13 % respectivement.
- La station d'El Kheneg a enregistré une pluviométrie de 769,91 mm/an avec un taux d'infiltration et de ruissellement de 20.60 % et 19.76 % respectivement.



Chapitre IV
Hydrologie

1. Introduction

Dans ce chapitre nous s'intéresse à l'analyse morphologique et morpho-métrique du bassin versant pour avoir une idée sur leur comportement hydrologique.

2. Bassin versant du barrage Béni Haroun

Le bassin versant est la référence unité spatiale en science de l'hydrologie .Il est connu comme la zone de drainage d'un lac ou d'une rivière ses affluents et séparés par des fossés de drainage des autres bassins hydrographiques.

Le bassin versant est une unité géographique qui est définie en commençant par une section transversale d'une rivière et qui comprend toute la surface en amont de la section transversale de telle sorte que l'eau entière atterrisse sur cette surface traverse cette section transversale moins en théorie. Cette section transversale est appelée la sortie du bassin hydrographique. Ainsi, le bassin hydrographique est délimité par sa sortie et par les divisions de drainage environnantes.

Le bassin de Béni Haroun est situé dans l'est de l'Algérie ; ses frontières s'étendent au - delà du territoire de Mila Wilaya pour entrer dans d'autres wilayas frontières. Il est situé en grande partie sur le versant méridional du bombement tellien. Il représente à ce titre une zone d'intermédiaire entre les domaines telliens à très forte influence méditerranéenne au nord, et le domaine des hautes plaines à forte influence continentale au sud [18].

Les deux rivières Enndja et Rhumel convergent vers l'extrémité amont de la gorge de Béni Haroun pour former l'oued El Kébir. La confluence est à environ 3 km au sud de l'extrémité supérieure de la gorge. La région drainée par le barrage de béni Haroun est de 7725 km² [17].

2.1 Caractéristiques morpho métriques du bassin versant

Ils existent trois différents paramètres morpho- métriques suivante :

2.1.1 Les indices de taille et de forme

a-Surface

La surface du bassin versant est un caractère plus important ; elle s'obtient par la planimétrie sur une carte topographique après que l'on y ait tracé les limites topographiques et éventuellement hydrogéologiques.

Le bassin de Béni Haroun est de superficie d'environ 5320 km².

b- Longueur

La longueur du talweg principal dans le bassin versant du barrage Béni Haroun est de l'ordre de 160 km.

c-Périmètre

Le périmètre du bassin versant a été calculé afin de délimiter le contour du bassin sur une carte topographique à une échelle réelle, ils ont trouvé le périmètre réel de l'ordre de 305 km.

d- Indice de Gravelius (Kc)

La forme du bassin est donnée par l'indice de GRAVILLIUS (coefficient de capacité) «Kc». Il se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant même surface. Soit :

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Où :

Kc : Indice de compacité de GRAVILLIUS.

P : Périmètre (Km).

S : Surface (Km²).

La valeur de l'indice de compacité dans le cas d'un bassin circulaire est égale à 1, pour notre Bassin d'étude, l'indice de compacité calculé est supérieur à 1, la forme du bassin est donc Allongée, favorise pour une même pluie, des faibles débits de pointe de crue, ceci en raison du temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration.

- **Le rectangle équivalent**

Cette notion a été introduite pour pouvoir comparer des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement.

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - (1,12|K|)^2} \right] ; \quad L = 98,27 \text{ Km}$$

$$l = \frac{K\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - (1,12|K|)^2} \right] ; \quad l = 69,79 \text{ Km}$$

2.1.2 Indices des pentes et des reliefs**a-Reliefs**

Le bassin versant de Béni Haroun est constitué d'un relief compartimenté. Du Nord au sud on peut distinguer les unités suivantes (Fig.18).

- **Le versant nord de la chaîne numidique**

Elle représente les limites supérieures du bassin, qui divisant les hautes plaines au sud du bassin et les plaines côtières. D'orientation Ouest-Est, est composée essentiellement de massifs calcaires jurassique (M'Sid Aicha : 1462m ; Sidi Driss : 1364m), Cette chaîne joue le rôle de ligne de partage des eaux, descend vers les hautes plaines.

- **Les piedmonts Sud-tellien**

Ils conviennent au bassin néogène de Constantine. C'est une grande dépression s'étendant de Mila à l'Ouest jusqu'à Zighoud Youcef à l'Est du bassin. Ils sont limités par les hautes plaines au Sud. Le bassin comporte quelques reliefs calcaires isolés. Il s'agit des djebels Lakhal (1256m) et Kef En Sour (690m) au Nord-Ouest du bassin, Bergli (770m) au Nord. Ils correspondent à des séries charriées vers le Sud pendant la phase alpine.

- **Les hautes plaines constantinoises**

Les hautes plaines constantinoises sont Bornées par l'atlas tellien au Nord et l'atlas saharien au Sud. C'est une couverture de nappes venues du Nord, ces terrains d'âge quaternaire à dominance marneuse et dont les altitudes sont plus ou moins importantes de 800 à 900m, où émergent en horsts des massifs calcaires : djebels Feltene (1113m) ; Teioualt (1285m) au Sud ; Grouz (1187m) au Sud- Oust ; Oum Settas (1326m) au Sud-Ouest Guerioum (1729m), fortas (1477m) au Sud-Est du bassin [14].

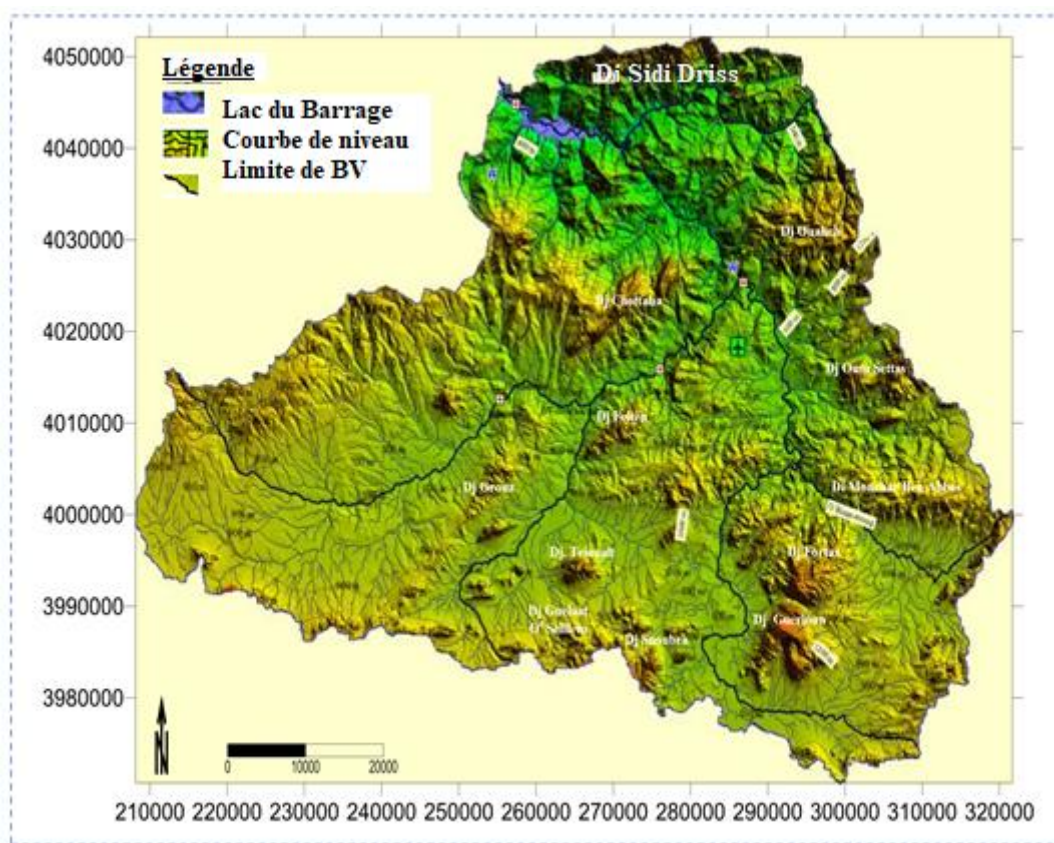


Fig. 18 : carte de Relief du bassin versant Béni Haroun en UTM.WGS84 (Brahmi S.).

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, d'infiltration, et d'évaporation. C'est un élément essentiel dans le comportement hydrologique d'un bassin versant.

Pour avoir une idée générale sur le relief de notre région, nous avons établi la courbe hypsométrique à partir d'une carte hypsométrique

La courbe ci-dessous(**Fig.19**) est obtenue en portant :

-en abscisses, l'altitude considérée

-en ordonnées, la surface partielle du bassin versant qui correspond aux surfaces comprises entre les différentes courbes de niveau (tableau 9) et dans lequel on

Calcule les surfaces cumulées et leurs pourcentages respectifs.

Tableau 9 : Détermination de la courbe hypsométrique (Benchabane N., 2015)

| Altitude | S (Km ²) | S cumulé(Km ²) | S % |
|-----------|----------------------|----------------------------|-------------|
| < 120 | 0 | 0 | 0 |
| 120-200 | 41,22385395 | 41,22385395 | 0,537328649 |
| 200-400 | 443,7969665 | 485,0208204 | 6,321960641 |
| 400-600 | 1136,725123 | 1621,745944 | 21,13850292 |
| 600-800 | 2496,763765 | 4118,509709 | 53,68234761 |
| 800-1000 | 2366,872319 | 6485,382028 | 84,53313384 |
| 1000-1200 | 552,9025747 | 7038,284603 | 91,73989315 |
| 1200-1400 | 386,818142 | 7425,102745 | 96,78183974 |
| 1400-1600 | 44,9062538 | 7670,008999 | 99,97404847 |
| 1600-1650 | 1,991001552 | 7672 | 100 |

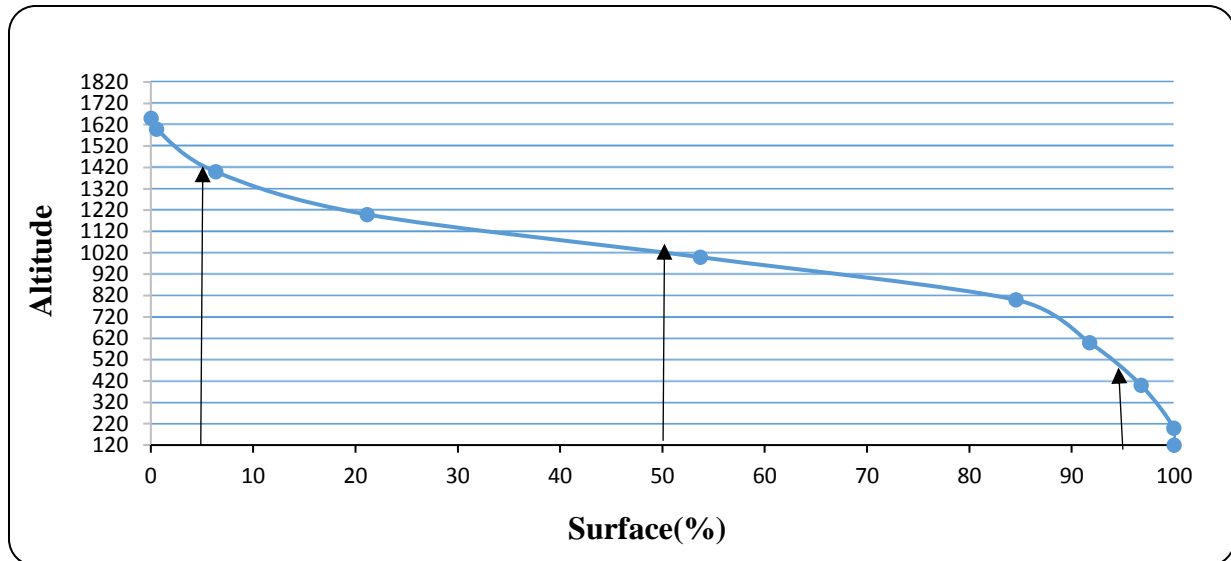


Fig. 19 : Courbe hypsométrique de la zone d'étude

On définit la « Dénivelée D » comme étant la différence de cote entre H 5% et H 95% :

$$D = H 5\% - H 95\%$$

- L'altitude à 95% de la surface, $H_{95\%} = 435\text{m}$
- L'altitude à 50% de la surface, $H_{50\%} = 1020\text{m}$
- L'altitude à 5% de la surface, $H_{5\%} = 1420\text{m}$

b- Les pentes

L'étude des pentes du bassin (Fig.20), permet de faire sortir quatre classes.

- **Les pentes faibles (<5%)**

Cette classe renferme les zones ayant une topographie plus ou moins planes, représentant 50% de la surface totale du bassin, Cette zone regroupe les hautes plaines et les bords des oueds.

- **Les pentes moyennes (5% à 25%)**

Les piedmonts montagneux à savoir : Djebels Kellel, Bergli, Lakhel et Chettaba au Nord-est, Djebels Oum Settas, Felten et Dj. Guerioun au Sud Est appartiennent à la classe des pentes moyennes. Elle représente 32% de la surface du bassin.

- **Pentes fortes (25% à 35%)**

La catégorie des pentes fortes représente 11% de la surface totale du bassin versant. Elle les pentes des versants montagneux.

- **Pentes très fortes (>35%)**

Cette classe regroupe les sommets montagneux, tel que :Dj. Guerioun Nif N'ser au Sud, Djebels Sidi driss, Bit Djezia au Nord du bassin, Dj. Ouahch au Nord-est et Dj. Oum Settas à l'Est. Elle représente un pourcentage de 7% de superficie totale.

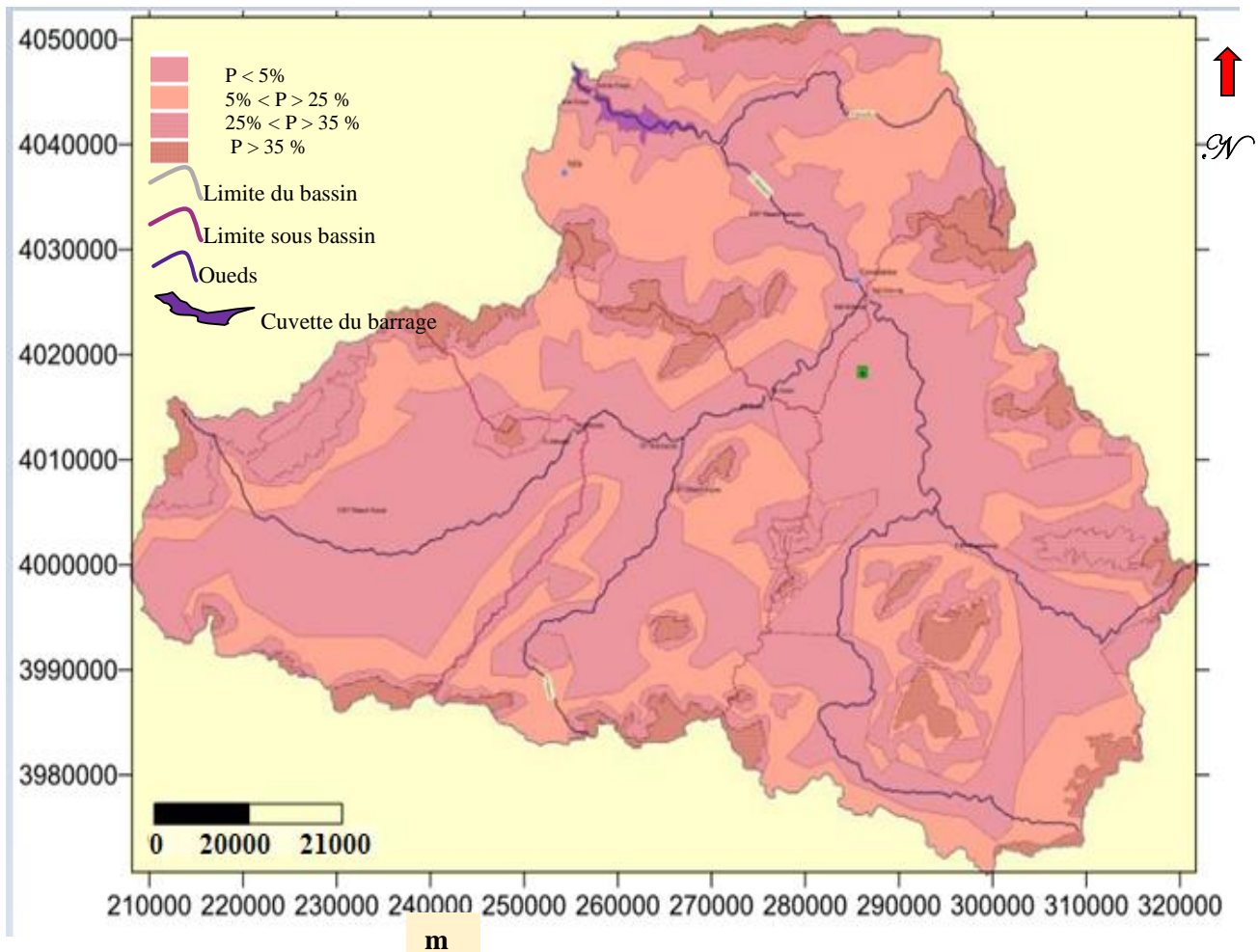


Fig. 20 : Carte de pente du bassin versant béni Haroun en UTM. WGS84. (Brahmi,S)

- L'indice de pente globale(Ig)

$$I_g = D(m)/L (km)$$

- Dénivelé spécifique Ds

$$D_s = I_g \sqrt{A}$$

Tableau 10 : classification des reliefs d'après O.R.S.T.O.M.

| Classe | Type de relief | Ds |
|--------|---------------------|---------|
| C1 | Relief très faible | 10 |
| C2 | Relief faible | 10-25 |
| C3 | Relief assez faible | 25-50 |
| C4 | Relief modéré | 50-100 |
| C5 | Relief assez fort | 100-250 |
| C6 | Relief fort | 250-500 |
| C7 | Relief très fort | +500 |

Pour déterminé les différents types de relief des bassins, quel que soit leurs superficies on utilisant la classification de L’O.R.S.T.O.M (tableau 9), à l’aide de la dénivelée spécifique. On a $D_s = 282,5$ m, cette valeur de la dénivelée indique que les reliefs du bassin versant de Béni Haroun situés dans la sixième classe ($250 \text{ m} < D_s < 500 \text{ m}$) ce qui signifié que ces reliefs sont forts.

2.1.3. Caractéristiques du réseau hydrographique

Parmi les caractéristiques les plus intéressantes du bassin, on cite le réseau hydrographique. Ce dernier se définit comme un ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l’exutoire du bassin versant.

Il se manifeste sous trois éléments : la hiérarchisation, le développement et son profil en long. Le réseau hydrographique du bassin d’étude (Fig.21) est bien développé de l’amont à l’aval, il est évoquée par deux oueds fondamentaux : Oued Rhumel et Oued Enndja, avec les affluents de chaque oued ; et des chaabats plus dense au Sud et à l’Ouest. Cette densité des cours d’eaux porte la fonction d’un exutoire et drainent une superficie importantes. Les mouvements tectoniques qui affectent la région ont une importance sur le réseau d’étude [4].

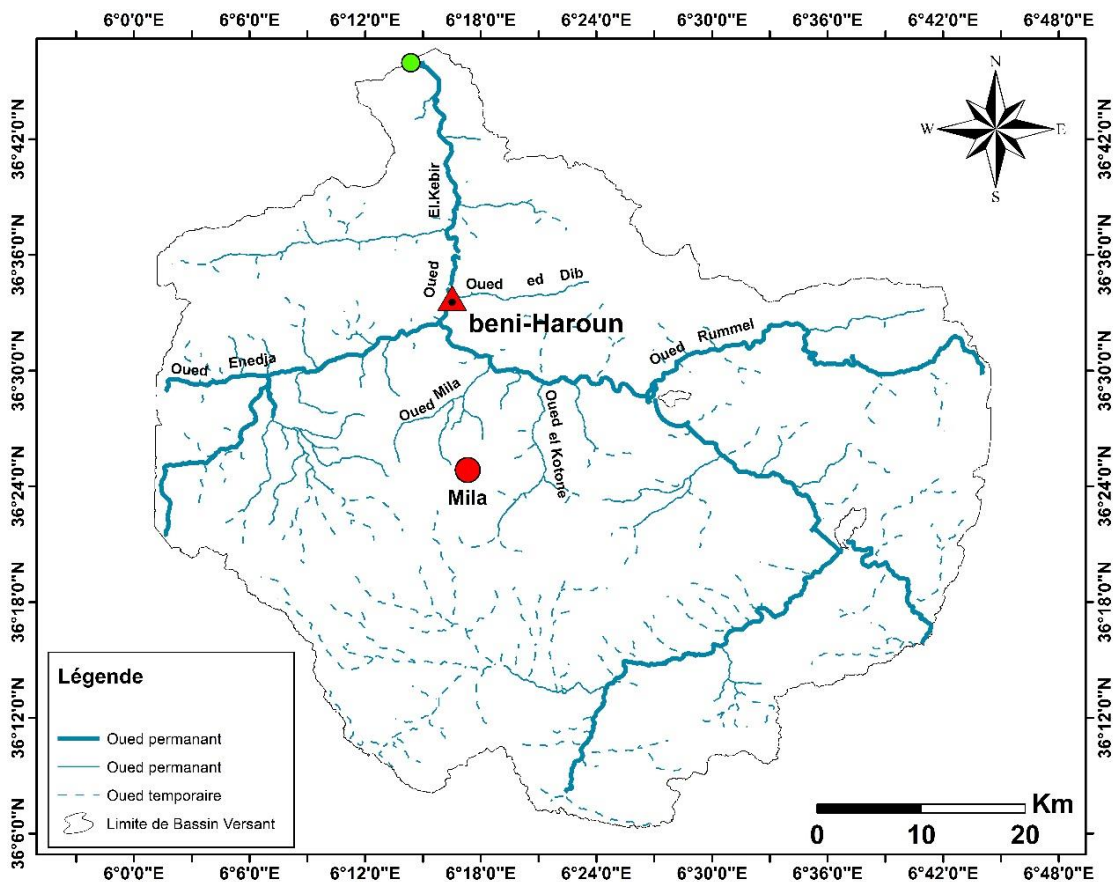


Fig.21 : Carte du Réseaux Hydrographique BV Oued Rhumel

a) Oued Rhumel :

Dans la partie orientale, constituée principalement du bassin d'oued Rhumel qui s'étend du sud au Nord-Est de ce bassin, il est le plus important oued du bassin avec une superficie de 5490 km², d'un linéaire de plus de 123km, donner naissance dans les haute plaines sétifiennes (région de Bellaa), il maintient les gorges de Constantine jusqu'à la confluence de l'oued Enndja.

Cette oued caractérisé par une topographie plus douce et pluviométries modérées et qui traverse deux régions physico climatiques particulier : les hautes plaines semi arides (avec moins de 400 mm de pluies par an), et le piémont Sud-tellien au climat subhumide (600 mm de pluies par an).

b) Oued Enndja

Le bassin versant de l'Oued Enndja est situé à l'Ouest et au Nord- Ouest du Bassin Kébir –Rhumel, à une superficie d'environ 2169 km², D'un linéaire de 15 km, il prend naissance à la confluence de l'oued Kébir et de l'oued Redjas. Son lit a une forme morphologique très intéressante du point de vue hydrogéologique ; caractérisée par une topographie montagneuse et par un climat tempéré et humide (été sec et chaud, hiver doux et humide) et par une pluviométrie relativement élevée (700 mm/an) et un relief accidenté). Dans ce bassin, l'altitude est supérieure à 1 400 m [13].

❖ Les indices du réseau hydrographique

Ces indices permettent la détermination des caractéristiques morphométriques du réseau de drainage.

- **La densité de drainage**

La densité de drainage est définie par le rapport de la longueur totale des cours d'eau de tous ordres sur la surface drainée. Elle est liée par deux facteurs principaux, la lithologie et l'abondance des précipitations.

$$Dd = \frac{\sum Li}{A} \text{ (km/km}^2\text{)}$$

- Le coefficient de torrentialité(Ct)

Tient compte du nombre des cours d'eaux élémentaires dans le bassin versant et de la densité de drainage.

- Le temps de concentration (Tc en heure)

Le temps de concentration des eaux dans un bassin versant est défini comme le temps maximum nécessaire pour qu'une goutte d'eau s'écoule d'un point particulier du bassin versant jusqu'à la sortie du bassin hydrographique.

Il est composé de trois termes différents :

- Temps d'amorçage du ruissèlement (th)
- Temps de ruissèlement (tr)
- Temps d'acheminement (ta)

Le temps de concentration est donc égal au maximum de la somme de ces trois temps :

$$T_c = \max (\Sigma (th + tr + ta))$$

Tableau11 : Récapitulatif des paramètres morphométriques du bassin versant de Béni Haroun. (Paramètres calculés à partir des cartes topographiques au 1/50 000, d'après A.N.R.H., Alger, modifiée)(In Brahmi S.)

| Paramètres | Symbole | Valeur | Unité |
|----------------------------------|--------------|--------|--------------------|
| Superficie | S | 5320 | km ² |
| Périmètre | P | 305 | km |
| Indice de compacité | Kc | 1,17 | |
| Longueur du talweg principal | Lp | 160 | km |
| Longueur du rectangle équivalent | L | 98,27 | km |
| Largeur du rectangle équivalent | l | 69,79 | km |
| Altitude maximale | H min | 150 | m |
| Altitude minimale | H max | 1729 | m |
| Altitude moyenne | H moy | 806 | m |
| Dénivelée spécifique | Ds | 282,5 | m |
| Indice de pente globale | Ig | 3,87 | m/km |
| Densité de drainage | Dd | 2,84 | Km/Km ² |
| Coefficient de torrentialité | Ct | 12,38 | |
| Temps de concentration | Tc | 25,95 | h |

Conclusion

La synthèse de L'analyse des paramètres morphométriques du bassin versant Béni Haroun nous a permis de dégager les principaux paramètres (forme, pente, relief) qui ont une influence certaine sur le dynamisme des eaux surtout superficielles, qui y circulent .

Le bassin versant à une superficie de 5320 km². Caractérisé par une indice de Gravillius égale à 1,17 donc il favorise une forme rectangulaire (allongée), les précipitations mettent plus de temps pour atteindre l'exutoire où la retenue du barrage Béni Haroun ; La longueur et la largeur du rectangle équivalent avec des valeurs respectivement de 98,27 km et 69,79 km.

Le relief de la région d'étude distingue un aspect orographique important, il a des reliefs très accidenté montrant des contrastes topographiques remarquables avec des massifs culminants à des hauteurs très élevés et des vallées profondes.

La dénivelée spécifique est de 282,5 m et l'indice de pente globale $I_g > 0,1$ (3,87 m/km) ce qui signifie un relief fort selon la classification de l'O.R.S.T.O.M. (250 m < Ds < 500m).



Chapitre V
Hydrochimie

1. Introduction

La composition chimique d'une eau joue un rôle très important dans la détermination de sa qualité.

L'étude hydrochimique permet de mettre en évidence :

- Les relations pouvant exister entre l'eau et les formations qu'elle traverse.
- D'approcher l'origine des eaux ainsi que leur potabilité.

Dans ce chapitre nous allons essayer de traiter les différents paramètres physicochimiques, et d'apprécier la qualité des eaux de Barrage Béni Haroun pour l'Alimentation en Eau Potable (AEP).

On fait l'analyse des données chimique d'un période de sept mois (07) allant de Décembre 2017 jusqu'au Août 2018.

2. Étude les différents paramètres physico-chimiques

2.1 Variations temporelles des paramètres

2.1.1 Le potentiel hydrogène « pH »

Le pH est l'un des caractéristiques fondamentales de l'eau. Celui-ci est représentatif de la concentration en ion H^+ (hydrogène) contenue dans La solution. Il s'exprime l'alcalinité ou l'acidité du milieu. Les équilibre physico-chimiques sont conditionnes par le pH. La valeur du est à prendre en considération lors de la majorité des opérations de traitement de l'eau, surtout lorsque celle-ci font appel à une réaction chimique [15].

Pour calculer ce pH on utilise la formule :

$$pH = - \text{Log} [H_3O^+]$$

- Pour un $pH = 7 \rightarrow$ Solution neutre.
- Pour un $pH > 7 \rightarrow$ Solution basique.
- Pour un $pH < 7 \rightarrow$ Solution acide.

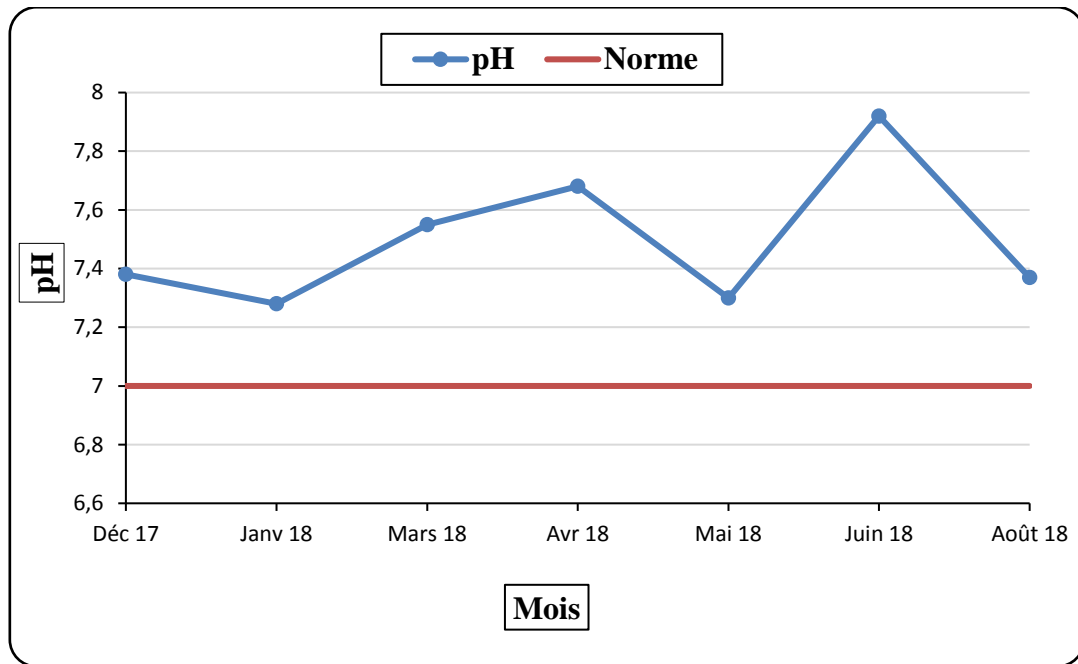


Fig. 22 : Variation mensuelle de Potentielle hydrogène des eaux du Barrage Béni Haroun.

La figure 22 représente les valeurs du pH des eaux du barrage Béni Haroun durant la période de (Décembre 2017- Août 2018). Elles sont comprises entre 7,28 et 7,92. La valeur maximale a été enregistrée au mois de Juin et le minimum au Janvier.

Cette variation du pH reste dans les normes de potabilité qui font jusqu'au 9. Ce sont donc des eaux légèrement alcalines.

2.1.2. Résidu sec

Le résidu sec exprime la totalité des sels dissous dans l'eau et des suspensions organiques et minérales obtenu par pesées (évaporation à 110°C / 24 h) [10].

Il donne une indication du degré de minéralisation de l'eau. Le taux du RS ne doit pas dépasser 1000 mg par litre. Plus ce taux de résidu sec est faible, l'abondance des minéraux dans l'eau moins.

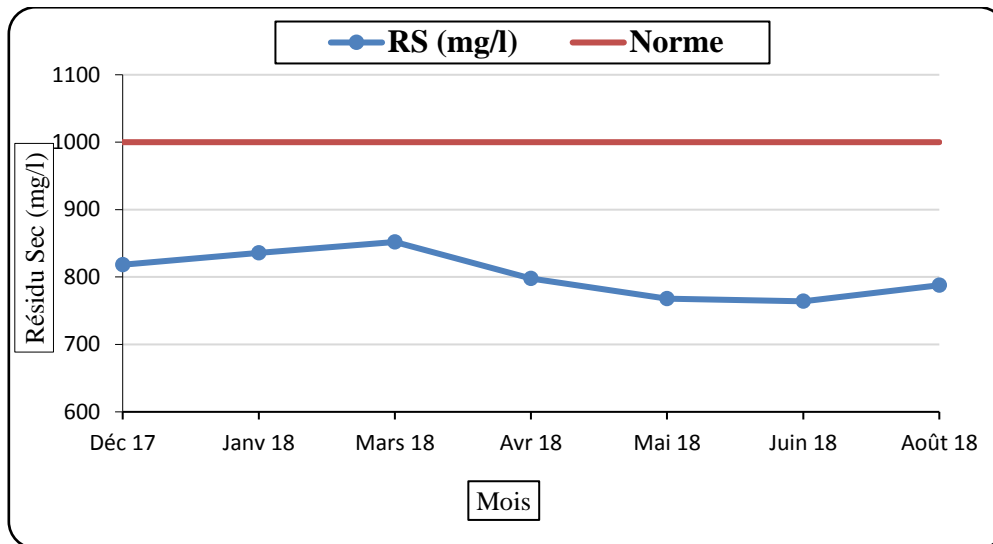


Fig.23 : Variation mensuelle de résidu sec des eaux du Barrage Béni Haroun.

D'après la courbe de variation du résidu sec (**Fig.23**), on remarque que tous les concentrations ne dépassent pas la norme. La concentration la plus élevée du RS est marquée dans le mois du Mars de l'ordre de 852 mg/l, or la plus faible enregistrée au mois de Juin avec 764 mg/l. la variation du résidu sec montre une minéralisation moyenne des eaux du barrage de Béni Haroun.

2.1.3 Oxygène dissous OD

L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de L'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette concentration en oxygène dissous est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau [6].

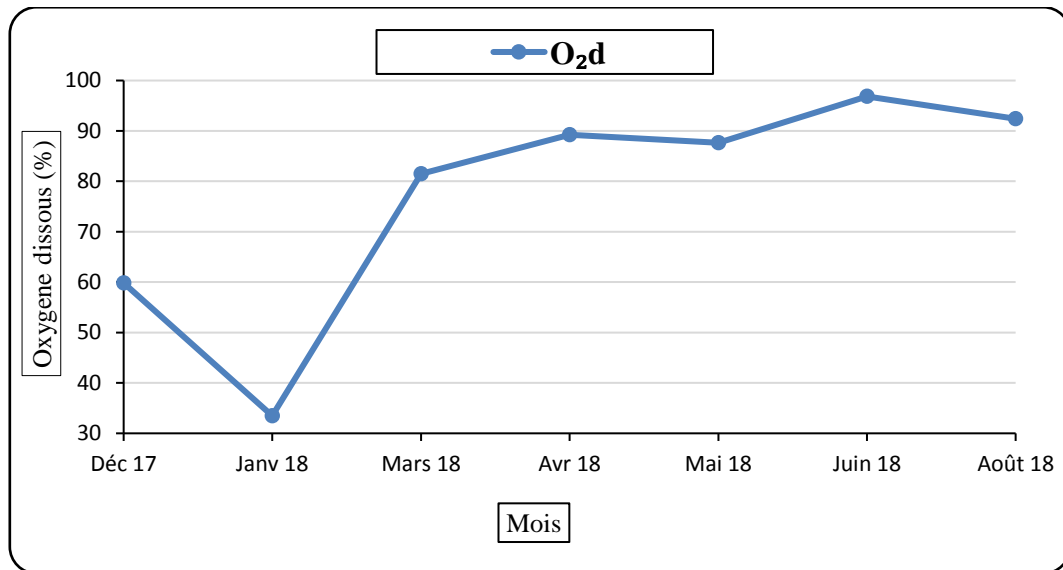


Fig.24 : Variation mensuelle d'oxygène dissous des eaux du Barrage Béni Haroun.

Les résultats des analyses montrent que les eaux du barrage présentent des concentrations de la teneur en Oxygène dissous très variable et irrégulière d'un mois à l'autre. La courbe (figure24) visualise deux parties remarquables, l'une représente les concentrations les plus faibles englobes dans la saison hivernale (Décembre et Janvier) ; l'autre représente les teneurs les plus élevées appartiennent à la saison estivale (Mars jusqu'au Août). Ces concentrations varient entre 33,49 % en Janvier et 96,84% en mois de Juin.

2.1.4. Cycle d'azote

La minéralisation de l'azote organique donne lieu à la formation d'ammonium (NH_4^+) qui sera transformé en nitrites (NO_2^-) et après en nitrates (NO_3^-).

- L'ammonium (NH_4^+) est un bon traceur de la pollution domestique (rejets humains).
- Les nitrites (NO_2^-) est la forme intermédiaire entre l'ammonium et les nitrates, issus de processus de nitrification. Sa présence dans le milieu aquatique est à l'origine d'un Déséquilibre d'oxygénation de la flore bactérienne dans le milieu aquatique, ou à des températures faibles ralentissant les processus bactériens.
- Les nitrates (NO_3^-), représentent la forme oxydée finale de l'azote après l'étape de la nitratisation correspondant à la transformation des (NO_2^-) en (NO_3^-).
- Les concentrations élevées de ce composé proviennent principalement du lessivage des sols agricoles (engrais), des rejets urbains et industriels [5].

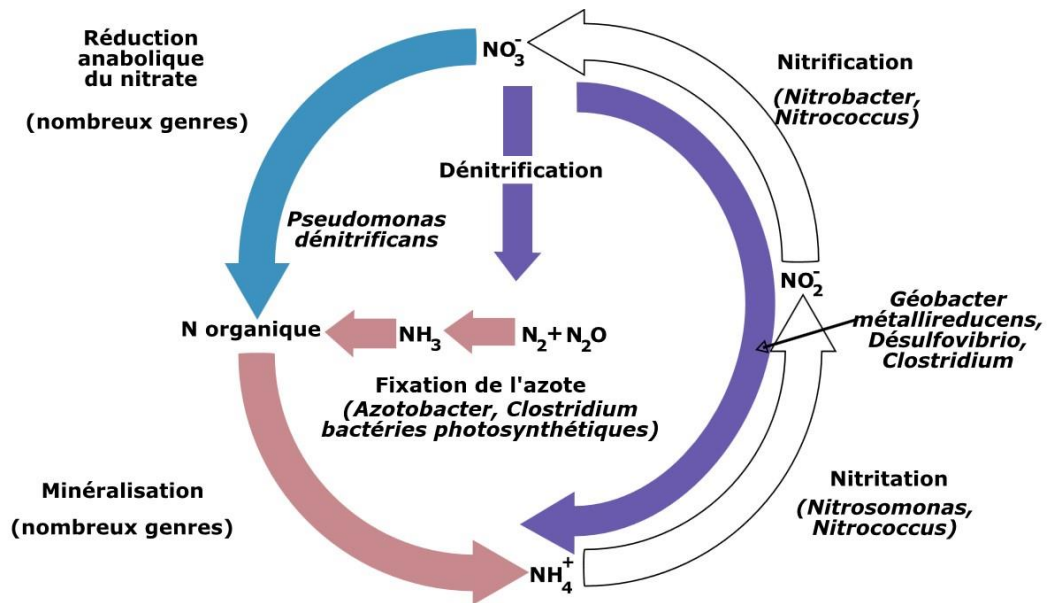


Fig. 25 : cycle d'azote (Zsolnay A, Baigar E, Jimenez M, et al. 1999)

A. L'Azote ammoniacal (NH_4^+)

L'azote ammoniacal est fréquent dans les eaux superficielles. Il a pour origine la matière organique végétale et animale des cours d'eau. La nitrification des ions ammonium se fait en milieu aérobie faible. En général, l'ammonium se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation bactérienne [12].

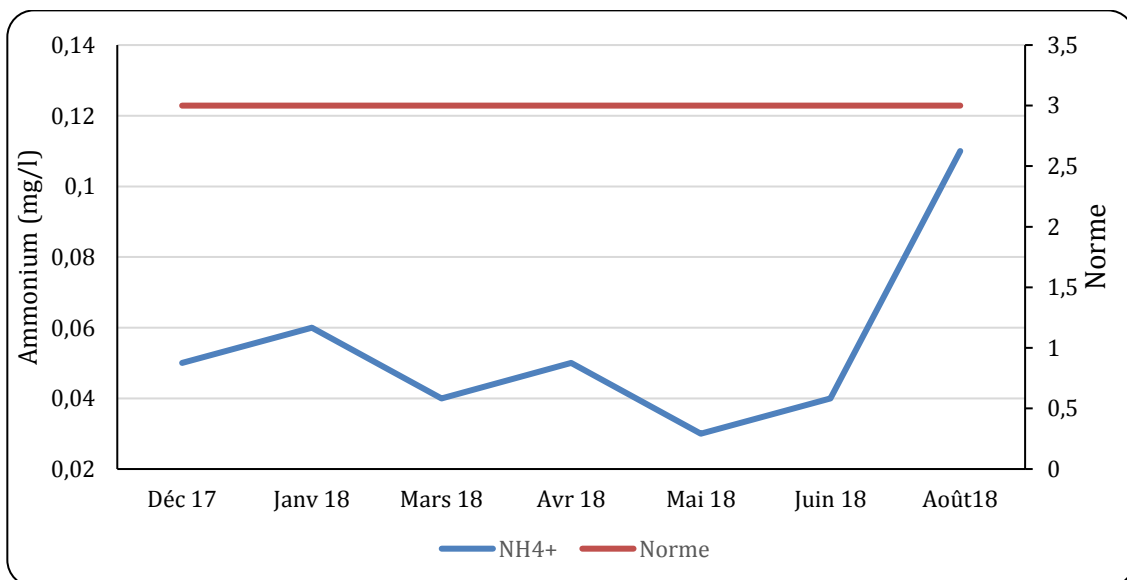


Fig.26 : Variation mensuelle de L'Azote ammoniacal des eaux du Barrage Béni Haroun.

La mesure des ions de l'ammonium dans les eaux du barrage donne des valeurs très faibles par rapport aux normes de potabilité. Cette pauvreté est le résultat de la dégradation continue de l'ammonium avec le temps en Nitrite. L'azote ammoniacal peut provenir des

rejets urbains, domestique ou agriculture, recueillent par la cuvette du barrage. Ses teneurs varient entre 0.03 mg/l au mois de Mai et 0.11 mg/l au mois d’Août.

La teneur en azote ammoniacal dans les eaux naturelle devrait être relativement faible, puisque l’ammoniaque est oxydée graduellement en Nitrite et en Nitrate [9].

B. les Nitrites (NO_2^-)

L’azote nitreux représente une forme moins oxygénée et moins stable représentant ainsi la forme du passage entre les nitrates et l’ammonium. Il s’agit d’une forme toxique, Les nitrites sont dus à l’effet de l’oxydation de la forme ammonium [6].

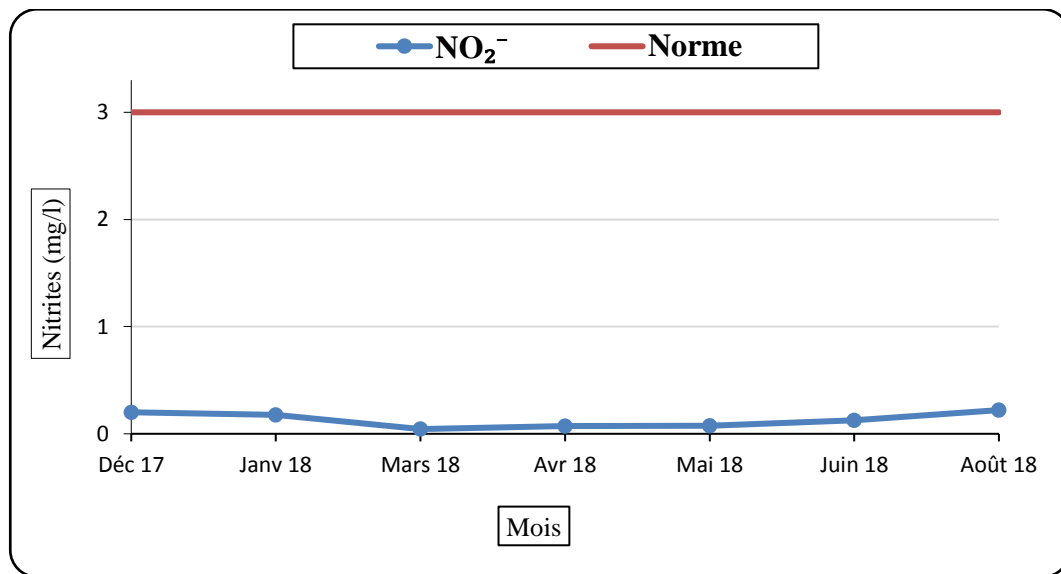


Fig.27 : Variation mensuelle du Nitrite des eaux du Barrage Béni Haroun.

Les variations des teneurs en nitrites dans les eaux du barrage de Béni Haroun sont très faibles par rapport aux normes internationales (3 mg/l). Ses concentrations allant de 0.044 mg/l au mois de Mars, au 0.221 mg/l au mois d’Août. Cette pauvreté due essentiellement à la transformation rapide et directe du nitrite en nitrate.

C. Les Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l’oxydation de l’azote organique. Les sources naturelles principales de nitrates sont les pluies et les interactions des sols avec la végétation. Les sources anthropiques par ailleurs nombreuse, le plus souvent liée au lessivage d’engrais, à L’élevage et aux rejets domestiques et industriels [12].

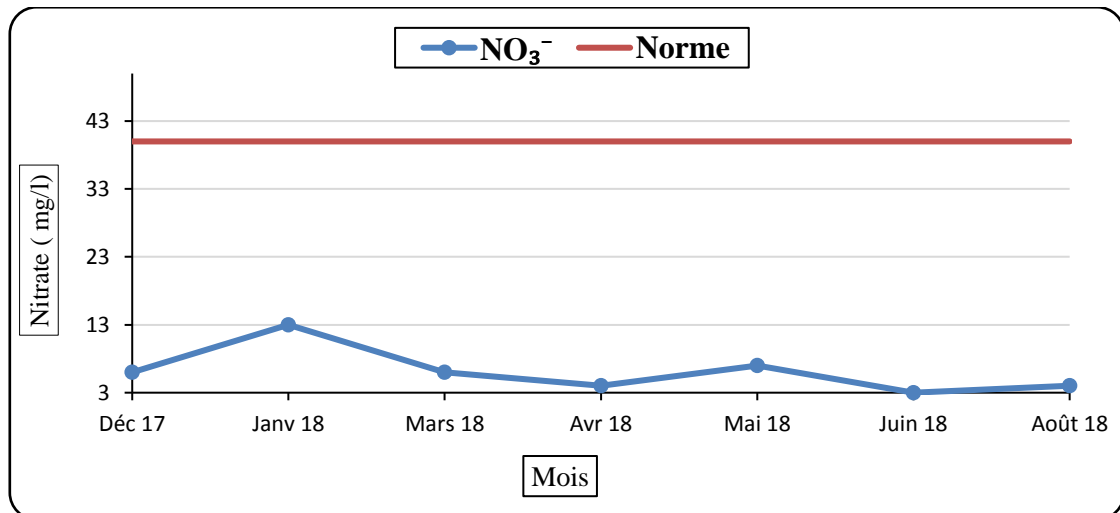


Fig.28 : Variation mensuelle du Nitrate des eaux du Barrage Béni Haroun.

La courbe des variations des teneurs des nitrates est inversement proportionnelle généralement avec celle des variations des teneurs de l'azote ammoniacal. Elles baissent lorsque NH_4^+ augmentent et inversement. La concentration la plus faible a été enregistrée au mois de Juin, tandis que, le mois de Janvier marqué par celle la plus élevée, ses teneurs oscillent entre 3 mg/l et 13 mg/l respectivement.

2.1.5 Phosphate (PO_4^{3-})

Les phosphates sont des éléments essentiels à la vie aquatique car ils sont considérés comme étant un sel nutritif mais avec des taux très limités. Les phosphates fait partie des anions facilement fixé par le sol, leur présence naturelle dans l'eau est liée au caractéristiques des terrains traversés et la décomposition de la matière organique [2].

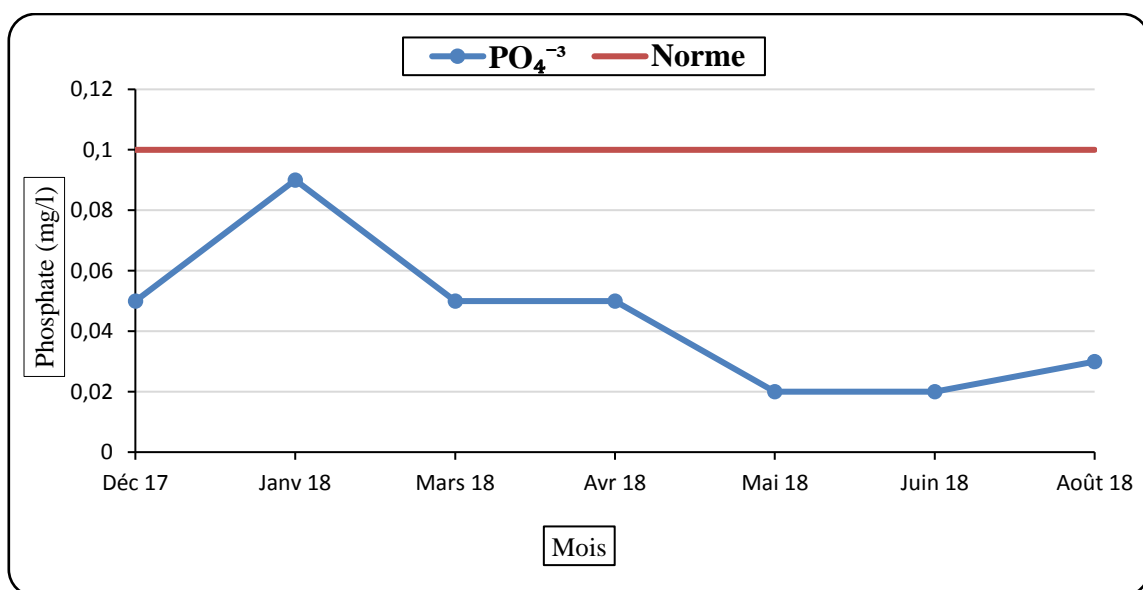


Fig.29 : Variation mensuelle du Phosphate de l'eau du Barrage Béni Haroun.

Les eaux du barrage de Béni Haroun ont des concentrations faibles du phosphate, elles sont inférieures aux normes de la potabilité (0.1 mg/l). Ses teneurs oscillent entre 0,02mg/l comme valeur minimal et une maximal de 0.09 mg/l, enregistrées respectivement au mois de (Mai, Juin) et Janvier.

On signale une relation proportionnellement inverse entre l'oxygène dissous et les phosphates dans quelque mois du période d'étude. Cette variation dans les concentrations des phosphates due probablement de la dégradation des matières organique par des micro-organismes existes dans les eaux du barrage d'un côté, de l'autre côté, les phosphates ont une origine agricole par le lessivage des terrains encaissants.

2.1.6 Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

C'est la demande biochimique en oxygène en 5 jours (DBO₅), à 20°C et à l'obscurité. Elle est considérée parmi les mesures globales qui permettent de caractériser les eaux résiduaires et les eaux de surface [19].

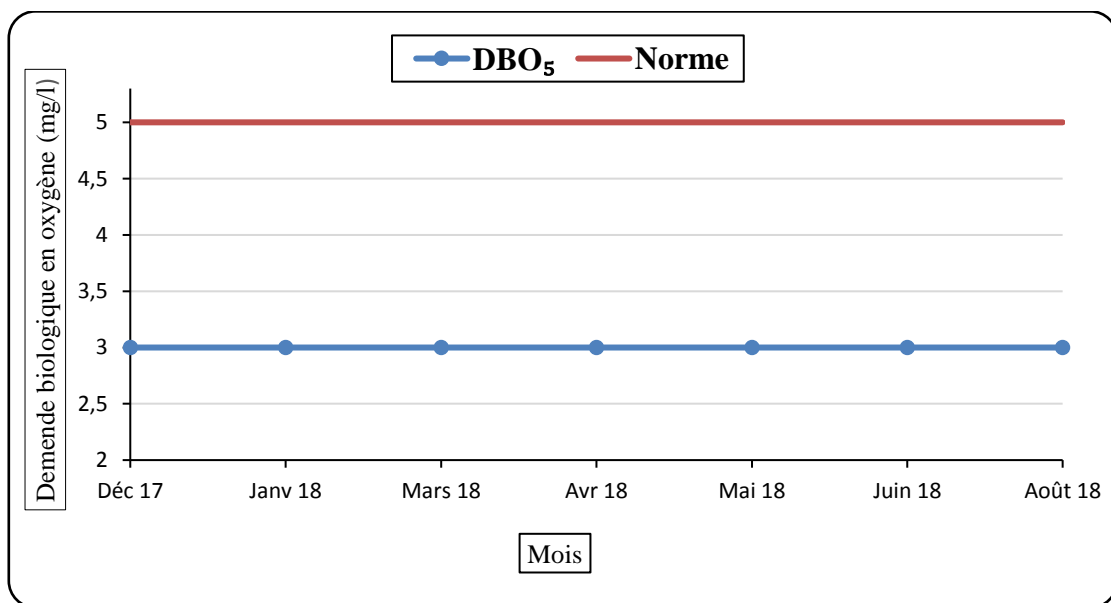


Fig.30 : Variation mensuelle de la demande biochimique en oxygène de l'eau du Barrage Béni Haroun.

La demande biochimique en oxygène pour les eaux du barrage béni Haroun reste constante pendant toute la série des mois de la période d'étude. La concentration du DBO₅ est inférieure aux normes de potabilité, elle est égale 3 mg /l au cours de la période d'étude.

2.1.7 Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène nécessaire pour obtenir une oxydation complète des matières organiques et minérales présentes dans l'eau. Certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromate de potassium, en

milieu acide en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium [20].

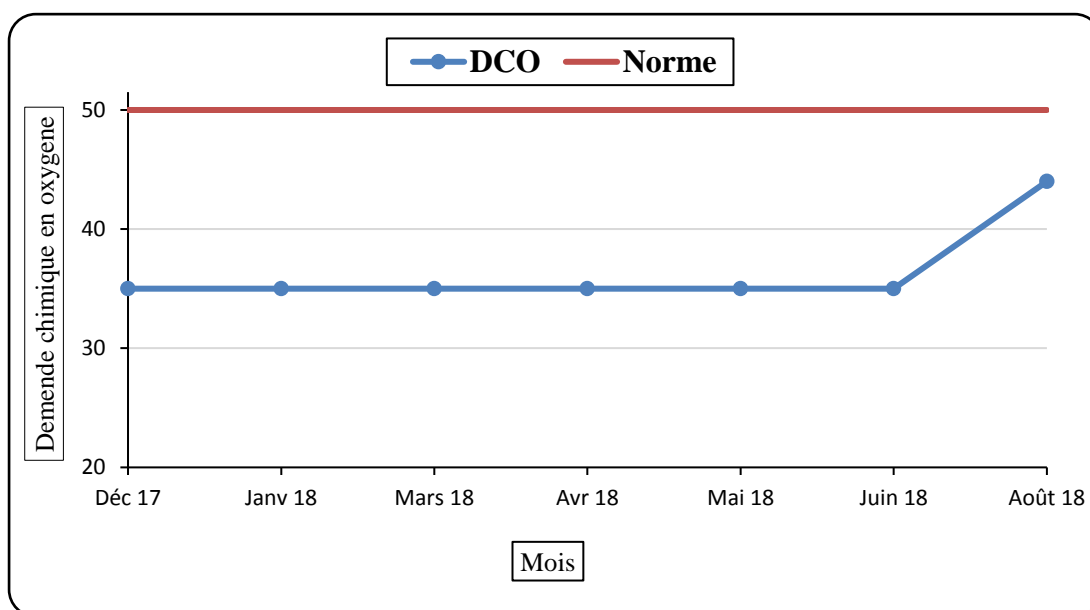


Fig.31 : Variation mensuelle de la demande chimique en oxygène des eaux du Barrage Béni Haroun.

La demande chimique en oxygène dans les eaux du barrage reste constante dans la majorité des mois de la période d'étude, sauf le mois d'Août où la DCO prend une valeur de 44 mg/l. ses concentrations demeurent inférieures à la norme de potabilité des eaux.

L'augmentation de DCO au mois d'Août peut être liée à l'évaporation des eaux du barrage, ce mois caractérisé par un degré de température élevée et une précipitation très faible.

2.1.8 La matière organique MO

La matière organique dans les eaux superficielles englobe une importante variété de molécules d'origine organique. Ce sont les molécules de petite taille qui posent un problème pour le traitement des eaux brutes destinées à la consommation humaine.

Cette matière organique se trouve naturellement dans l'eau lorsqu'elle résulte du lessivage des sols (source exogène au milieu aquatique) ou qu'elle dérive de la biomasse aquatique (source endogène) [6].

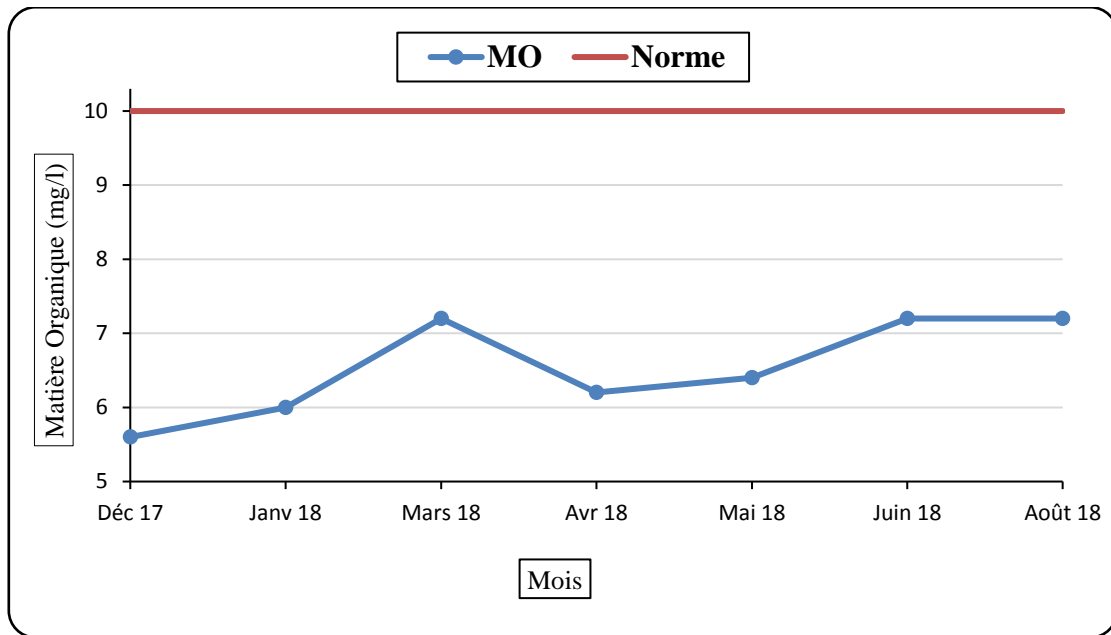


Fig.32 : Variation mensuelle de la matière organique des eaux du Barrage Beni Haroun.

La courbe de la matière organique montre une variation très restreinte dans un intervalle de concentration allant de 5,6 mg/l à 7,2 mg/l. Les quantités de la matière organique existantes dans les eaux du barrage béni Haroun restent inférieures à la norme de 10 mg/l au cours de la période de la suivi, elles ne posent pas des problèmes lors du traitement des eaux brutes.

2.1.9 Le rapport DCO/DBO₅

Le rapport est un indice de la biodégradabilité, la provenance et l'origine des pollutions organiques.

- Le rapport tend vers à 1 indique une très bonne biodégradabilité.
- Entre 1 et 2 : Eaux usées provenant d'industries agroalimentaires.
- De 2 à 3 : Eaux résiduaires urbaines.
- De 3 à 4 : Eaux usées moins facilement biodégradable.
- > 4 : Effluent difficilement biodégradable.

L'examen des résultats obtenus du rapport DCO/DBO₅ (Figure 33), montre que

La majorité écrasante des valeurs sont supérieures à 1, ce qui implique qu'une grande partie de la matière organique est difficilement biodégradable, cela peut-être expliqué par une pollution principalement industrielle provienne des zones industrielles situées au-dessus de la cuvette du barrage (ex : Constantine, Mila...).

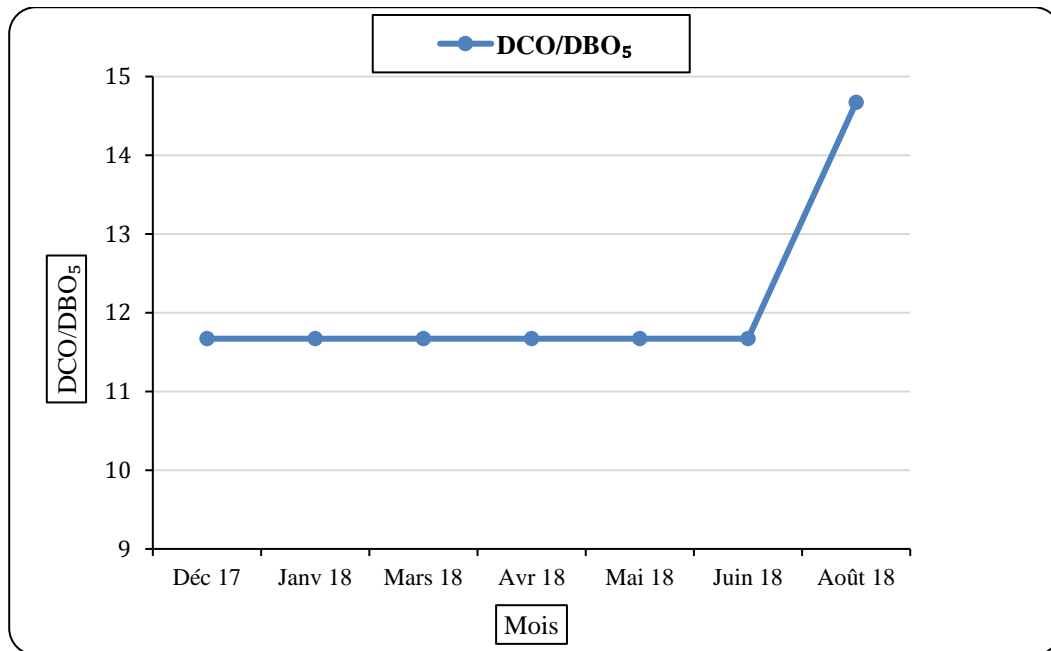


Fig.33 : Évolution de la teneur en DCO/DBO₅ en fonction du temps.

2.2 Variations des différents paramètres en fonction du Volume

2.2.1 Résidu Sec/Volume

La mesure du Résidu sec constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau. La figure 34 représente la variation du résidu sec et le volume d'eau du barrage en fonction du temps. L'interprétation des courbes se fait en deux parties ; la première partie montre une relation proportionnelle entre le volume d'eau et le résidu sec, cette partie renferme les mois les plus pluvieux (Décembre, Janvier et Mars). La deuxième partie visualise une relation proportionnellement inverse entre la minéralisation des eaux et leur volume dans les mois d'Avril, Mai, Juin et Août de la même année. Cette variation peut être interprétée par l'augmentation progressive de la pluviométrie durant l'année hydrologique et par conséquent, l'érosion des terrains.

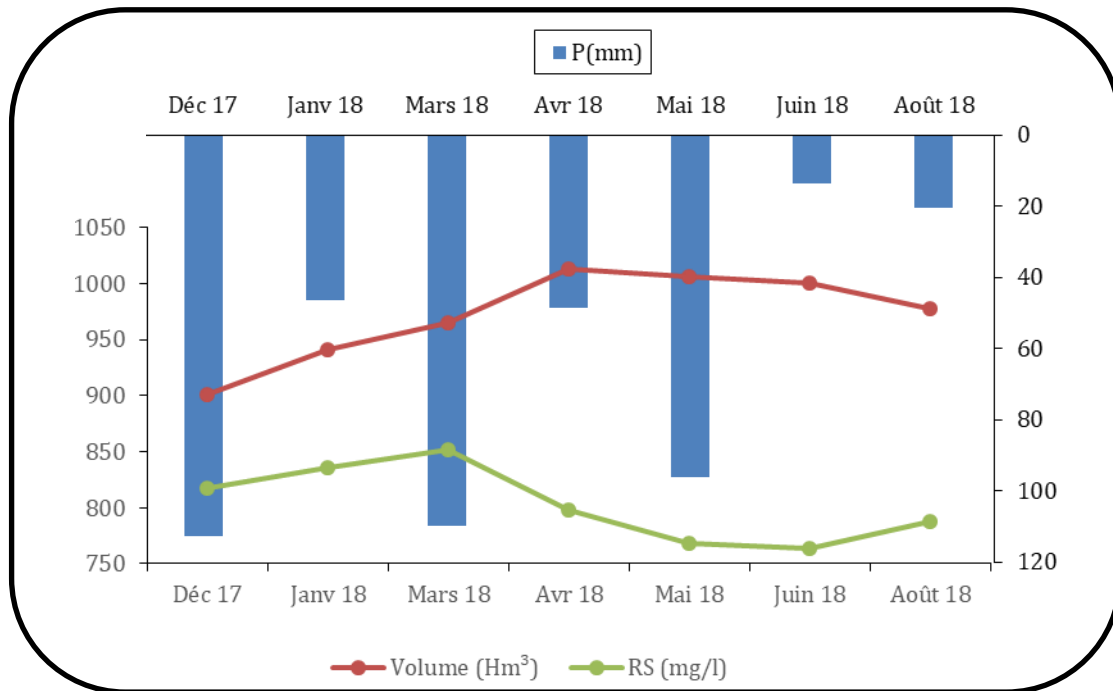


Fig.34 : Évolution de résidu sec en fonction du volume de barrage de béni Haroun.

2.2.2 Volume / NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} et O_2d

L'analyse des données a été faite en deux saisons différentes, l'une sèche et l'autre humide.

L'oxygène dissous (figure 35), évolué proportionnellement avec le volume d'eau du barrage en fonction du temps.

Les nitrates varient inversement avec les nitrites et le volume d'eau pendant la période d'étude.

Les nitrites et l'ammonium évoluent parallèlement entre eux et le volume dans les trois premiers mois (Décembre, Janvier et Mars), et inversement avec le volume d'eau pendant les autres mois (Avril, Mai, Juin et Août).

Les phosphates bouleversent inversement avec le volume des eaux du barrage de Béni Haroun. Ce bouleversement est dû essentiellement du phénomène de la dilution (i.e. l'augmentation de la précipitation) d'un côté. De l'autre côté, est le résultat de l'introduction des engrais à la greffe dans la première période (premiers six mois de l'année). Ce qui explique l'augmentation de la courbe de variation des phosphates dans les quatre mois (Décembre, Janvier, Mars et Avril), et l'abaissement dans les autre mois (Mai, Juin et Août).

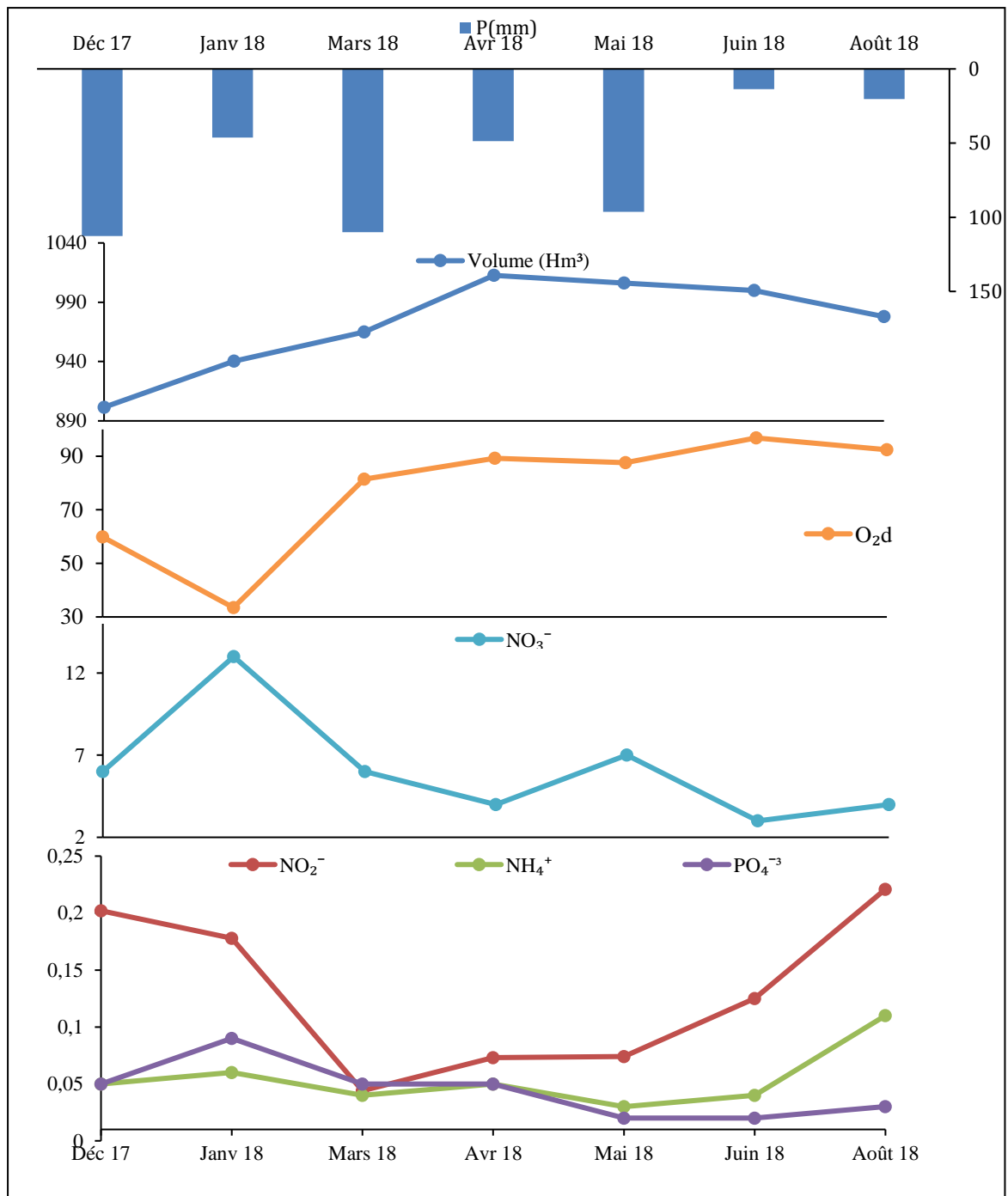


Fig.35 : Évolution des éléments nutritifs en fonction du volume de barrage de béni Haroun.

2.2.3 Volume / DBO₅, DCO, MO et O_{2d}

L'évolution des paramètres de la qualité en fonction du volume de barrage (figure 36) révèle une relation proportionnellement inverse entre la matière organique et l'oxygène dissous d'une part, et proportionnellement entre l'O_{2d} et MO avec le volume de l'autre part.

L'abaissement de l'oxygène dans les eaux dues de la biodégradabilité de la matière organique.

L'augmentation de la matière organique en fonction du volume des eaux peut être attribuée à l'érosion pendant la saison humide et les rejets industriels et domestiques riche en matière organique.

Les courbes du DBO₅ et DCO évoluent indépendamment avec le volume d'eau, elle n'existe aucune relation apparente entre eux. Les concentrations du DBO₅ et du DCO restent constantes généralement durant toute la période d'étude, or, le volume augment après un abaissement et rebaisé encore une fois après l'augmentation.

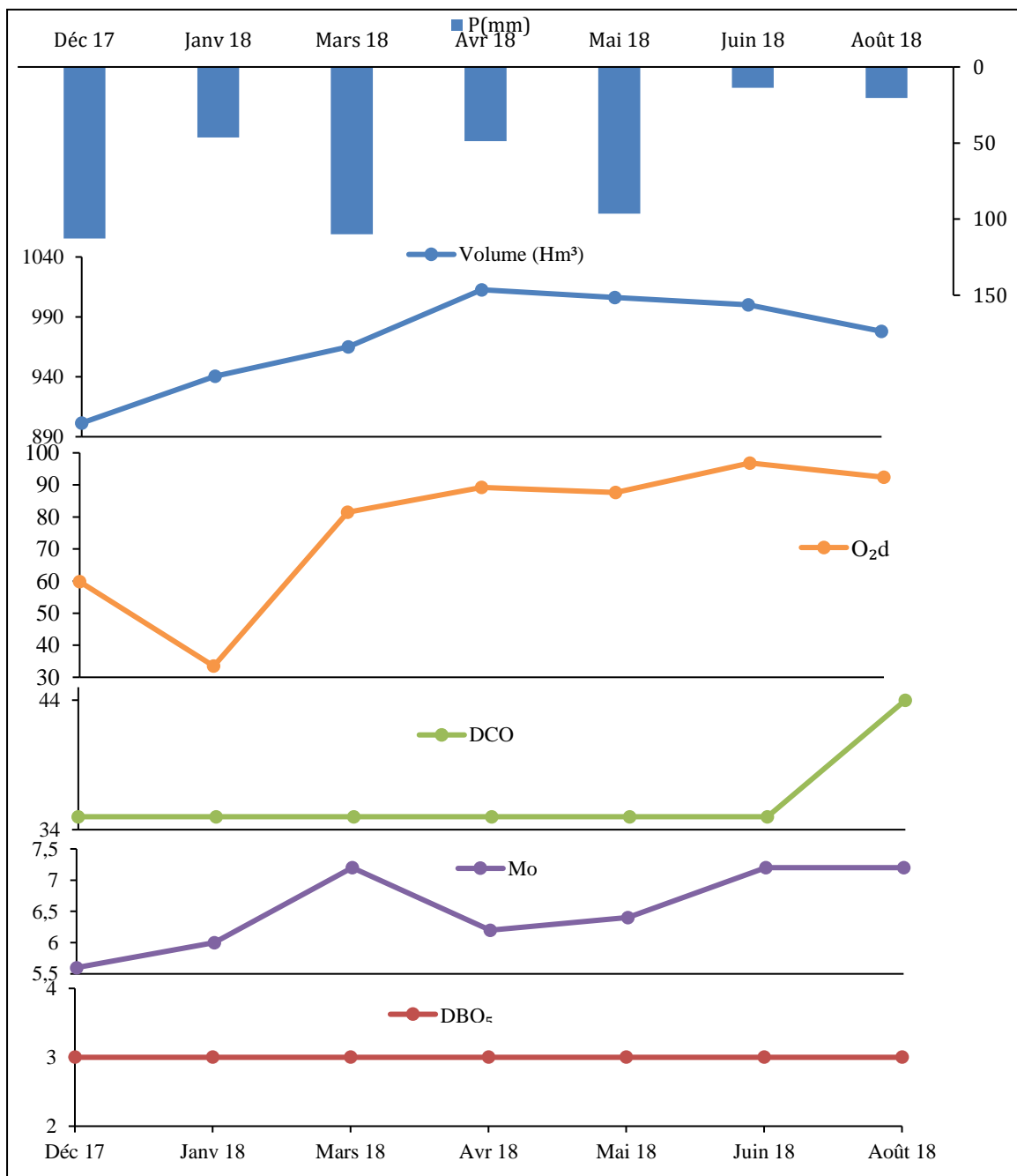


Fig.36 : Évolution des paramètres de la qualité en fonction du volume du barrage de béni Haroun

2.3 La classification des eaux du barrage

L'appréciation de la qualité des eaux repose sur la comparaison des teneurs en diverses éléments chimiques analysés (souvent appelées paramètres) à des normes ou seuils (tableau 12).

L'ensemble des seuils pour les paramètres pris en compte constitue une grille de qualité, grâce à laquelle il est possible d'attribuer une classe de qualité des eaux de barrage.

Définition des quatre classes de qualité :

- * Classe I : Eau de bonne qualité, utilisée sans exigence particulière.
- * Classe II : Eau de qualité moyenne, utilisée après un simple traitement.
- * Classe III : Eau de mauvaise qualité, ne peut être utilisée qu'après un traitement très poussé.
- * Classe IV : Pollution excessive, ne peut être utilisée qu'après traitements spécifiques et très onéreux.

Tableau 12 : Grille de qualité des eaux de barrages adoptée par l'ANRH 2009

● Grille pour estimer la qualité générale de l'eau

| Classes paramètres | I | II | III | IV |
|-----------------------|----------|-----------|-----------|-------|
| Résidus sec mg/l | 300-1000 | 1000-1200 | 1200-1600 | >1600 |
| Oxygène diss % | 90-100 | 50-90 | 30-50 | <30 |
| DBO ₅ mg/l | < 5 | 5_ 10 | 10 _ 15 | >15 |
| DCO mg/l | < 20 | 20_40 | 40_50 | >50 |
| MO mg/l | < 5 | 5_10 | 10_15 | >15 |

● Grille de la classification de la pollution des eaux

| Eléments (mg/l) | Situation normale | Pollution modérée | pollution notable | pollution importante |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| PO ₄ ⁻³ | ≤ 0,01 | 0,01 _ 0,1 | 0,1 _ 3 | >3 |
| NH ₄ ⁺ | ≤ 0,01 | 0,01 _ 0,1 | 0,1 _ 3 | >3 |
| NO ₂ ⁻ | ≤ 0,01 | 0,01 _ 0,1 | 0,1 _ 3 | >3 |
| NO ₃ ⁻ | ≤ 10 | 10 _ 20 | 20 _ 40 | >40 |

Avec :

| | |
|---|--------------|
| 1 | Décembre2017 |
| 2 | Javier 2018 |
| 3 | Mars 2018 |
| 4 | Avril 2018 |
| 5 | Mai 2018 |
| 6 | Juin 2018 |
| 7 | Aout 2018 |

Le tableau 13 présent une classification de la qualité des eaux du barrage Béni Haroun en fonction des paramètres de potabilité (R_s , O_{2d} , DBO_5 , DCO , Mo , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-}). Cette classification nous donne trois classes des eaux du barrage.

Classe I : renferme toutes les eaux du barrage par rapport au résidu sec et DBO_5 .

Cependant, elle renferme aussi toutes les eaux du barrage sauf l'eau du mois de Janvier où elle est à la deuxième classe par rapport Nitrate. Et les eaux du mois de Juin et Août par rapport à l'oxygène dissous. Ses eaux est de bonne qualité, utilisée sans exigence particulière.

Classe II : la classe des eaux de qualité moyenne, où on peut les utilisées après un simple traitement, contient la majorité des eaux du barrage par rapport à l'oxygène dissous, DCO et l'ammonium. Et les eaux des mois de Mars, Avril et Mai pour les nitrites. Et toutes les eaux par rapport à la matière organique et les phosphates. Ses eaux peut contient une pollution modérée.

Classe III : elle renferme les eaux de mauvaise qualité, ne peut être utilisée qu'après un traitement très poussé, avec une pollution notable.

Cette classe contient les eaux du mois de Décembre pour les nitrites, et le mois de Janvier pour les nitrites et l'oxygène dissous, le mois de Juin par rapport au nitrite et le mois d'Août pour les nitrites, l'ammonium et DCO .

Tableau 13 : Classification de qualité des eaux de barrage béni Haroun par apport à la grille adoptée par l'ANRH 2009.

| Classes Elements | I | II | III | IV |
|--------------------------------------|----------------|----------------|---------|----|
| Rs (mg/l) | 1, 2,3,4,5,6,7 | | | |
| O ₂ d (%) | 6,7 | 1,3,4,5 | 2 | |
| DBO ₅ (mg/l) | 1,2,3,4,5,6,7 | | | |
| DCO (mg/l) | | 1,2,3,4,5,6 | 7 | |
| Mo (mg/l) | | 1, 2,3,4,5,6,7 | | |
| PO ₄ ⁻³ (mg/l) | | 1, 2,3,4,5,6,7 | | |
| NH ₄ ⁺ (mg/l) | | 1,2,3,4,5,6 | 7 | |
| NO ₂ ⁻ (mg/l) | | 3,4,5 | 1,2,6,7 | |
| NO ₃ ⁻ (mg/l) | 1,3,4,5,6,7 | 2 | | |

3. Conclusion

Ce chapitre consacré au chimisme des eaux de surface du barrage de Béni Haroun, a porté sur les aspects qualitatifs des eaux du barrage.

Les eaux du barrage est caractérisées par des faibles teneurs des paramètres physico-chimique tel que le pH, résidu sec, l'oxygène dissous, l'ammonium, nitrate, nitrite, phosphate, demande chimique en oxygène, demande biochimique en oxygène et matière organique, ces concentrations sont inférieurs aux normes de potabilité des eaux.

-la variation du résidu sec par rapport le volume de barrage montre une relation proportionnelle dans la période hivernale et inverse dans la période estivale.

-les teneurs des éléments nutritifs sont fortes dans les eaux du barrage.

-les nitrates sont évolués inversement avec le nitrite et le volume.

-les nitrites et l'ammonium évolués parallèlement entre eux et le volume d'eau du barrage dans les mois de décembre, janvier et mars, et inversement pendant les autre mois.

- le phosphate possède une relation inverse avec le volume.

-Elle n'existe aucune relation apparente entre le DBO₅ et DCO et le volume dans les eaux du barrage de Béni Haroun.

Les résultats des paramètres de potabilité montrent en générale que la qualité des eaux de Barrage varie entre bonne à moyenne.



Conclusion générale

Conclusion générale

Le Barrage de Béni Haroun à une position géostratégique très importante dans l'alimentation en eaux potable de la ville de Mila et d'autres wilayas voisines, Le bassin versant du barrage de Beni Haroun appartient au grand bassin du Kébir Rhumel.

Sur le plan géologique, le site de Beni Haroun est caractérisé par une barre calcaire éocène de 100 m d'épaisseur disposée d'Est en Ouest reposant sur les marnes noires paléocènes à l'aval surmontée par des marnes éocènes à l'amont.

L'étude hydroclimatologique a permis de déterminer les caractéristiques climatiques de la région d'étude. Elle est soumise à un climat subhumide à une saison pluvieuse et relativement douce, allant d'Octobre à Mai et par un été sec et chaude allant de Juin à Septembre.

-Avec une température moyenne minimal de 3°C et un maximal de 31,82°C pour la station de Mechtat Serradj ; la station de Hamala marquée une température minimal de 3,63°C et un maximal de 32°C ; pour la station d'El Kheneg enregistré une température minimal de 4,24 °C et un maximal de 32,8°C ; ces valeurs notée au mois de Janvier et d'Août.

-La lame d'eau précipitée sur l'ensemble du bassin versant a été estimée à 762,82mm/an pour la station de Mechtat Serradj, 981,73 mm/an pour station de Hamala et 769,91 mm/an pour station d'El Kheneg.

-L'analyse du bilan hydrique de fait ressortir les remarque suivantes :

Le déficit agricole s'étalant de début du mois de Juin jusqu'au la fin du mois d'Octobre avec un total d'ordre de 425.17mm pour la station de Mechtat Serradj, la station de Hamala de l'ordre de 372.24 mm, commence du mois de Juin jusqu'au mois de Septembre et de 439,58 mm pour la station d'El Kheneg s'étalant du mois de juin jusqu'au mois de Octobre.

Le bassin de bassin est Béni Haroun s'étend sur une surface totale de 5320 Km², il se devise en deux grandes parties distinctes. La partie occidentale, constitué par le bassin d'oued Enndja et un partie orientale, constitué par le bassin de l'oued Rhumel.

Les deux rivières l'Enndja et Rhumel confluent près de l'extrémité amont de la gorge de Beni Haroun pour former l'oued El Kébir.

La qualité des eaux superficielles, dépend de plusieurs paramètres physiques, chimiques et biologiques. Leur variation spatio-temporelle est due soit à la lithologie des terrains traversés (dissolution des formations géologiques), soit à des facteurs externes.

L'interprétation de la représentation graphique montre que l'évolution de la teneur des éléments physico-chimiques en fonction du volume d'eau dans le barrage, montre que la majorité des

Conclusion générale

éléments évoluent de manière proportionnelle au volume du barrage, cela ne peut être expliqué que par un phénomène de dilution et de concentration.

Concernent les teneurs des éléments étudié devrait être relativement faible, elles sont inférieurs aux normes de la potabilité.

Les résultats des données nous a permis de classer les eaux de surface en 3 classes selon la grille adapté par l'ANRH 2009 :

Classe I : La première classe concerne les concentrations de résidu sec et DBO₅, Nitrate.

Classe II : La deuxième classe regroupe les éléments (Oxygène dissout, DCO₅ , Ammonium , Matière organique , Phosphate et Nitrite)

La dernière classe contient les eaux des mois pluviaux pour les nitrites et Oxygène dissout, et les eaux des mois sec pour les nitrites, l'ammonium, DCO.



**Références
bibliographiques**

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques :

1. ATAMNIA Djamel, 2010, Minéralogie des argiles et phénomène de retrait-gonflement dans le bassin de Mila (nord constantinoise), Thèse de Doctorat, Université de Mentouri Constantine, 8 p.
2. BALI Karima et al, 2019, Etude Hydro chimique des eaux souterraine de la région d'Azzaba-W. Skikda-NE Algérien, Mémoire de master en Hydrogéologie, Université Mohammed Seddik Ben Yahia-Jijel, 63 P.
3. BARKAT Kenza, 2016, Suivi de la qualité physico-chimique des eaux du barrage Beni Haroun, mémoire de master, université des frère Mentouri Constantine, 1,12-13p.
4. BENCHABANE Nour el Imane, 2015, Relation barrage -nappes. Étude de cas : barrage Beni -Haroun, wilaya de Mila, Mémoire de magister, Université des frères Mentouri Constantine1, 17-19, 29, 31, 34-36 p.
5. BENKADDOUR Batoul, 2018, Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Cheliff (Algérie), Thèse de Doctorat, Université de perpignan via Domitia, et Université de Mostaganem, 19-20 P.
6. BOUSLAH soraya , 2018, Etude de la qualité des eaux stockées a l'amont et des eaux d'infiltration a l'aval des barrages en remblai en Algérie ,Thèse de Doctorat , université Badji Mokhtar Annaba , 73, 76, 82-83 p.
7. BRAHMI Serhane, Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface du barrage de Beni Haroun (est Algérien), mémoire de magister en hydrogéologie, impact du changement climatique sur les ressources hydriques en Algérie, Université de Tébessa, 41-44 P.
8. BREMOND R et al, 1973, Paramètres de la qualité des eaux, OSPEPE, Paris.
9. Debbih Hamza, Naili Badr Eddine, 2015, Etude de qualité des eaux des barrages de l'est algérien, Mémoire de master en hydraulique, Université Larbi ben m'hidi, Oum Bouaghi, 50 P.
10. DJEGHOUBBI Rabah, 2013, Apports de l'analyse statistique des données et la géostatistique non-paramétrique à l'étude hydro-chimique de la nappe du complexe

Références Bibliographiques

- terminal (CT) _ Hassi Messaoud, Sud-Est algérien, mémoire de master en géologie, université Kasdi Merbah Ouargla, 44 p.
11. HAFSI Bilel, 2016, le transport solide et la qualité des eaux du Barrage Beni Haroun et leur impact sur l'environnement, Mémoire de Master en hydraulique, Université Larbi ben M'hidi- Oum el Bouaghi -, 31-32 p.
 12. HAMROUCHE Ahlam et al, 2019, Caractéristique des eaux d'irrigation destinées à l'agriculture dans le périmètre de Jijel-Taher, Mémoire de master en génie de procédés et environnement, Université Mohammed Seddik Ben Yahia-Jijel, 39 P.
 13. JUILLET 2004, le bassin du Kébir-Rhume l'agence de bassin hydrographique constantinois-seybousse-MELLegue, 4p
 14. KERDOUD Souheila, 2006, Le bassin versant de Beni Haroun eau et pollution, Magister en aménagement du territoire, Université Mentouri- Constantine, 9-11 ,18-20 p.
 15. KHABBAT Farid, 2010, suivi de la qualité des eaux usées et épurées au niveau de laboratoire de la STEP de Sidi Merouane, mémoire de technicien supérieur en traitement des eaux, institut EL-Arbi ben M'hidi-Mila, 8p.
 16. LEMZADMI Chemseddine et al, Juin 2017, Perte de capacité de stockage en eau dans quelques barrages de l'est Algérien, Mémoire de Master, l'Université 8 Mai 1945 de Guelma, 11 p.
 17. MAROUF Nadir, 2012, Etude de la qualité des eaux et de transport solide dans le barrage de Beni Haroun (Mila), Son Impact sur l'environnement de la région, Doctorat en sciences hydrauliques, université Mohamed khider Biskra, 44-48 ,61-63p.
 18. MILOUD Koussa et al, 2018, Apport de SIG a la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique dans le bassin versant de Beni Haroun, Mila, Algérie, 44-45 P.
 19. RAMADE F., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement Ralston J., 1971. De-icing salts as a source of water pollution. Ministère de l'Environnement de l'Ontario, Toronto.
 20. RODIER J et al, 2005, L'analyse de l'eau ,Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer, 8 ème Ed, Dunod, Paris, 1383 pp.
 21. ZOGHLAMI Hichem, 2016, contribution à l'étude des risques de défaillance et de leurs effets liés au vieillissement et de l'envasement des barrages poids en béton, Mémoire de Master, Ecole nationale supérieure d'hydraulique – Arbaoui Abdellah – Département aménagement et génie hydraulique, 60 p.

Résumé

Le complexe hydraulique de Béni-Haroun demeure une réalisation stratégique majeure dans le programme du développement du secteur des ressources en eau. Cet énorme édifice, sert à satisfaire les besoins de six wilayas de l'Est Algérien ainsi que vers des régions limitrophes ayant souffert de manque de l'eau de consommation, notamment en période estivale.

L'objectif principal de cette présente étude était d'évaluer la qualité physico-chimique de l'eau du barrage de Béni Haroun situé en aval de la confluence de Oued Rhumel et Oued Enndja au Nord de la région de Grarem Gouga, wilaya de Mila. Un suivi mensuelle pour une durée sept mois (Décembre 2017 -Août 2018) a été réalisé par le service de l'ANRH de Constantine. Les résultats obtenus nous a montrés un caractère des eaux alcalin. Les teneurs des sels nutritifs restent généralement dans les normes de potabilité. L'oxygène dissous indique des eaux bien oxygénées, et une DBO₅ (demande biologique en oxygène) indique une eau de bonne qualité. Le rapport de DBO₅ /DCO montre qu'une grande partie de la matière organique est difficilement biodégradable. Ce que indique que les eaux du barrage de béni Haroun ont une qualité bonne a moyenne avec un niveau de pollution très réduit.

Mots clés : Barrage Béni Haroun, qualité des eaux, bassin versant, eaux de surface, pollution organique.

Abstract

The hydraulic complex of Beni-Haroun remains a major strategic achievement in the program of development of the sector of water resources. This huge building, used to meet the needs of six Wilaya in eastern of Algeria as well as to neighboring regions have suffered from poor of drinking water, especially during summer. The main objective of this study was to estimate the physico-chemical quality of the water of the Béni Haroun dam located downstream of the confluence of the two rivers, Rhumel and Enndja in the North of Grarem Gouga region, province of Mila. The study region characterized by a subhumid climate, with two different seasons, the first is a humid and cold in winter, and the second is a hot and dry in summer. A sample of the dam water was taken monthly during a seven-month period from December 2017 to August 2018. The results obtained allowed as to conclude that the pH is alkaline; the contents of the chemical elements of the dam water were generally below of the potability guidelines. The dissolved oxygen level reflects well-oxygenated water, and a BOD₅ (biological oxygen demand) indicates the good quality water. Whereas, the COD, (chemical oxygen demand) organic matter and nutrients concentrations, as well as, the phosphate reflected a medium quality water. Finally, our study revealed that the water from the Béni Haroun dam was of good to medium quality, with a very low level of pollution correlated with the results of previous work. However, this quality remains influenced by climatic and anthropogenic factors.

Keywords: Béni Haroun dam, water quality, watershed, surface water, standards, Mila.

التلخيص

يظل مجمع بني هارون الهيدروليكي إنجازاً استراتيجياً رئيسياً في برنامج تنمية قطاع الموارد المائية. يستخدم هذا المبنى الضخم لتلبية احتياجات ست ولايات بشرق الجزائر وكذلك المناطق المجاورة التي تعاني من نقص مياه الشرب خاصة خلال فصل الصيف. كان الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه من سد بني هارون الواقع عند مصب ملتقى وادي رمال ووادي النجا في شمال منطقة قرارم قوقة بولاية ميلة. تمت متابعة شهرية لمدة سبعة أشهر من ديسمبر 2017 حتى أغسطس 2018 من قبل مصلحة الموارد المائية في قسنطينة. النتائج التي تم الحصول عليها أظهرت لنا طبيعة المياه قلبية. تبقى مستويات الأملاح الغذائية بشكل عام ضمن معايير القابلية للشرب. يشير الأوكسجين المذاب إلى ماء مؤكسج جيداً، ويشير الطلب البيولوجي على الأوكسجين خلال خمسة أيام إلى ان المياه جيدة النوعية. تُظهر نسبة الطلب على الأوكسجين البيولوجي والطلب الكيميائي على الأوكسجين أن جزءاً كبيراً من المادة العضوية غير قابل للتحلل البيولوجي. وهذا يدل على أن مياه سد بني هارون ذات جودة جيدة إلى متوسطة مع مستوى منخفض للغاية من التلوث.

الكلمات المفتاحية: سد بني هارون، نوعية المياه، مستجمعات المياه، المياه السطحية، التلوث العضوي.