

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل

M/Hy. Géol. 14/22

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



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم: علوم الارض و الكون

Mémoire de Master

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

Option : Hydrogéologie

Thème

$\frac{1}{1}$

Qualité des eaux du barrage Hammam Debagh
Wilaya de Guelma. N-E Algérie.

Membres de Jury:

Président : ZAHY Faouzi
Examineur : DJORFI Samir
Encadreur : RIHIA Djamel

Présenté par :

BOURIDANE Djouhara



Année Universitaire 2021-2022

Numéro d'ordre (bibliothèque) :.....

Remerciements

Je remercie tout d'abord «Allah», le tout puissant pour la patience et le courage qu'il m'a accordés pour terminer ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur de mémoire, Monsieur RIHLA Djamel. Je le remercie de m'avoir orienté, aidé et conseillé.

Je remercie également le comité de jury, Mr ZAHY et Mr DJORFI, d'avoir accepté l'évaluation de ce mémoire.

MERCI à tous mes enseignants, pour leur contribution en termes de transmission d'informations.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents, qui ont sacrifié leur vie pour notre réussite et nous ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux.

À mes sœurs et mon frère, pour m'avoir toujours supporté dans mes décisions.

À mes amis proches, qui ont toujours été là pour moi.

À mes amis et collègues qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel.

À toute ma famille.

Résumé

Le barrage de Hammam Debagh est situé dans la wilaya de Guelma à 25 kilomètres à l'ouest du chef-lieu, il est alimenté principalement par oued Bouhamdane. Les eaux de ce barrage sont destinées à l'irrigation et à l'alimentation en eau potable de la ville de Guelma et des centres avoisinants.

L'étude de l'état des eaux du barrage par un suivi de 9 mois; du novembre 2017 à août 2018, a pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimique de ces eaux. Les données utilisées sont fournies par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH).

Les résultats obtenus montrent que les eaux du barrage sont moyennement minéralisées, légèrement alcalines, les teneurs en nitrates et en phosphates sont acceptable, par contre, les teneurs en ammonium et en nitrites dépassent parfois les normes de qualité fixée par l'ANRH. Le rapport de DBO_5 /DCO montre qu'une grande partie de la matière organique est difficilement biodégradable. Les eaux du barrage Hammam Debagh ont une qualité moyenne à bonne avec des niveaux faibles de pollution.

Mots clés : Barrage de Hammam Debagh, bassin versant, eau de surface, qualité des eaux, Normes.

ملخص

يقع سد حمام دباغ في ولاية قالمة على بعد 25 كيلومترا غرب عاصمة الولاية ، ويمول بشكل رئيسي من واد بوحمدان. مياه هذا السد مخصصة للري وتزويد مدينة قالمة والتجمعات السكانية المجاورة بمياه الشرب.

تهدف دراسة حالة مياه هذا السد من خلال متابعة لمدة تسعة أشهر ؛ من نوفمبر 2017 إلى اوت 2018 , إلى تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية لهذه المياه، البيانات المستخدمة مقدمة من الوكالة الوطنية للموارد المائية (ANRH).

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن مياه السد معتدلة التمعدن، وتميل الى ان تكون قلوية ، وان محتويات النترات والفوسفات مقبولة ، على العكس من ذلك ، فإن محتويات الأمونيوم والنترتيت تتجاوز أحيانا معايير الجودة المحددة من طرف ANRH ، وتوضح نسبة DCO/DBO_5 أن هناك نسبة كبيرة من المادة العضوية صعبة التحلل. وبالتالي تتميز مياه سد حمام دباغ بجودة متوسطة إلى جيدة مع مستويات منخفضة من التلوث.

الكلمات المفتاحية: سد حمام دباغ، مستجم المياه، المياه السطحية، جودة المياه، المعايير.

Abstract

Hammam Debagh dam is located in the province of Guelma which is 25 km West of the state capital. Bouhamadane river is the major source of the dam's water which is intended to irrigation and to supply drinking water to the province of Guelma and the neighbouring centres.

The study of the state of the dam's waters by monitoring over a period of 9 months, from November 2017 through August 2018. The data utilized are provided by the National Water Resources Agency. aims to assess the physico-chemical quality of these waters,

The results obtained demonstrate that the dam's water is moderately mineralized, slightly alkaline, and the levels of phosphate and nitrate are acceptable whereas ammonia and nitrite levels exceed the quality standards set by the ANRH. The ratio of DBO_5 /DCO indicates that the organic matter is hardly biodegradable. Hammam Debagh dam has medium to good quality water with low levels of pollution.

Keywords: Hammam Debagh dam, watershed, surface water, water quality, pollution, standards.

SOMMAIRE

Remerciement.....	ii
Dédicace	iii
Résumé.....	iv
Sommaire.....	v
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux.....	viii
Liste des abréviations.....	ix
Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : Présentation de la zone d'étude	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Situation géographique de la zone d'étude.....	3
I.3. Le Bassin versant de Bouhamdane.....	4
I.3.1.Le réseau hydrographique du bassin versant.....	4
I.3.2. Pentes du bassin versant.....	5
I.4.Caractéristiques générales du Barrage Hammam Debagh.....	6
I.5.Le couvert végétal.....	8
I.6.Contexte Socio-économique.....	9
I.6.1.La population.....	9
I.6.2. l'alimentation en eau potable (AEP)	9
I.6.3. Les activités agricoles.....	10
I.6.4. Les activités industrielles.....	10
I.7.Conclusion.....	11
CHAPITRE II : Contexte géologique	
II.1.Introduction.....	12
II.2.Cadre géologique régional.....	12
II.2.1. Le domaine interne.....	12
II.2.1.1.Le socle kabyle.....	12
II.2.1.2 La dorsale kabyle.....	13
II.2.2. Le domaine des flyschs.....	13
II.2.2.1.Le flysch Mauritanien.....	13
II.2.2.2.Le flysch Massylien.....	13
II.2.2.3.Le flysch Numidien.....	13
II.2.3.Le domaine externe.....	13
II.2.3.1. Les séries telliennes.....	13
II.2.3.2. Les série de l'avant pays.....	13
II.2.3.2.a.L'unité néritique constantinois.....	14
II.2.3.2.b.L'unités sud- sétifien.....	14
II.2.3.2.c.L'unités des Sellaoua.....	14
II.2.3.2.e.L'autochtone Nord-aurésien.....	14
II.2.3.2.d.Le para autochtone Nord-aurésien.....	14
II.3.Cadre géologique local.....	14
II.3.1. Aperçu d'ensemble.....	14
II.4.Le cadre structural.....	15
II.4.1. Les formations peu ou pas tectonisées.....	15
II.4.1.1. Le Quaternaire.....	16
II.4.1.2. Le Mio-Pliocène continental.....	16

II.4.1.3. Nappe numidienne.....	16
II.4.1.4. Nappe tellienne.....	16
II.4.1.5. Nappe néritique constantinoise.....	16
II.4.1.6. Les unités ultra- telliennes.....	16
II.4.1.7. La série de Aïn El Kerma.....	18
II.5. Description lithologique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane.....	18
II.5.1. Les roches résistantes.....	19
II.5.2. Les roches moyennement résistantes.....	19
II.5.3. Les roches tendres.....	19
II.6. Lithostratigraphie du barrage Hammam Debagh.....	19
II.6.1. Le Crétacé Autochtone.....	19
II.6.2. La série des Nappes Telliennes.....	19
II.6.3. La série du Flysch- Crétacé	19
II.6.4. Dépôts de grès psammitiques rouges et verts.....	19
II.6.5. Dépôts des terrasses.....	19
II.7. Géologie de la cuvette du barrage Hammam Debagh.....	20
II.8. Les mouvements tectoniques.....	20
II.8.1. La phase éocène.....	20
II.8.2. La période comprise entre la phase éocène et la phase de l'éocène inférieur.....	20
II.8.3. La phase miocène.....	20
II.8.4. La néotectonique.....	21
II.8.5. Les formations pas ou peu tectoniques.....	21
II.9. Conclusion.....	21
CHAPITRE III : Hydroclimatologie	
III.1. Introduction.....	22
III.2. Les données climatiques disponibles.....	22
III.3. Analyse des données climatiques.....	23
III.3.1. Précipitations	23
III.3.1.1. Précipitations moyennes mensuelles.....	23
III.3.2. Température.....	24
III.3.2.1 Températures moyennes mensuelles.	24
III.4. Diagramme Ombrothermique (Pluvio-thermique)	26
III.5. Bilan hydrique.....	27
III.5.1. Détermination des paramètres du bilan.....	28
III.5.1.1. Evapotranspiration.....	28
III.5.1.1.a. Evapotranspiration potentielle (ETP)	28
III.5.1.1.b. Evapotranspiration réelle (ETR)	28
III.5.1.2. Ruissellement (R)	29
III.5.1.3. Infiltration (I)	30
III.5.2. Estimation du bilan hydrique.....	30
III.5.2.1. Interprétation du bilan hydrique de la station El Aria.....	31
III.5.2.2. Interprétation du bilan hydrique de la station Hammam Debagh.....	32
III.6. Conclusion.....	33
CHAPITRE IV : Hydrochimie	
IV.1. Introduction.....	34
IV.2. Étude de différents paramètres physico-chimiques.....	34
IV.2.1. Variations temporelles des paramètres.....	34
IV.2.1.1. Le potentiel hydrogène « pH »	34

IV.2.1.2. Résidu sec.....	35
IV.2.1.3. Oxygène dissous (OD)	36
IV.2.1.4. Cycle d'azote.....	37
IV.2.1.4. b. les Nitrites (NO ₂ ⁻)	38
IV.2.1.4. c. Les Nitrates (NO ₃ ⁻)	39
IV.2.1.5. Phosphate (PO ₄ ³⁻).....	40
IV.2.1.6. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	41
IV.2.1.7. Demande chimique en oxygène (DCO)	42
IV.2.1.8. La matière organique.....	43
IV.2.2. Le rapport DCO/DBO ₅	44
IV.3. Variations des différents paramètres en fonction du Volume.....	45
IV.3.2.1. Résidu Sec/Volume.....	46
IV.3.2.2. O ₂ d / Volume.....	46
IV.3.2.3. NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ et PO ₄ ³⁻ / Volume.....	47
IV.3.2.4. NO ₃ / Volume.....	47
IV.3.2.5. MO / Volume.....	48
IV.4. Classification de la qualité des eaux du barrage Hammam Debagh.....	49
IV.5. Conclusion.....	50
Conclusion générale et recommandations.....	51
Référence bibliographique.....	53

Liste des figures

Figure I.1. Situation géographique de la zone d'étude.....	1
Figure I.2. Bassin versant de l'oued Bouhamdane.....	5
Figure I.3. Carte des pentes du bassin versant de l'oued Bouhamdane.....	6
Figure I.4. Photo satellitaire du barrage de Hammam Debagh	7
Figure I.5. Carte d'occupation des terres du bassin versant de l'oued Bouhamdane.....	9
Figure I.6. Représentation graphique pour les besoins des agglomérations à l'eau.....	10
Figure II.1. Carte des principaux domaines paléogéographiques de la chaîne des Maghrébides ..	12
Figure II.2. Carte géologique du Bassin versant de Bouhamdane	15
Figure II.3. Carte structurale du Bassin versant de Bouhamdane	17
Figure II.4. la carte lithologique du bassin versant de Bouhamdane	18
Figure III.1. Localisation des stations météorologiques.....	22
Figure III.2. Les variations moyennes mensuelles des précipitations de la station El Aria.....	23
Figure III.3. Les variations moyennes mensuelles des précipitations de la station Hammam Debagh.....	24
Figure III.4. Les variations moyennes mensuelles des températures de la station El Aria.....	25
Figure III.5. Les variations moyennes mensuelles des températures de la station Hammam Debagh.....	26
Figure III.6. Diagramme Ombrothermique de la station El Aria (1958-2020).....	27
Figure III.7. Diagramme Ombrothermique de la station Hammam Debagh (1958-2020).....	27
Figure III.8. Représentation graphique du bilan de C .W. Thornthwaite de la station d'El Aria (1958-2020).....	32
Figure III.9. Représentation graphique du bilan de C .W. Thornthwaite de la station Hammam Debagh (1958-2020).....	33
Figure IV.1. La variation du potentiel hydrogène dans les eaux du barrage Hammam Debagh...	35
Figure IV.2. La variation de résidus secs dans les eaux du barrage Hammam Debagh.....	36
Figure IV.3. La variation d'oxygène dissous dans les eaux du barrage Hammam Debagh.....	37

Figure IV.4. La variation de l'ammonium dans les eaux du barrage Hammam Debagh.....	38
Figure IV.5. La variation de nitrites dans les eaux du barrage Hammam Debagh.....	39
Figure IV.6. La variation de nitrates dans les eaux du barrage Hammam Debagh.....	40
Figure IV.7. La variation de phosphates dans les eaux du barrage Hammam Debagh.....	41
Figure IV.8. La variation de DBO ₅ dans les eaux du barrage Hammam Debagh.....	42
Figure IV.9. La variation de DCO dans les eaux du barrage Hammam Debagh.....	43
Figure IV.10. La variation de Matière organique dans les eaux du barrage Hammam Debagh..	44
Figure IV.11. La variation du rapport DCO/DBO ₅	45
Figure IV.12. Évolution de résidu sec en fonction du volume du barrage Hammam Debagh...	46
Figure IV.13. Évolution d'oxygène dissous en fonction du volume du barrage Hammam Debagh.....	47
Figure IV.14. Évolution de NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ et PO ₄ ³⁻ en fonction du volume du barrage Hammam Debagh.....	47
Figure IV.15. Évolution de nitrates dissous en fonction du volume du barrage Hammam Debagh.....	48
Figure IV.16. Évolution de Matière organique en fonction du volume du barrage Hammam Debagh.....	48
Figure IV.17. Fiche de qualité mensuelle des eaux du barrage Hammam Debagh.....	49

Liste des tableaux

Tableau I.1. Caractéristiques du bassin versant de Bouhamdane	4
Tableau I.2. Caractéristiques hydrologiques du barrage Hammam Debagh	7
Tableau I.3. Caractéristiques techniques du barrage Hammam Debagh.....	8
Tableau I.4. Répartition des besoins selon la population	10
Tableau I.5. Les superficies irriguées.....	10
Tableau III .1. Les coordonnées des stations météorologiques.....	22
Tableau III.2. Précipitations moyennes mensuelles de la station El Aria.....	23
Tableau III.3. Précipitations moyennes mensuelles de la station Hammam Debagh.....	24
Tableau III.4. Températures mensuelles de la station El Aria.....	25
Tableau III.5. Températures mensuelles de la station Hammam Debagh.....	26
Tableau III.6. Calcul de l'ETR selon la formule de TURC.....	29
Tableau III.7. Calcul de ruissellement selon la formule de Tixeront Berkallof.....	30
Tableau III.8. Calcul de l'infiltration selon la formule du bilan hydrique.....	30
Tableau III.9. Bilan Hydrique selon Thornthwaite de la station El Aria.....	31
Tableau III.10. Bilan Hydrique selon Thornthwaite de la station Hammam Debagh.....	31
Tableau IV.1. Grille de qualité des eaux du barrage adopté par l'ANRH.....	49

Liste des abréviations

ABHCSM : Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellegue.

ANBT : Agence Nationales des Barrages et des Transferts.

ANRH : Agence National de Ressource Hydrique.

mm : Millimètre.

°C : Degré Celsius.

mg/l: Milligramme par litre.

ETP : Evapotranspiration potentielle.

ETR : Evapotranspiration réelle.

RFU : Réserve facilement utilisable.

Da : Déficit agricole.

EX : Excédant.

pH :Potentiel hydrogène.

Rs : Résidus secs.

NH₄⁺ : Ammonium.

NO₂⁻ : Nitrite.

NO₃⁻ : Nitrate.

PO₄³⁻ : Phosphate.

OD : Oxygène dissous.

DBO₅: Demande biochimique en oxygène.

DCO : Demande chimique en oxygène.

MO : Matière organique.

Introduction générale

Introduction générale

L'eau c'est un bien commun non substituable, essentiel au maintien de la vie, au développement et à l'environnement. Corollaire de la population qui ne cesse de croître, à laquelle s'ajoute l'effet dévastateur du réchauffement climatique, le monde est soumis à des pressions en eau de plus en plus fortes. L'accès durable des ressources hydrique est donc une préoccupation majeure, notamment dans les pays en développement. En outre, la contamination de cette ressource est au cœur de la problématique de plusieurs recherches.

L'Algérie, comme la plupart des pays du monde, souffre de la sécheresse et du changement climatique d'une part, et de la dégradation de la qualité des eaux d'autre part. La construction des barrages et des retenues collinaires est devenue indispensable, afin de répondre aux besoins en eau à des fins telles que, l'AEP, l'irrigation et l'industrie. Par ailleurs, la qualité de l'eau aussi bien de surface que souterraine est menacée par l'augmentation du degré de la pollution, en particulier due à l'urbanisation et à l'agriculture intensive. Ces sources de pollution représentent un danger sur la vie de l'être humain et son environnement. De ce fait, les ressources en eau doivent être nécessairement protégées, analysées et surveillées. L'évaluation de sa qualité repose sur les paramètres physico-chimiques, bactériologiques et organoleptiques...

La Wilaya de Guelma est l'une des Wilayas de l'Algérie touchante par la sécheresse et la pollution des ressources en eau. Le barrage de Hammam Debagh est situé à l'exutoire du bassin versant de Bouhamdane, dont ses eaux sont susceptibles d'être polluées par les effluents des agglomérations, l'agriculture et de l'industrie localisés à l'amont du barrage. Dans cette optique, nous allons mener une étude comparative des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage Hammam Debagh afin d'évaluer sa qualité. On a exploité des données fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydrique (ANRH) d'une période d'observation qui s'étale sur 9 mois (Novembre 2017 à Août 2018), à l'exception du mois de juillet 2018 en raison d'indisponibilité des données.

L'évaluation de l'état des eaux du barrage, requiert une étude complète, sur plusieurs niveaux et côtés. Pour la réalisation de cet objectif, on a procédé une structure convenable pour cette étude. Notre travail renferme plusieurs chapitres dont leurs organisation commence par une introduction générale suivie par les chapitres:

- Le premier chapitre présente une description de la zone d'étude à savoir le barrage de Hammam Debagh et son bassin versant et ses compétences (socio-économique, végétation...).
- Le deuxième chapitre s'intéresse à l'étude du contexte géologique, lithologique et structural de la région.

- Le troisième chapitre consacré à l'étude hydroclimatologique de la région à partir des données de deux stations météorologiques (station El Aria et celle du Hammam Debagh), afin de déterminer le climat de la région.

- Le quatrième chapitre est réservé à l'étude hydrochimique des eaux du barrage Hammam Debagh et ses classifications selon leurs qualité.

Enfin, le travail se termine par une conclusion générale qui résume tous ce qu'on a vu dans le mémoire.

CHAPITRE I

Présentation de la zone d'étude

I.1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la description de la zone d'étude, à savoir le barrage de Hammam Debagh (également appelé barrage de Bouhamdane) et son bassin versant. Nous montrerons sa situation géographique et ses principales caractéristiques.

I.2. Situation géographique de la zone d'étude

La wilaya de Guelma est située au Nord-Est de l'Algérie. Elle est limitée au Nord par la wilaya de Annaba, au Nord-Ouest par la wilaya de Skikda, au Nord-Est par la wilaya d'El Tarf, à l'Ouest par la wilaya de Constantine et au Sud-Est par la wilaya de Souk Ahras et au Sud-Ouest par la wilaya d'Oum-El Bouagui (Figure I.1). Elle couvre une superficie de 4 101 km².

La wilaya de Guelma est située au cœur d'une vaste zone agricole à 290 m d'altitude, formant une cuvette entourée par les monts de Houara, Debagh, Mahouna et Dj. Nador.

Le barrage de Hammam Debagh est implanté à l'exutoire du bassin versant de Bouhamdane sur l'oued de Bouhamdane à 3 km à l'amont du village de Hammam Debagh. Il est situé à 25 kilomètres à l'ouest du chef-lieu de la wilaya de Guelma, il appartient administrativement à la Commune de Bouhamdane, Daïra de Hammam Debagh (Kouarta et al, 2020).

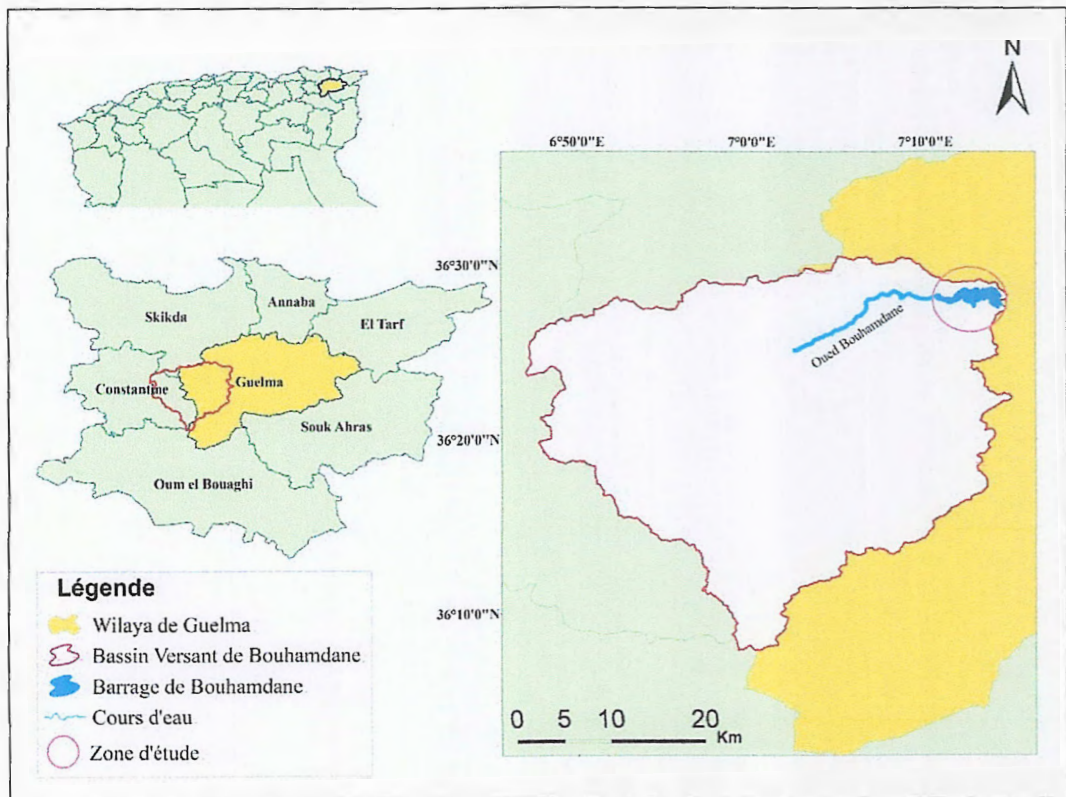


Fig. I.1. Situation géographique de la zone d'étude.

I.3. Le Bassin versant de Bouhamdane

Le bassin versant de Bouhamdane occupe la partie Ouest de la wilaya de Guelma (Figure I.1), Il prend naissance dans les Hautes Plaines semi-arides, sur le revers méridional de l'Atlas Tellien; appartient au grand bassin de la Seybouse (6470 Km²), l'un des cinq grands bassins versants de l'Algérie. Le bassin de Bouhamdane est limité au Nord par le bassin de Côtiers Constantinois, au Sud et Sud- Ouest par le bassin de l'Oued Charef, à l'Est par le bassin moyen de la Seybouse, et à l'Ouest par le bassin du Kebir Rhumel (Boubaker et al, 2020). Les principales caractéristiques du bassin versant de Bouhamdane sont résumées dans le tableau ci-dessous (Tableau I.1):

Tab.I.1. caractéristiques du bassin versant de Bouhamdane (source : ANBT, 2020).

Bassin versant	
Superficie	1070 km ²
Périmètre	142 km
Longueur	49,3 km
Largeur	21,7 km
Altitude maximale	1282 m
Altitude minimale	295 m
Altitude moyenne	800 m
Indice de pente	0,1
Thalweg	80 km
Principal Pluie	652 mm

I.3.1.Le réseau hydrographique du bassin versant de Bouhamdane

Ce bassin versant est traversé par oued Bouhamdane (37,49 Km), ce dernier étant alimenté par deux affluents principaux sont : Oued Zenati (52,40 Km) et Oued Sabath (10,86 Km) (Figure I.2), qui drainent respectivement une zone semi-aride des Hautes Plaines et une zone sub-humide du Tell méridional. L'Oued Zenati naît de la confluence de l'Oued El M'leh, et oued Chaâbet Toulfsa .Il reçoit sur sa rive gauche les Oueds : Bou Skoum, Bemeb, Kalech, Chaâbet El Rassoul, Snoussi ; et sur sa rive droite Chaâbet Gueit et Terba, Oued El Gloub, Chaâbet Mrassel. L'Oued Bordj Sabath résulte de la jonction de Oued El Aria qui reçoit dans sa rive droite : Oued Tarfâ et dans sa rive gauche ; Oued Haoudja, Chaâbet Tamar et Oued Derdar qui prend naissance de la confluence de l'Oued El Megroune et Chaâbet Sekek (Louamri et all, 2013).

Le chevelu hydrographique d'oued Bouhamdane prend sa source d'un ensemble de reliefs montagneux (Figure I.2), à savoir, Dj. Oum Settas (1325 m), Dj. El-Ancel (1149 m), Dj. El-Meliani (1111 m), Dj. El-Sada (1107 m) et Dj. Taya (1206 m) (Bouguerra H, 2018).

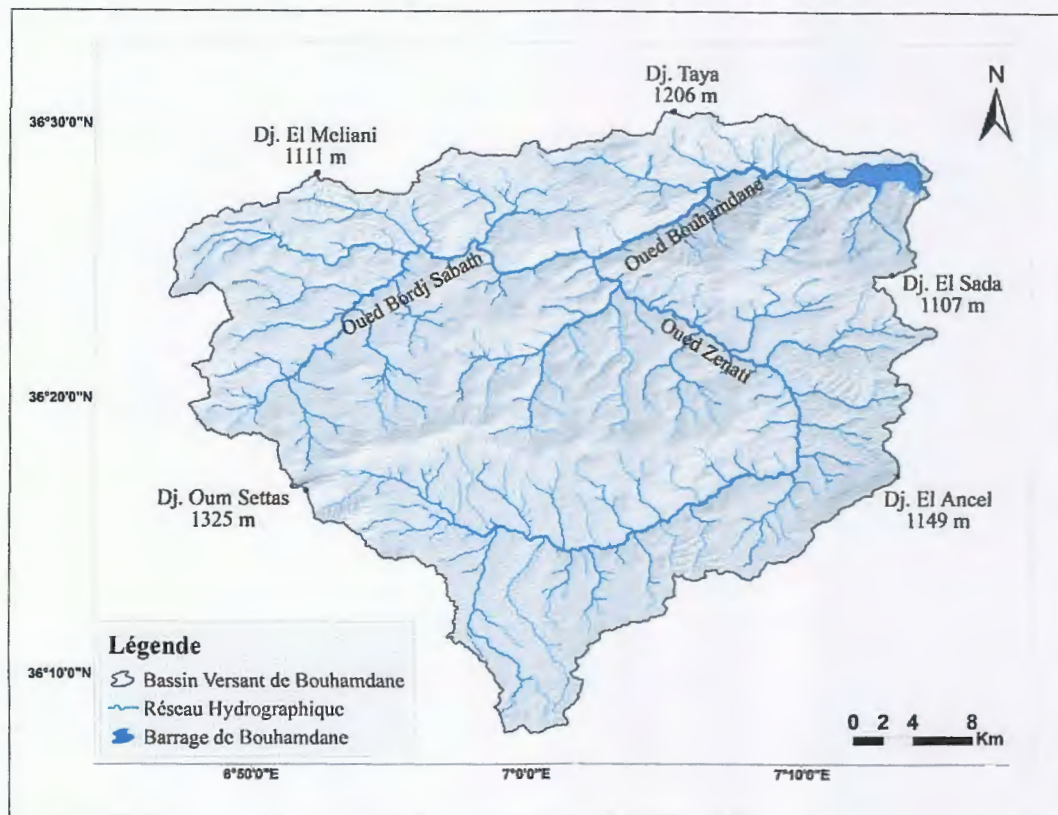


Fig.I.2. Réseau hydrographique du bassin versant de Bouhamdane.

I.3.2. Pentes du bassin versant de Bouhamdane

Le bassin versant de Bouhamdane caractérisé par une prédominance de pentes modérées (entre 10 % et 20 %) qui occupent presque 40 % de la superficie du bassin versant. Tandis que, 25 % de la superficie marqué par des pentes fortes à très forte (de 20 % à 54 %) et les pentes faibles à très faible (inférieure à 10 %) présentent environ 35 % de la superficie totale (Figure I.3). Les fortes pentes sont réparties essentiellement sur les extrêmes du bassin et autour de la cuvette du barrage ; elles peuvent atteindre 54 %. Or ; les plus faibles pentes (<10%) localisées dans la partie sud du bassin versant (Bouguerra H, 2018).

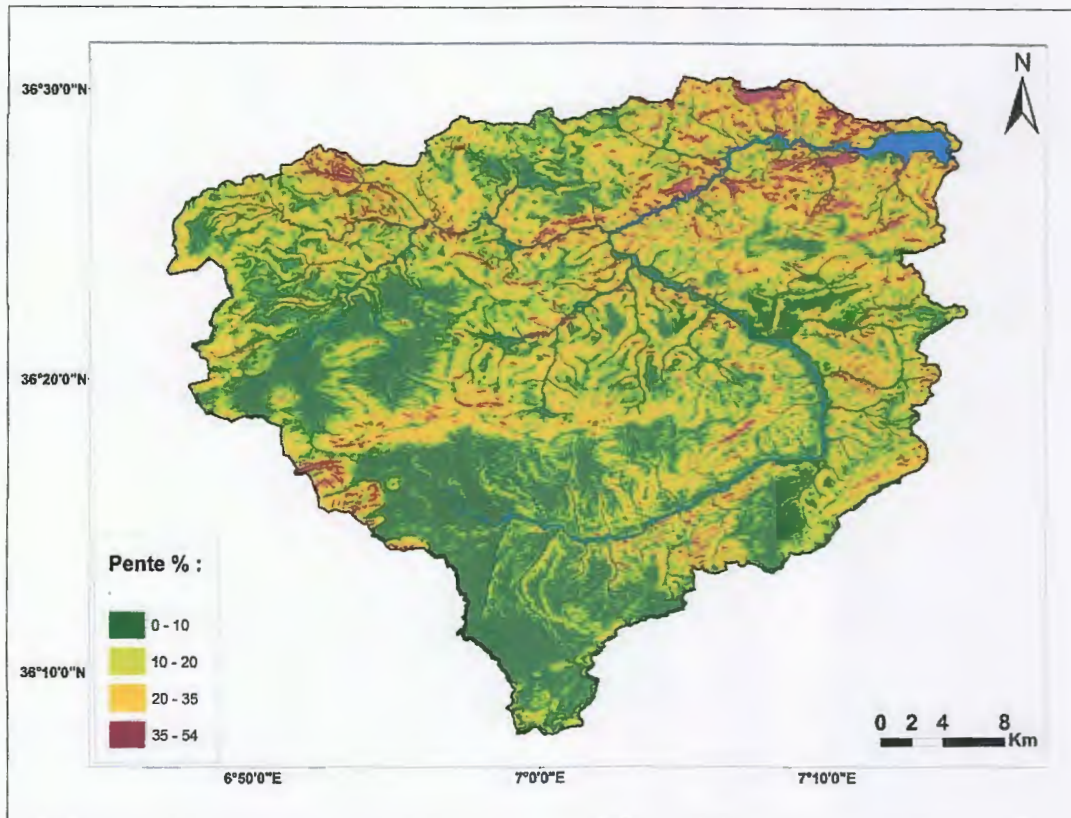


Fig.I.3. Carte des pentes du bassin versant de Bouhamdane.

I.4. Caractéristiques générales du Barrage Hammam Debagh

Le barrage de Hammam Debagh a été construit en 1980 et mis en service en 1987, pour objectif de l'irrigation du périmètre Guelma-Boucheougouf, l'alimentation en eau potable de la ville de Guelma et des centres avoisinants, introduction de cultures intensives et à haut rendement, la maîtrise de la qualité de l'eau et de l'équilibre écologique et l'utilisation rationnelle des ressources hydriques pour une meilleure exploitation des terres agricoles (Lassoued, 2008).

Après la sécheresse qui touche la région Est de l'Algérie ces années dernières, l'objectif se développé à l'irrigation de deux périmètres Guelma-Boucheougouf d'une part et Drean-Besbès dans la wilaya d'El Tarf d'autre part ; et à l'alimentation en eau potable de la ville de Guelma et les environs du barrage (Bouchemal et al, 2016) (Figure I.4).

Ces coordonnées géographiques sont :

- Latitude : 36°28'7.33"N - 36°27'42.53"N.
- Longitude : 7°10'40.64"E - 7°14'12.55"E.
- Elévation moyenne: 353 m.

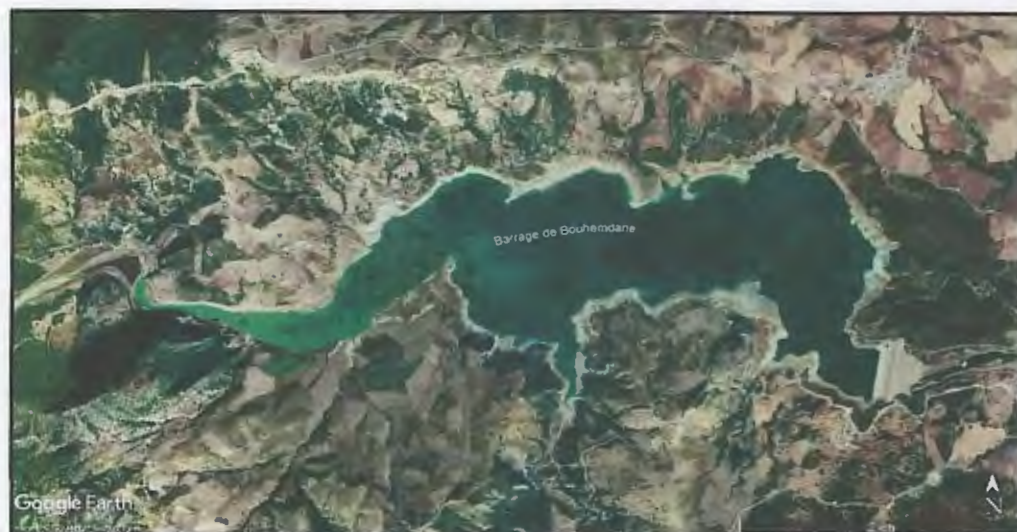


Fig. I.4. Photo satellitaire du barrage de Hammam Debagh (Google Earth 2022).

L'aménagement du barrage de Hammam Debagh comprend : (Bakhouche, 2020)

- Une digue en terre zoné composée d'un noyau argileux vertical, de recharges amont et aval en alluvions graveleuses, séparées du noyau par un dispositif filtre/drain conçu pour colmater les fissures et éviter les fuites d'eau.
- Deux évacuateurs de crues (déversoir seuil libre et déversoir corolle avec puits).
- Une vidange de fond dans laquelle est incorporée la chambre des vannes en souterrain à 50 m à l'aval de l'axe de la digue.
- Une galerie d'accès de service à la chambre des vannes.
- Un réseau de galeries d'injection et de drainage de la fondation de la digue.
- Une tour de prise d'eau verticale encastrée dans le rocher comportant 3 niveaux de prise et reliée à la chambre des vannes par la galerie de prise d'eau principale elle-même incorporée au niveau supérieur de la vidange de fond.
- Une tour de batardage de la vidange de fond dans laquelle est incorporée une prise d'eau auxiliaire elle-même jumelée avec la galerie de prise d'eau principale au niveau supérieur de vidange de fond.

Les caractéristiques techniques et hydrologiques du barrage sont présentées dans le tableau ci-dessous (Tableau I.2 et Tableau I.3) :

Tab. I.2. Caractéristiques hydrologiques du barrage Hammam Debagh (source : ANBT, 2020).

Caractéristiques hydrologiques	
Wilaya	Guelma
Oued	Bouhamdane
Capacité initiale	1988 ~ 200 hm ³
Capacité lors du dernier lever bathymétrique	2004 ~ 185 hm ³
Apport moyen annuel	65 hm ³
Envasement moyen annuel	0,35 hm ³

Tab. I.3. Caractéristiques techniques du barrage Hammam Debagh (source : ANBT, 2020).

Caractéristiques techniques du barrage	
Type	en remblai à noyau d'argile
Hauteur	93 m
Longueur	430 m
Largeur en crête	10 m
Côte de retenue Normale (R.N)	360 m
Côte Plus Hautes Eaux (P.H.E)	370,25 m
Volume Inexploitable	5 hm ³
Volume régularisé	55 hm ³
Volume de la digue	6.500.000 m ³
Débit d'évacuation	2 240 m ³ /s
Vidange de Fond	218 m ³ /s

I.5. Le couvert végétal

La végétation joue un rôle important dans le maintien des sols selon son type, sa densité et la superficie qu'elle occupe. Elle lutte contre les phénomènes érosifs ; que ce soit celle de l'eau (érosion hydrique), du vent (érosion éolienne) ou celle due à la gravité. La végétation est susceptible aussi de freiner le ruissellement et de le retarder au profit de l'infiltration de l'eau dans le sol, et atténue les conséquences des pluies torrentielles.

La dégradation du couvert forestier rend la surface du bassin versant de Bouhamdane moins protégée vis-à-vis tous les types d'érosion. (Figure I.5)

La végétation de type agricole (cultures, et oléiculture) occupe un taux d'environ 65 % de la superficie totale du bassin versant ce qui traduit la politique des autorités locales envers l'agriculture. Tandis que, 22 % de la superficie représente les terrains boisés (forêts dense et claire, maquis et reboisements) et se trouvent essentiellement dans les régions de haute altitude à modérée. Ainsi que les terrains de parcours occupent 6,5 % du bassin versant. Le reste de la superficie est occupé par des terres improductives (terrains rocheux, terrains nus, plan d'eau et terres urbanisées) et se trouvent dispersées dans le bassin versant (Bouguerra H, 2018).

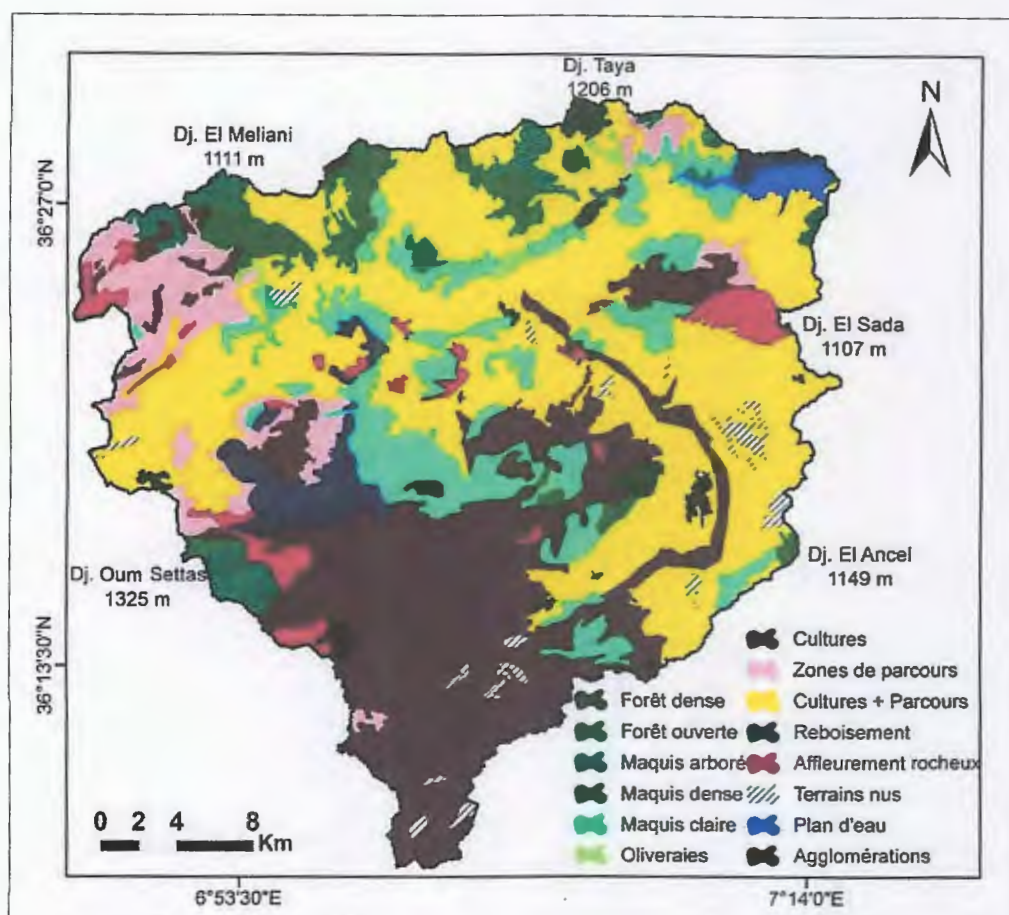


Fig.I.5. Carte d'occupation des terres du bassin versant de Bouhamdane (Bouguerra H, 2018).

I.6. Contexte socio-économique

I.6.1. La population

Le bassin versant de Bouhamdane comprend les communes ; Oued Zenati ,Bordj Sabath, Ain Regada, Ain Hassainia, Medjez Ammar ,Ras el Agba ,Hammam Debagh, Bouhamdane, Ben Badis, Ain Abid et la commune de Ouled Hababa de la wilaya de Skikda, d'après les résultats du dernier recensement de 2008, il abrite une population de l'ordre 134314 habitants (Zeghaba N, 2018).

I.6.2. l'alimentation en eau potable(AEP)

Le barrage de Hammam Debagh alimente en eau potable (AEP) les agglomérations d'Ain Hassainia, Hammam Debagh, Medjez Amar, Ben Djerrah et Guelma. La population de ces agglomérations et ses besoins en eau, estimée à 168808 habitants selon le recensement de l'année 2008 et se répartit comme indiqué dans le tableau ci-dessous (Tableau I.4) (Zeghaba, 2018).

La figure (Figure I.6) montre un développement proportionnel entre la population et les besoins en eau.

Tab. I.4. Répartition des besoins selon la population (Rapport barrage Hammam Debagh 2016).

Agglomération	Population (hab)	Besoins (Hm ³ /an)
Ain Hassainia	7104	0,32
Hammam Debagh	16391	0,84
Medjez Ammar	7681	0,2
Ben Djerrah	8711	0,48
Guelma	128921	7,1

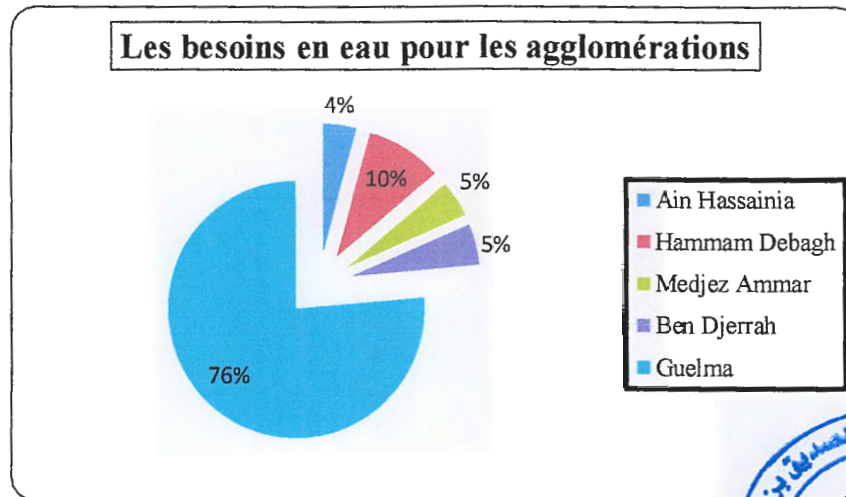


Fig. I.6. Représentation graphique pour les besoins en eau des agglomérations.

I.6.3. Les activités agricoles

Le barrage de Hammam Debagh, fournit un taux d'irrigation de l'ordre de 26% pour deux périmètres ; l'un de Drean-Besbès (W. d'El Tarf) et l'autre Guelma-Bouchehoud. Ce dernier couvre une superficie de 13 000 hectares (Tableau I.5). La plus grande part des activités d'agriculture dans la région représente en particulier la culture céréalière, surtout au niveau de la plaine d'Oued Zenati (Zeghaba N, 2018).

Tab. I.5. Les superficies irriguées (source : ABHCSM, 2016).

Superficie irrigable (ha)	Superficie irriguée (ha)	Taux d'irrigation (%)
9250	2401	26

I.6.5. Les activités industrielles

L'industrie dans la région d'étude est presque nulle ; à l'exception des petites unités repartis sur des différentes disciplines, à savoir : la menuiserie du Bois, industrie de l'agro-alimentaire (production d'huile et usines de limonade), des entreprises des travaux de construction (commune Bordj Sabath) (Zeghaba N, 2018).

I.7. Conclusion

Le barrage de Hammam Debagh est implanté à l'exutoire du bassin versant de Bouhamdane sur l'oued de Bouhamdane à 3 km à l'amont du village de Hammam Debagh. Il est situé à 25 kilomètres à l'ouest du chef-lieu de la wilaya de Guelma, il appartient administrativement à la Commune de Bouhamdane, Daïra de Hammam Debagh

Le bassin versant de Bouhamdane occupe la partie Ouest de la wilaya de Guelma, sur une superficie de 1070km². Il est traversé par oued Bouhamdane (37,49 Km), ce dernier étant alimenté par deux affluents principaux sont : Oued Zenati (52,40 Km) et Oued Sabath (10,86 Km). Le chevelu hydrographique d'oued Bouhamdane prend sa source d'un ensemble de reliefs montagneux.

Le bassin versant de Bouhamdane caractérisé par une prédominance de pentes modérées (entre 10 % et 20 %) représente 40 % de la superficie totale. Or, les pentes fortes à très forte (de 20 % à 54 %) et les pentes faibles à très faible (inférieure à 10 %) présentent respectivement 25 % ,35 % de la superficie du bassin.

Les eaux du barrage de Hammam Debagh sont destinées d'une part, à l'irrigation des périmètres de Guelma-Boucheouf et Drean-Besbès dans la wilaya d'El Tarf, et d'autre part, à l'alimentation en eau potable de la ville de Guelma et les environs du barrage.

Le couvert végétal du bassin versant est varié essentiellement entre la végétation de type agricole (cultures, et oléiculture) et les terrains boisés (forêts dense et claire, maquis et reboisements) ; ces dernières occupent un pourcentage de l'ordre de 65 % et 22 % respectivement de la superficie totale du bassin versant.

La culture céréalière représente en particulier, la plus grande part des activités d'agriculture dans la région sur tous au niveau de la plaine d'Oued Zenati. Tandis que ; l'industrie dans la région d'étude est presque nulle ; à l'exception des petites unités repartis sur des différentes disciplines.

CHAPITRE II
Contexte Géologique

II.1.Introduction

La circulation des eaux à travers les formations géologique provoque le processus de dissolution des divers éléments constitutifs des terrains traversés. Pour comprendre la composition chimique des eaux de la région d'étude, il est indispensable donc de voir l'aspect géologique de ces terrains.

II.2.Cadre géologique régional

Pour comprendre l'histoire géologique de la zone d'étude, il est nécessaire de la mettre dans son contexte géologique régional (Zerdoudi, 2015).

La région de Guelma appartient au domaine externe (Tell) de la chaîne des Maghrébides (Fig.II.1). Cette chaîne issue de *l'orogénèse alpine*, bordant au sud la Méditerranée occidentale et regroupe les chaînes bétiques en Andalousie, rifaines au Maroc, telliennes en Algérie - Tunisie, siciliennes et calabraises en Italie (Chabbi, 2017).

La subdivision de la chaîne des Maghrébides en Algérie donne trois grands domaines paléogéographiques du Nord vers le Sud, se sont le domaine interne, domaine des flyschs et le domaine externe.

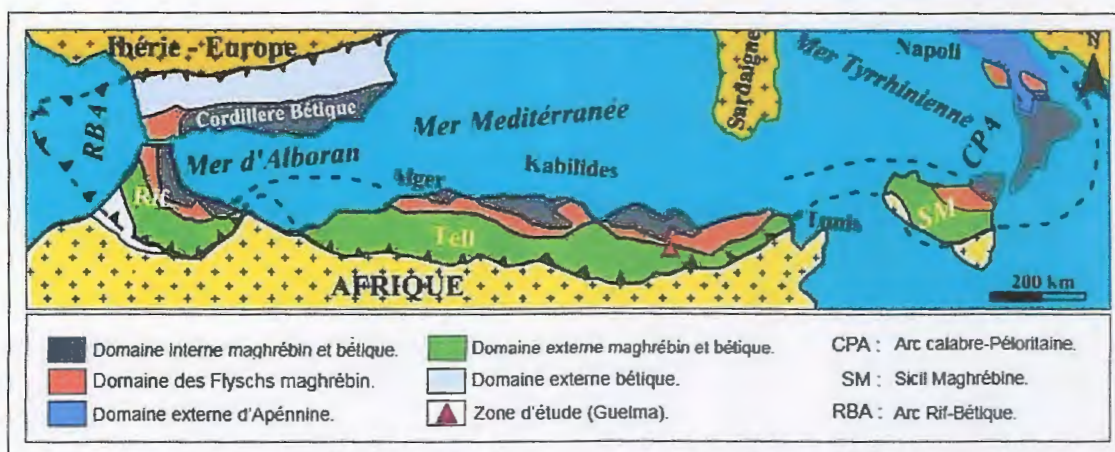


Fig. II.1. Carte des principaux domaines paléogéographiques de la chaîne des Maghrébides (Belayouniet al. 2013, modifiée)

II.2.1. Le domaine interne

Une série de massifs côtiers représente le domaine interne. Ce dernier est composé de : (Guidoum, 2017)

II.2.1.1. Le socle kabyle

Le socle cristallin et sa couverture sédimentaire chevauchant les unités plus méridionales, qui affleurent en grande et petite kabyle et dans les pointements côtiers des massifs d'Alger, du Chenoua et Ténès (Mebarki, 2005).

II.2.1.2. La dorsale kabyle

On l'appelle aussi chaîne calcaire, affleure au Kef Sidi Driss (nord de Constantine) et il continue leur affleurement jusqu'au Djebel Labiod (sud de Annaba), elle se caractérise par une sédimentation carbonatée d'où son nom de chaîne calcaire. Du nord vers le Sud, on distingue plusieurs séries réparties en trois zones (Vila, 1980) ; La dorsale interne, la dorsale médiane et la dorsale externe.

II.2.2. Le domaine des flyschs

Il s'agit d'une sédimentation de type flysch déposée dans un milieu profond, sur un substratum de type croûte océanique. Trois types de flysch ont été reconnus : (Chabbi, 2017)

II.2.2.1. Le flysch Mauritanien : il se trouve dans la partie septentrionale du sillon des flyschs. Il commence dans Dogger-Malm par des radiolarites rouges et se finit par des niveaux conglomératiques du Paléocène.

II.2.2.2. Le flysch Massylien : il se dépose dans la partie méridionale du sillon des flysch, et comporte une série pélito-quartzitique d'âge Crétacé inférieur surmontée par une série pélito-micro-bréchique d'âge Crétacé supérieur.

II.2.2.3. Le flysch Numidien : il ressemble l'unité supérieure, et caractérisé par un flysch gréseux Oligo-Aquitainien, qui atteint le Burdigalien.

II.2.3. Le domaine externe

Le domaine externe tello-rifain représente la marge téhysienne du continent africain (Wildi, 1983). La structure en grandes nappes à vergence sud, s'exprime dans les zones des divers segments : Rif au Maroc, Tell en Algérie et Kroumirie en Tunisie (Sahraoui, 2014).

II.2.3.1. Les séries telliennes

Les phases tectoniques tertiaires découpent les séries telliennes en trois grandes entités, en Algérie orientale et aux confins algéro-tunisiens, dont les limites suivent approximativement les lignes paléogéographiques du Crétacé, du Paléocène et de l'Eocène. Ce sont, du Sud vers le Nord: (Wildi, 1983 ; Vila, 1980 in Sahraoui, 2014)

- Les unités péni-telliennes et les unités méridionales à nummulites, à faciès néritique prépondérant du Crétacé supérieur à l'Eocène.
- Les unités telliennes sensu-stricto, avec un Crétacé inférieur plus ou moins riche en dépôts terrigènes et où les enchevêtrements de faciès néritiques restent modérés du Crétacé supérieur à l'Eocène.
- Les unités ultra-telliennes, dont les formations typiques du Crétacé inférieur sont constituées par des marno-calcaires clairs.

II.2.3.2. Les séries de l'avant pays

La chaîne des Maghrébides est limitée, au sud, par des avant-pays de nature et de comportement tectonique variables. On peut considérer, successivement d'Est en Ouest les unités et domaines suivants :

II.2.3.2.a. L'unité néritique constantinoise

Il se caractérise par une plate-forme carbonatée allant du Jurassique au Cénomaniens, surmontée d'une couverture marneuse du Crétacé supérieur pouvant atteindre l'Oligocène supérieur (Coiffait, 1992).

II.2.3.2.b. L'unités sud- sétifien

Situé au Sud et à l'Ouest de la nappe néritique Constantinoise, est considérée comme autochtone. Dans les travaux de Savornin, 1920, il présente une ligne tectonique marquée par de légers chevauchements et des plis à déversement vers le Sud.

II.2.3.2.c. L'unités des Sellaoua

Appelée aussi zone à écaïlle depuis les travaux de David (1956) et de Voûte (1967) et fut intégrée dans l'avant pays allochtone par Vila (1980) qui a vu en cette zone le siège de raccourcissements considérables qui sont attribués à des chevauchements de grandes ampleurs.

II.2.3.2.d. Le para autochtone Nord-aurésien

C'est l'ensemble des structures formées par les Djebels d'Aïn Yaghout et par les Djebels Hanout et Guellif, Sidi Reghis dans la région d'Aïn Kercha et d'Oum El Bouaghi. Il forme la bordure septentrionale de l'autochtone atlasique. Il a été affecté par la tectonique alpine.

Le Trias de la région des lacs peut être interprété comme le cœur d'un vaste pli couché (Benabbas, 2006).

II.2.3.2.e. L'autochtone Nord-aurésien

C'est le domaine atlasique, caractérisé par un ensemble secondaire, plissé avec des directions atlasiques à la fin de l'Eocène, et par un Trias diapirique d'âge Aptien, plus à l'Est, dans la région de l'Ouenza et Djebels de Tébessa (Farah, 1991).

II.3. Cadre géologique local

II.3.1. Aperçu d'ensemble

La région de Hammam Debagh appartient au Tell - Nappe épi tellienne. Selon Villa (in Mansouri, 2009), ces nappes résultent d'une poussée vers le Sud de la chaîne du Djebel Debagh, Grar et Kef-Hahouner où l'apparition d'un substratum formé de calcaires Crétacés. Ils ont été charriées les nappes dites telliennes, formées une intercalation des marnes de couleur noires ou grises et des bancs de calcaire d'âge Crétacé et Tertiaire.

Les nappes Telliennes ou le Crétacé "autochtone" recouvertes par la nappe du Flysch Crétacé. Celle-ci est composée de schistes de couleur noirs et de grand bancs de grès, localement de poudingues.

La structure régionale a une direction Est- Ouest, et présente des fractures parallèles à l'aspect général et des fois perpendiculaires à celle-ci. Plusieurs de ces fractures sont le siège d'une circulaire géothermale.

Le site du barrage Hammam Debagh correspond à un morceau de la nappe du flysch Crétacé. Tandis que, la cuvette du barrage se situées dans les marnes telliennes et le Crétacé autochtone. Le substratum recouvert par des terrasses en plusieurs niveaux, en amont et en aval du site (Mansouri Z ,2009).

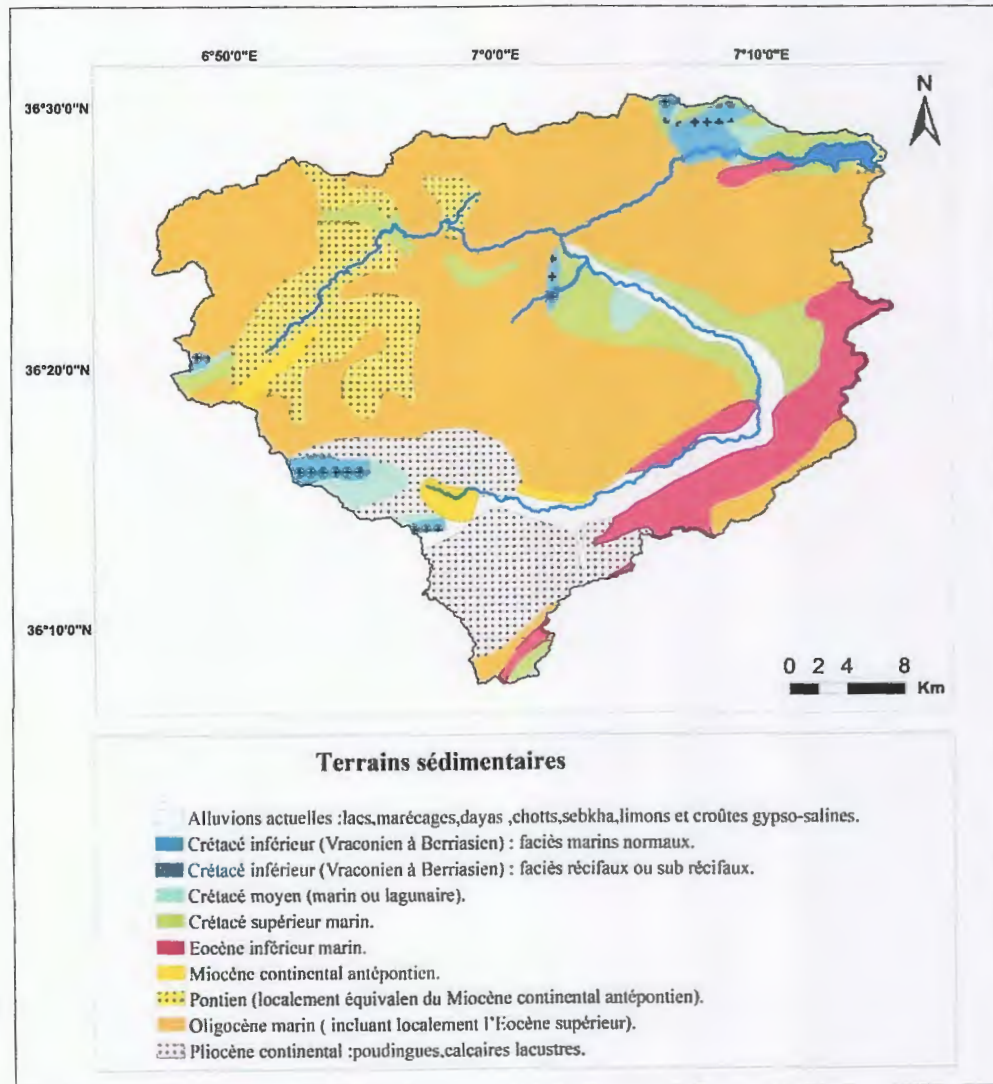


Fig. II.2. Carte géologique du Bassin versant de Bouhamdane (P.Deleau, 1951).

II.4. Le cadre structural

Selon Mekaoussi (2014) le bassin versant de Bouhamdane présent les unités structurales (Fig. II.3) suivantes :

II.4.1. Les formations peu ou pas tectonisées

II.4.1.1. Le Quaternaire

Le Quaternaire est responsable de beaucoup de dépôt et de formations superficielles, tels que les alluvions qui constituent les fonds des différents niveaux de terrasses. Il constitue également les glacis polygéniques, méridionaux et les glacis anciens de Constantine auxquels il faut ajouter les croûtes calcaires du Villafranchien qui ne prennent de l'extension que dans la partie sud du bassin versant, au nord-est de Ain-Abid et les éboulis à gangue, à bloc et en masse qui se développent exclusivement en bordure du massif numidien et des glacis anciens.

II.4.1.2. Le Mio-Pliocène continental

Ce sont des formations continentales discordantes sur toutes les séries antérieures, constituées de conglomérats et d'argile sableuses de couleur rouges. On trouve ces formations dans toute la région, mais elles couvrent une grande partie du Nord-Ouest du bassin versant et spécialement les forêts des Béni-M'djalel et Sadrata et sur la rive gauche de l'oued Bouhamdane près du barrage, et au Kef Hadjar et Bled Bounezoura à voisinage de Aïn Abid.

II.4.1.3. Nappe numidienne

Le terme « numidien » est réservé pour désigner de bas en haut, la trilogie : argiles sous-numidiennes, grès numidiens et argiles supra-numidiennes, qui sont des ensembles à dominance gréseuse.

Les formations argilo-gréseuses du Numidien constituent les hauteurs du Djebel Ouach, d'oued Zenati, du Djebel Mahouna, du Djebel Meida, près d'Ain Abid et à Sigus (au Sud du Djebel Oum Settas).

II.4.1.4. Nappe tellienne

Elle constitue la plus importante et la plus épaisse formation, elle affleure largement au Sud d'oued Zenati, en aval d'Aïn Regada. Elle y dessine un pli anticlinal d'axe SW-NE parallèle au lit de l'oued. A la base de cette unité affleure des marnes noires d'âge Paléocène moyen à supérieur, surmonté par une barre de calcaire noire de l'éocène inférieur. Enfin une importante couverture marneuse qui couvre de vastes espaces à l'Est et au Sud de l'oued Zenati, ainsi qu'au Nord de la route Constantine-Guelma. Cette couverture présente de nombreux bancs calcaires décimétriques.

II.4.1.5. Nappe néritique constantinoise

La nappe néritique constantinoise correspond à l'essentiel des reliefs calcaires. Sur près de 10 Km d'Ouest en Est et 80 Km du Nord au Sud, la tectonique a dispersé les affleurements des séries néritiques constantinoises, en massifs isolés de tailles variables (Vila, 1980). Dans la région d'étude, cette nappe est représentée par Djebel Oum Settas et Djebel Taya.

II.4.1.6. Les unités ultra- telliennes

Elle affleure à la base des massifs numidiens du bord septentrional de la région. Les séries formants ces unités sont de couleur teinte claire allant du Néocomien à l'Eocène moyen.

Ces unités occupent une position au Nord du domaine tellien et se place sous les flysch massyliens ou numidiens au Nord et sur les unités telliennes au Sud.

La stratigraphie actuelle des unités ultra-telliennes montre l'existence de 4 unités renversées (Lahondere, 1987).

- L'unité d'Aïn Haddad
- L'unité d'Aïn Guenoure
- L'unité d'oued Zenati
- L'unité de Ras El Akba

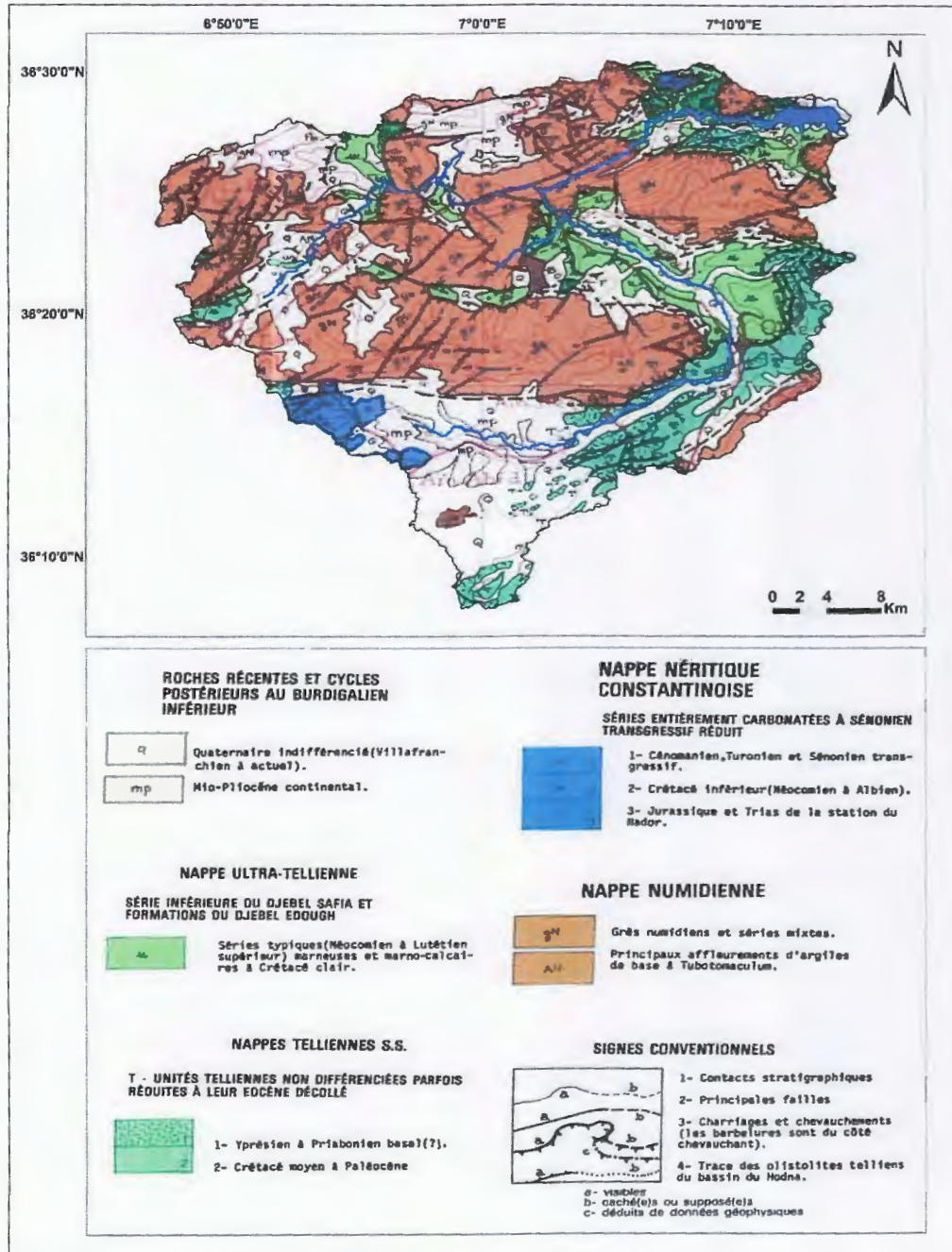


Fig. II.3. Carte structurale du Bassin versant de Bouhamdane (J.M.Vila 1978).

II.4.1.7. La série de Aïn El Kerma

Elle est constituée par des marnes et les marno-calcaires de couleur claire. Elle a paru à l'ouest du village de Ras El Aïoun, à des argiles vertes, et à l'Ouest du pont qui traverse l'oued Bouskoum. Cependant, les deux affleurements les plus importants de cette unité se trouvent dans la vallée de l'oued Bouhamdane. Le premier est situé au lieu dit El Madjen et le second constituant la ligne de crête entre les djebels Taya et Mermera.

Les différentes formations de cette série sont :

- Des marnes noires à lits de calcaire gris du Santonien et du Campanien.
- Des argiles grises très froissées, à galets et blocs du Paléocène moyen à supérieur.
- Des argiles vertes, esquilleuses, renfermant des lits de schiste du Paléocène moyen à supérieur.
- Des marnes et argiles noires indurées de l'Eocène moyen.

II.5. Description lithologique du bassin versant de Bouhamdane

Les formations lithologiques du bassin versant de l'oued Bouhamdane présente des variations de résistance et de faciès allant des roches les plus dures telle que, les calcaires et les grès, aux roches marneuses les plus tendres. À la base de la carte lithologique du bassin versant de Bouhamdane (Fig. II.4) trois ensembles sont regroupés : (Mekaoussi ,2014)

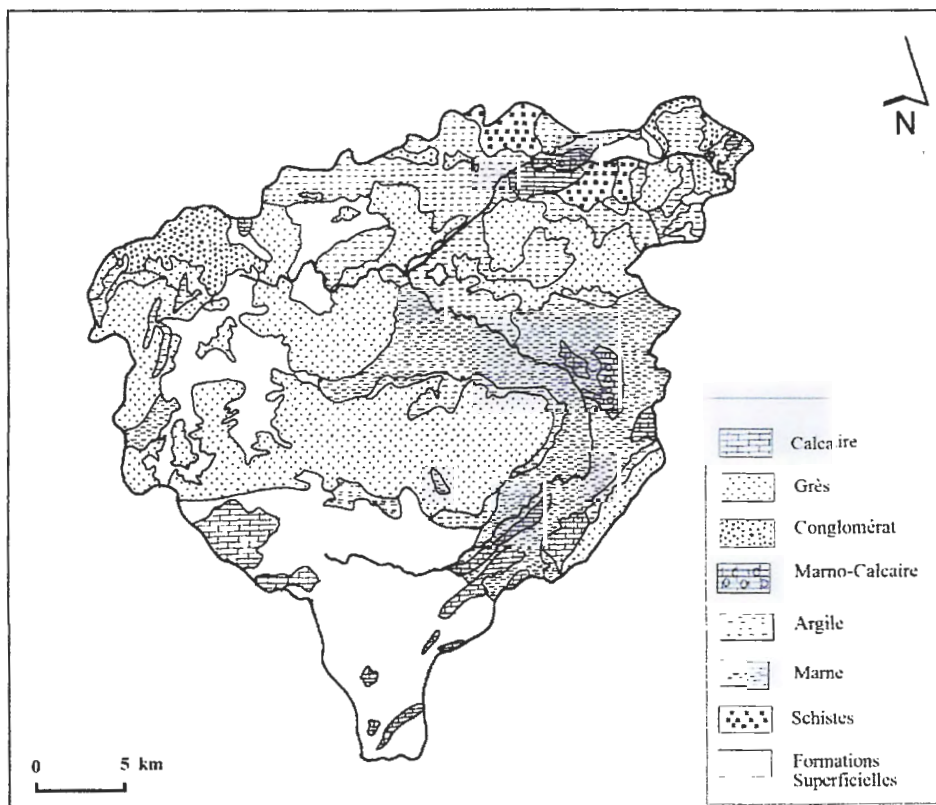


Fig. II.4. la carte lithologique du bassin versant de Bouhamdane (Aiche, M. 1996).

II.5.1. Les roches résistantes

Elles regroupent dans le bassin, les calcaires de la nappe néritique de Constantine, les conglomérats et les grès numidiens. Elles caractérisent les reliefs de fortes pentes. Ces faciès couvrent respectivement 4.01%, 4.06% et 26.90% de la surface de l'ensemble des affleurements rocheux.

II.5.2. Les roches moyennement résistantes

Représentées par des roches Marno-calcaires de la nappe ultra tellienne. Elles occupent une superficie insignifiante de 4,86% qui correspond à des collines aux pentes moyennes à fortes.

II.5.3. Les roches tendres

Elles correspondent aux argiles sous numidiennes, marnes et aux marnes schisteuses de la nappe ultra tellienne. Elles se localisent essentiellement sur les versants aux pieds des grès numidiens et dans les vallées des oueds Zenati et Bouhamdane.

II.6. Lithostratigraphie du bassin versant de Bouhamdane

Les principales entités stratigraphiques de la région sont :(Zeghaba, 2018)

II.6.1. Le Crétacé Autochtone

Il affleure en particulier au Djebel Debar et au Djebel Taya. On trouve:

- des calcaires massifs cristallins (Néocomien).
- des calcaires et calcaires cristallins (Barrémien).
- des calcaires cristallins massifs.
- des calcaires compacts à orbitolines (Aptien).

II.6.2. La série des Nappes Telliennes

- marnes schisteuses gris noir, feuilletées assez friables.
- marnes calcaires gris blanc.
- calcaires marneux blanchâtres.

II.6.3. La série du Flysch- Crétacé

- schistes gris noir verdâtres, parfois carbonatés.
- schistes gris noir minces intercalations gréseuses.
- schistes à grains de quartz, particulièrement altérable.
- grès friables gris blancs à jaunes, peu cimentés.
- grès conglomératiques et quartzitiques, en gros blancs.

II.6.4. Dépôts de grès psammitiques rouges et verts

On les trouve en affleurement en rive gauche de la cuvette, et relèvent probablement de l'Eocène.

II.6.5. Dépôts des terrasses

On trouve quatre niveaux distincts dont les niveaux de base à proximité du barrage. Ces terrasses correspondent à des dépôts relativement récents caractérisés par une épaisseur variable de gravier sableux qui reposent sous des silts argileux. Ces terrains peuvent contenir des argiles surtout vers la base, par remontées des produits d'altération des marnes.

II.7. Géologie de la cuvette du barrage Hammam Debagh

Le fond de cuvette est constitué par des terrasses déjà mentionnées, qui reposent sur des marnes. Les berges de la cuvette sont constituées presque exclusivement de marnes calcaires ou schisteuses. La seule exception se trouve au Nord-Est, où l'on rencontre une formation éocène plus récente de débris des grès psammitiques, rouges et verts, avec des veines de calcite.

L'étanchéité de la cuvette est garantie par la nature du substratum marneux. La hauteur et la faible pente des massifs qui l'entourent imposent des gradients hydrauliques faibles partout.

La structure des formations qui bordent la retenue est assez uniforme et en général favorable à la stabilité, sauf en une localisation de la rive droite. Comme les reliefs sont peu élevés, il n'y a pas lieu de craindre de glissement, brutaux de masses de sol qui pourraient compromettre la sécurité du barrage. Il est certain, du fait des fluctuations du plan d'eau, que des glissements se reproduiront le long des berges et particulièrement en rive gauche à hauteur du dernier méandre (Mansouri, 2009).

II.8. Les mouvements tectoniques

On distingue une série de phases tectoniques durant le tertiaire, depuis l'éocène moyen jusqu'au Burdigalien supérieur : (Chouabbi, 1987 in Mekaoussi, 2014)

II.8.1. La phase éocène

Elle est caractérisée par une tectonique compressive qui est à l'origine de la naissance d'une pente du côté Sud en direction du domaine centralo-tellien. L'existence de cette pente entre un domaine ultra-tellien plus élevé et un centralo-tellien plus bas, permet la mise en place des différents diverticules qu'a révélés l'étude de l'ultra-tellienne de oued Zenati (Lahondere, 1987).

II.8.2. La période comprise entre la phase éocène et la phase de l'éocène inférieur

A partir de l'oligocène, cette zone a connu une sédimentation généralement argileuse, surmontée par des barres de grès. Cette série est connue sous le nom de « la série Numidienne ». La conséquence de cette phase dans le Sellaoua, est l'apparition du décollement à plusieurs niveaux de la série du Sénonien supérieur. La lithologie favorise ce phénomène avec la présence de deux barres calcaires épaisses de 100 m, séparées par des marnes qui ont servi de semelle plastique (Chouabbi, 1987).

II.8.3. La phase miocène

La phase du Miocène inférieur est responsable du décollement et du charriage vers le Sud des nappes telliennes et de la série numidienne.

Les formations numidiennes se sont désolidarisées de leur substratum au cours du Burdigalien. Etant situées au Sud des zones kabyles, elles ne parviennent en recouvrement anormal qu'après la resédimentation des flyschs et des témoins de la série ultra-tellienne. Ces premiers mouvements sont fossilisés par la transgression du Burdigalien. Les formations numidiennes ainsi décollées sont reprises par la tectonique tangentielle du Turonien. » (Vila, 1980).

II.8.4. La néotectonique

Elle est responsable de l'orographie actuelle. Elle a déterminé le comblement des bassins Miopliocènes alimentés par la destruction des reliefs environnants. C'est à cette époque que l'on doit situer les plis à grand rayon de courbure et les vastes failles qui mettent en relief la nappe néritique constantinoise. Ces failles sont essentiellement distinctives.

II.8.5. Les formations pas ou peu tectoniques

L'exemple le plus typique de ces formations, est les glaciais et les dépôts du Miopliocène continental qui représentent de vastes épandages d'origine détritique, résultant d'une tectonique tangentielle ou cassante, car ils se sont déposés après les grands événements tectoniques connus dans la région.

II.10. Conclusion

Pour comprendre la composition chimique des eaux de la région d'étude, il est indispensable donc de voir l'aspect géologique de ces terrains.

En Algérie la subdivision de la chaîne des Maghrébides donnent trois grands domaines paléogéographiques du Nord vers le Sud, ce sont le domaine interne, domaine des flyschs et le domaine externe. La région de Guelma appartient au domaine externe (Tell) de la chaîne des Maghrébides. Ce domaine constitué par les séries telliennes et les séries de l'avant pays. Cette dernière est formée par des unités et domaines d'Est en Ouest de l'unité néritique constantinoise, l'unité sud-sétifienne, l'unité des Sellaoua, le para autochtone Nord-aurésien et l'autochtone Nord-aurésien. La région de Hammam Debagh appartient au Tell - Nappe épi tellienne. Ces nappes résultent d'une poussée vers le Sud de la chaîne du Djebel Debagh, Grar et Kef-Hahouner où l'apparition d'un substratum formé de calcaires Crétacés. Le site du barrage Bouhamdane est correspond à un morceau de la nappe du flysch Crétacé. Cependant, la cuvette du barrage se situées dans les marnes telliennes et le Crétacé autochtone.

Les formations lithologiques du bassin versant de l'oued Bouhamdane présentent des variations de résistance et de faciès, telle que, les calcaires, les grès et les marnes. Le fond de la cuvette du barrage est constitué par des terrasses, qui reposent sur des marnes. Les berges de la cuvette sont constituées presque exclusivement de marnes calcaires ou schisteuses. L'étanchéité de la cuvette est garantie par la nature du substratum marneux.

CHAPITRE III
Hydroclimatologie

III.1. Introduction

L'étude hydroclimatologique s'intéresse à l'identification du climat d'une région et donc à l'étude des facteurs climatique et l'analyse de différentes composantes du bilan hydrique, à la base d'un ensemble de données climatiques mesurées durant une période bien définie (plusieurs années).

III.2. Les données climatiques disponibles

Pour étudier le climat de la région, nous avons utilisé les données pluviométriques et thermiques fournies par deux stations météorologiques : station El Aria et station du barrage Hammam Debagh, pour une période de mesure s'étalant sur 62 ans (de 1958 jusqu'au 2020). Les coordonnées des deux stations sont représentées dans le tableau (Tableau III .1) ci-dessous.

Tab. III .1. Les cordonnées des stations météorologiques.

Stations	Coordonnées		
	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Station El Aria	36,3542 N	6,8542 E	769
Station Hammam Debagh	36,4792 N	7,2292 E	402

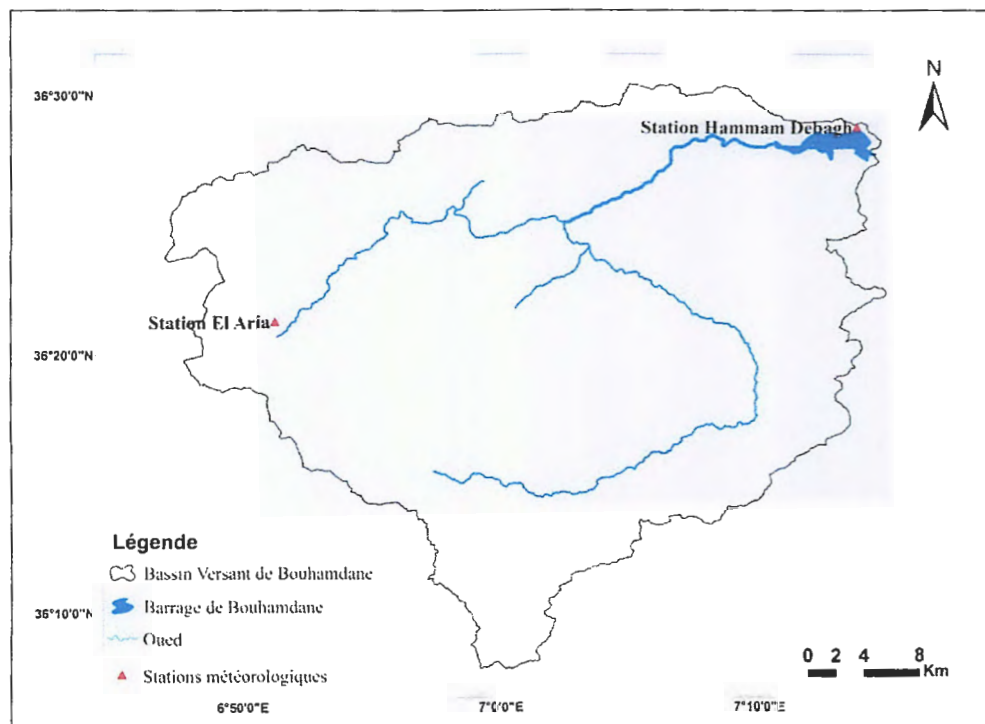


Fig. III.1. Localisation des stations météorologiques.

III.3. Analyse des données climatiques

III.3.1. Précipitations

Les précipitations sont l'un des processus hydrologiques les plus variables et les plus instables au cours de l'année. Ils ont un impact direct sur le régime des cours d'eau, les réserves de surface (barrages...) et les réservoirs souterrains (nappes aquifères).

III.3.1.1. Précipitations moyennes mensuelles

Les valeurs de précipitations moyennes mensuelles (de 1958 à 2020), enregistrées au niveau de la station El Aria et de la station Hammam Debagh sont résumées dans les tableaux ci-dessous (Tableaux III.2 et III.3).

a) Station El Aria

Tab. III.2. Précipitations moyennes mensuelles de la station El Aria.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	juil	Août	Total
Précipitations (mm)	35,98	52,53	65,54	104,46	111,59	79,73	66,27	52,7	55,85	26,77	4,5	11,13	667,03

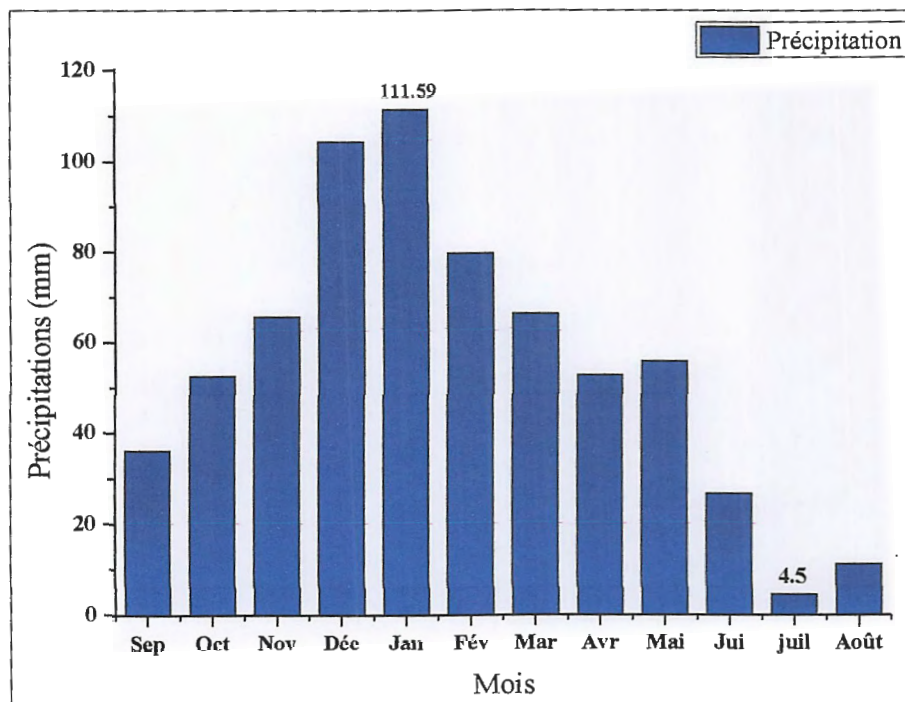


Fig. III.2. Les variations moyennes mensuelles des précipitations de la station El Aria.

L'histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station d'El Aria (Figure III. 2), montre une variation asymétrique à droite par rapport au mois de Janvier. La valeur moyenne maximale des précipitations est observée au mois de Janvier avec un ordre de 111,59 mm, tandis que la valeur minimale est observée au mois de Juillet avec une moyenne mensuelle de précipitation égale à 4.50 mm.

b) Station Hammam Debagh

Tab.III.3. Précipitations moyennes mensuelles de la station Hammam Debagh.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	juil	Août	Total
Précipitations (mm)	30,25	52,78	66,8	97,82	107,48	75,82	66,14	49,36	49,37	20,82	3,53	10,04	630,22

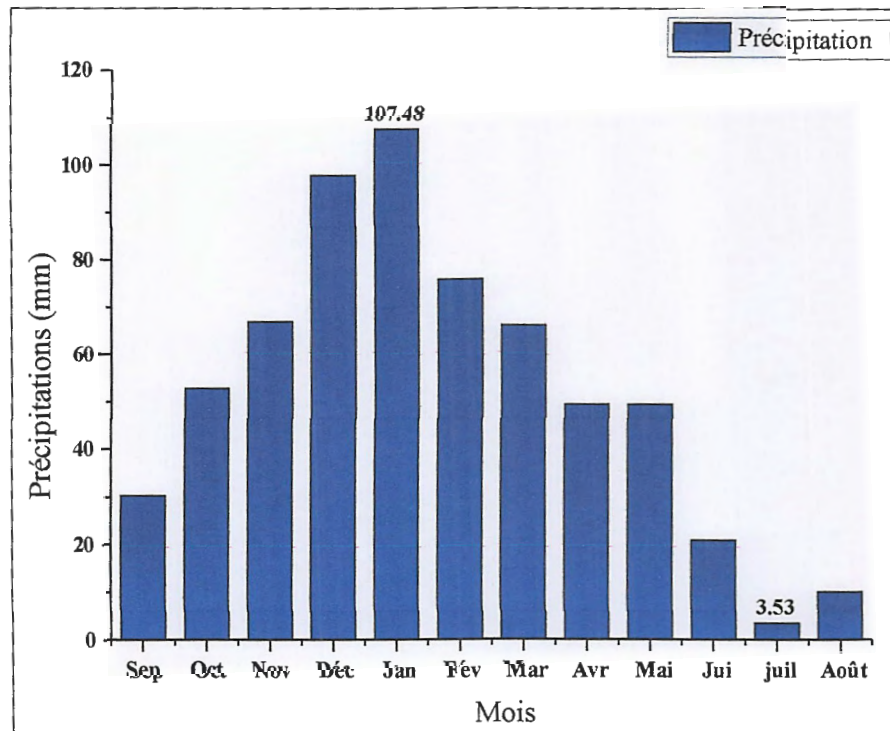


Fig.III.3. Les variations moyennes mensuelles des précipitations de la station Hammam Debagh.

L'allure d'histogramme (Figure III.3) montre clairement une variation asymétrique à droite par rapport le mois de Janvier, où les précipitations atteignent leur maximum avec un ordre de 107,48 mm, tandis que, le minimum des moyennes des précipitations enregistrées au mois de Juillet avec une valeur de 3,53mm.

III.3.2. Température

Comme les précipitations, les températures connaissent d'importantes fluctuations toute au long de l'année. Elles ont une grande influence sur le bilan hydrologique du fait qu'elles conditionnent l'évapotranspiration et par conséquent le déficit d'écoulement annuel et saisonnier (Arouya, 2011 in Hachouf, 2018).

III.3.2.1 Températures moyennes mensuelles

Les valeurs des températures moyennes mensuelles d'une période d'étude de 62 ans (1958 à 2020), enregistrées au niveau de la station El Aria et de station Hammam Debagh sont résumées dans les tableaux ci-dessous (Tableaux III.4 et III.5).

a) Station El Aria

Tab.III.4. Températures moyennes mensuelles de la station El Aria.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	juil	Août
T min (°C)	14,73	10,97	6,40	2,79	1,99	2,37	4,43	6,36	10,00	14,40	17,73	17,80
T moy (°C)	21,10	16,68	11,29	7,21	6,32	7,18	9,72	12,37	16,29	21,21	25,34	25,20
T max (°C)	27,48	22,40	16,18	11,62	10,65	11,99	15,01	18,38	22,58	28,03	32,96	32,59

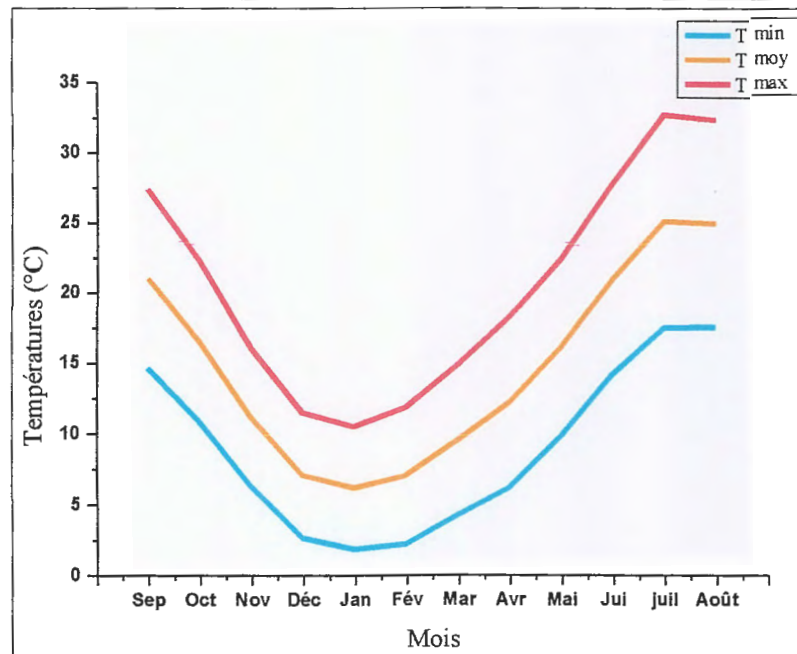


Fig.III.4. Les variations moyennes mensuelles des températures de la station El Aria.

Les courbes de variation des températures moyennes mensuelles à la station El Aria (Figure III.4), révèlent le mois de Juillet est le plus chaud ; et le mois de Janvier est le plus froid, avec des températures moyennes varient respectivement 25,34°C et 6,32°C.

b) Station Hammam Debagh

Tableau.III.5. Températures moyennes mensuelles de la station Hammam Debagh.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	juil	Août
T min (°C)	16,71	12,60	8,82	5,05	3,95	4,23	5,78	8,05	11,32	15,00	18,26	18,74
T moy (°C)	22,70	18,30	13,60	9,70	8,82	9,34	11,47	14,11	17,74	22,17	25,85	26,03
T max (°C)	28,70	23,99	18,37	14,34	13,70	14,46	17,16	20,17	24,16	29,34	33,44	33,31

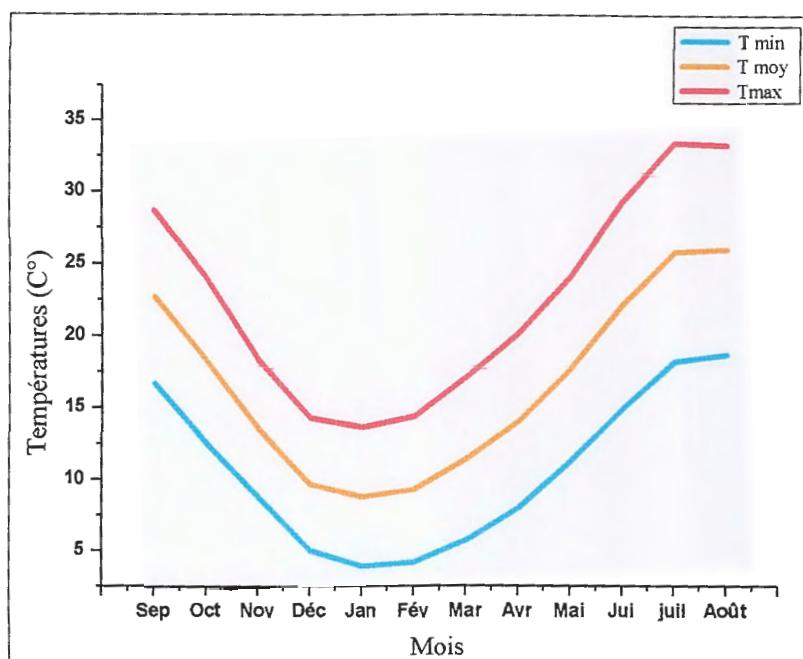


Fig. III.5. Les variations moyennes mensuelle des températures de la station Hammam Debagh.

Les courbes de variation des températures moyennes mensuelles (Figure III.5) montrent que la température la plus élevée correspond au mois de Juillet, soit 25,85°C, par contre la plus basse correspond au mois de Janvier avec 8,82°C.

III.4. Diagramme Ombrothermique (Pluvio-thermique)

La méthode du diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1953) a été utilisée pour déterminer correctement le type de climat et facilite de préciser les périodes sèches et humides.

Elle associe dans une formule, deux facteurs climatiques considérés comme essentiels, précipitations et températures. Selon Bagnouls et Gaussen un mois sec est celui où le total des précipitations est égal ou inférieur au double de la température (Ghemit et all, 2016). La construction du diagramme se fait en plaçant sur l'axe des abscisses les mois de l'année, et sur les deux axes des ordonnées les précipitations exprimées en millimètres (mm), et les températures exprimées en (°C) avec $P=2T$. La période est sèche lorsque la courbe thermique se tient au-dessus de la courbe pluviométrique. Par contre, si la courbe des précipitations surmonte celle des températures, on parle de la période humide (Kias et all, 2020).

Les deux diagrammes Ombrothermiques (Figure III.6) (Figure III.7) sont semblables; ils montrent l'existence de deux périodes bien distinctes. L'une est humide, longue et pluvieuse et l'autre sèche, courte et chaude.

La période humide dans les deux stations s'étale au cours du mois de Septembre jusqu'au mois de Mai, elle est approximativement de 9 mois. Cependant, la période sèche plus courte que la précédente et dure presque les trois mois restant de l'année.

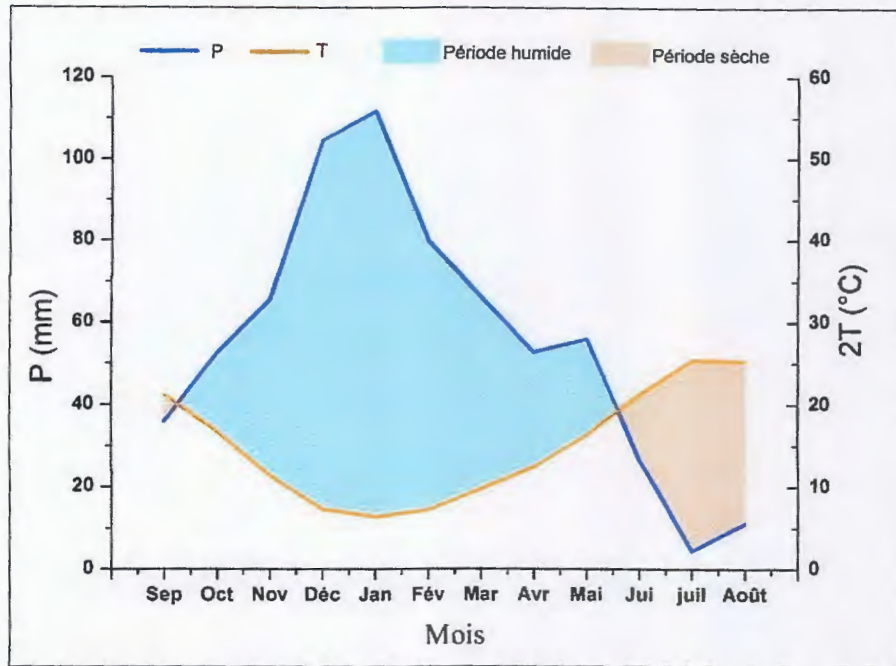


Fig.III.6. Diagramme Ombrothermique de la station El Aria (1958-2020).

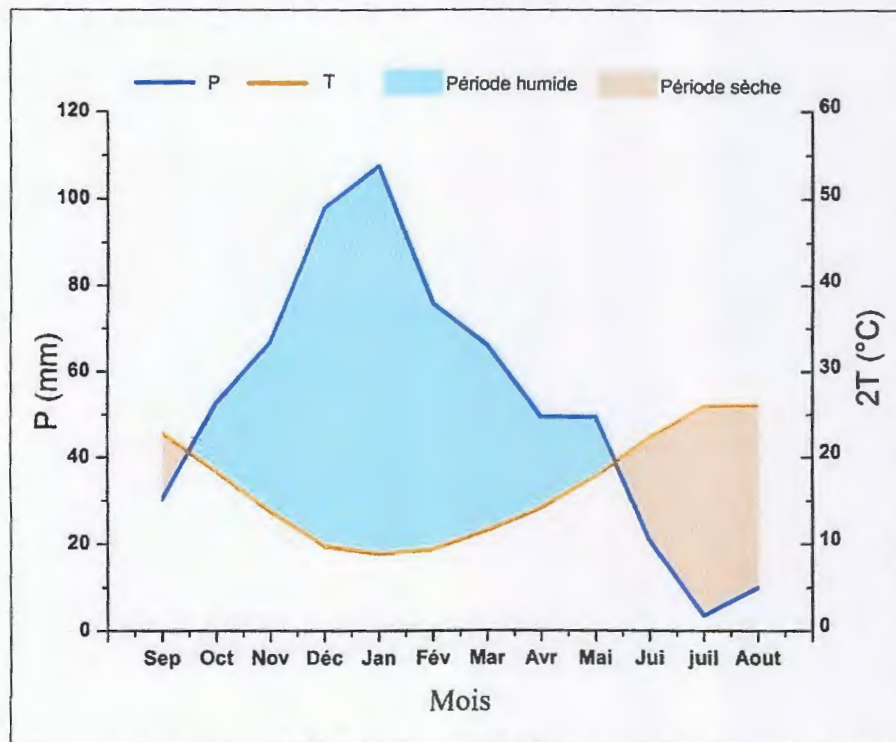


Fig.III.7. Diagramme Ombrothermique de la station Hammam Debagh (1958-2020).

III.5. Bilan hydrique

Le bilan hydrique est basé sur la disponibilité des eaux dans les sols, ses évaporations et ses renouvellements (Hufty, 2001). Il permet d'évaluer la répartition des précipitations entre les

différents composants à savoir le ruissellement, l'infiltration, et l'évapotranspiration (Boulegghem, 2015). Le bilan est établi selon la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : la précipitation moyenne annuelle en mm.

ETR : l'évapotranspiration réelle en mm.

R : le ruissellement en mm.

I : l'infiltration en mm.

III.5.1. Détermination des paramètres du bilan

III.5.1.1. Evapotranspiration

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes responsables au retour des eaux de pluies à l'atmosphère par l'évaporation à partir des sols, des surfaces d'eau libre et par transpiration des végétaux.

III.5.1.1.a. Evapotranspiration potentielle (ETP)

C'est la quantité d'eau qui pourrait s'évaporer et transpirer d'un milieu si celui-ci recelait la réserve nécessaire, c'est-à-dire si l'eau du sol est suffisante et les plantes ne manquent pas d'eau (Hufty, 2001). Celle-ci est estimée à l'aide de la formule simplifiée de THORNTHWAITE (1948), qui tient compte de la température moyenne de l'aire (Soufane et al, 2017). Cette formule s'écrit de la manière suivante :

$$ETP = 16 \cdot (10T / I)^a$$

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 :

$$ETP_{corr.} = 16 \cdot (10T / I)^a \cdot K = ETP \cdot K$$

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

III.5.1.1.b. Evapotranspiration réelle (ETR)

C'est la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique (Higy et Musy, 2004). Pour calculer l'ETR, plusieurs formules sont utilisées : formule de Thornthwaite, de Turc, et de Coutagne.

- **ETR selon « C.W. Thornthwaite »**

Pour le calcul de l'ETR, Thornthwaite a considéré deux cas : (Brahmia, 2016)

- **P ≥ ETP** : l'évapotranspiration réelle sera égale à l'évapotranspiration potentielle (ETR=ETP), et la quantité d'eau qui reste (P-ETR) représente un excédent qui est stockée dans le sol jusqu'à la saturation de la RFU au maximum (100 mm) et si elle dépasse cette valeur, il y'aura un excédent (EX) qui va partir sous forme d'infiltration efficace vers la nappe ou sous forme de ruissellement.
- **P < ETP** : l'évapotranspiration réelle sera égale précipitation plus la réserve facilement utilisable jusqu'à la satisfaction totalement (ETP = P + RFU).

Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole représente la différence entre l'évapotranspiration potentielle et réelle (DA =ETP-ETR), ce dernier paramètre représente alors le besoin de culture à l'irrigation.

• l'ETR selon la formule de Turc

Cette formule tient compte des précipitations et des températures moyennes annuelles pour le calcul de l'ETR (Soufane et All, 2017).

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{[0.9 + (\frac{P}{L})^2]}}$$

Avec : $L = 300 + 25t + 0.05t^3$

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

L : Pouvoir évaporant.

Tab.III.6. Calcul de l'ETR selon la formule de TURC.

Stations \ Paramètres	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)
Station El Aria	667,03	14,99	843,16	539,28
Station Hammam Debagh	630,22	16,65	947,04	544,47

III.5.1.2. Ruissellement (R)

Les ruissellements font partie des précipitations qui s'écoule à la surface vers le réseau hydrographique et les étendues d'eau libre (lacs, mers...) (Boeglin, 2000). Il apparaît lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité de rétention maximale en eau du sol, et notamment en fonction d'autres facteurs tels que la composition du sol, la pente et le couvert végétal (Chergui, 2014).

Le ruissellement (R) peut être calculé par deux formules :

- Tixeront Berkallof :

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

- Tixeront Berkallof modifiée par Romantchouk (1974) :

Si $P > 600 \text{ mm} \rightarrow R = P^3 / 3$

Tab.III.7. Calcul de ruissellement selon la formule de Tixeront Berkallof.

Paramètres	P (mm)	R (mm)
Stations		
Station El Aria	667,03	98,92
Station Hammam Debagh	630,22	83,43

III.5.1.3. Infiltration (I)

L'infiltration désigne la pénétration de l'eau dans le sol et la circulation de cette eau dans le sous-sol, sous l'effet de la gravité et éventuellement de la pression. Elle joue un rôle essentiel dans les écosystèmes terrestres, car elle permet la réhydratation des sols et sécurise l'approvisionnement des nappes phréatiques et des rivières souterraines (Geny et al, 1992) (in chibani, 2009).

Elle peut être calculée à l'aide de la formule du bilan global:

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

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

R : Ruissellement 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.

Tab.III.8. Calcul de l'infiltration selon la formule du bilan hydrique.

Paramètres	P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)
Stations				
Station El Aria	667,03	98,92	433,52	134,59
Station Hammam Debagh	630,22	83,43	439,6	107,19

III.5.2. Estimation du bilan hydrique

Les bilans hydriques des deux stations sont obtenus à partir de la méthode de THORNTHWAITE (tableaux III.9 et III.10), on déduit les points suivants :

Tab.III.9. Bilan Hydrique selon Thornthwaite de la station El Aria.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Total
P (mm)	35,98	52,53	65,54	104,46	111,59	79,73	66,27	52,70	55,85	26,77	4,50	11,13	667,03
T (°C)	21,10	16,68	11,29	7,21	6,32	7,18	9,72	12,37	16,29	21,21	25,34	25,20	/
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	/
i	8,85	6,20	3,43	1,74	1,43	1,73	2,74	3,94	5,98	8,92	11,67	11,57	68,19
ETPc (mm)	99,32	64,37	30,68	14,68	12,33	14,77	28,95	45,35	77,31	118,62	159,98	148,28	814,65
RFU (mm)	0,00	0,00	34,86	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	78,54	0,00	0,00	0,00	/
ETR (mm)	35,98	52,53	30,68	14,68	12,33	14,77	28,95	45,35	77,31	105,31	4,50	11,13	433,52
Ex (mm)	0,00	0,00	0,00	24,64	99,25	64,95	37,31	7,35	0,00	0,00	0,00	0,00	233,51
Da (mm)	63,34	11,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,32	155,48	137,16	381,14

Tab.III.10. Bilan Hydrique selon Thornthwaite de la station Hammam Debagh.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Total
P (mm)	30,25	52,78	66,80	97,82	107,48	75,82	66,14	49,36	49,37	20,82	3,53	10,04	630,22
T (°C)	22,70	18,30	13,60	9,70	8,82	9,34	11,47	14,11	17,74	22,17	25,85	26,03	/
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	/
i	9,88	7,13	4,55	2,73	2,36	2,58	3,51	4,81	6,80	9,53	12,03	12,15	78,06
ETP (mm)	106,75	68,91	36,34	19,65	17,25	18,63	32,31	49,60	81,42	121,28	161,23	152,69	866,06
RFU (mm)	0,00	0,00	30,45	100,00	100,00	100,00	100,00	99,76	67,71	0,00	0,00	0,00	/
ETR (mm)	30,3	52,8	36,3	18,9	17,2	18,6	32,3	49,6	81,4	88,6	3,5	10	439,6
EX (mm)	0,00	0,00	0,00	9,3	90,2	57,2	33,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	190,6
DA (mm)	76,3	16,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,5	157,6	142,5	425,72

III.5.2.1. Interprétation du bilan hydrique de la station El Aria

- Les précipitations moyennes mensuelles (Figure.III.8) (tableau III.9) deviennent supérieures à l'ETP dans la saison humide, du mois de Novembre jusqu'au mois de Mai.
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) annuel est de l'ordre de 814,65 mm avec un maximum égal à 159,98 mm enregistré au moins juillet et un minimum de 12,33 enregistré au mois de Janvier. L'évapotranspiration réelle (ETR) total annuel est de l'ordre de 433,52mm.
- La recharge de la réserve facilement utilisable (RFU) prend leur naissance à partir du mois de Novembre, son maximum (100 mm) aller du mois de Décembre jusqu'au mois d'Avril. La saturation du stock favorise le ruissellement du surplus des eaux (Excédent égale 233,51mm/an) vers les cours d'eau. La supériorité du ETP par rapport la précipitation permettre à une décroissance du RFU du mois de Mai jusqu'au l'épuisement du stock à partir du mois Juin à Octobre où elle devienne nulle ; un déficit agricole (Da) total de l'ordre de 381,14mm/an, apparait par conséquence, ce qui demande le déclenchement du période d'irrigation des cultures.

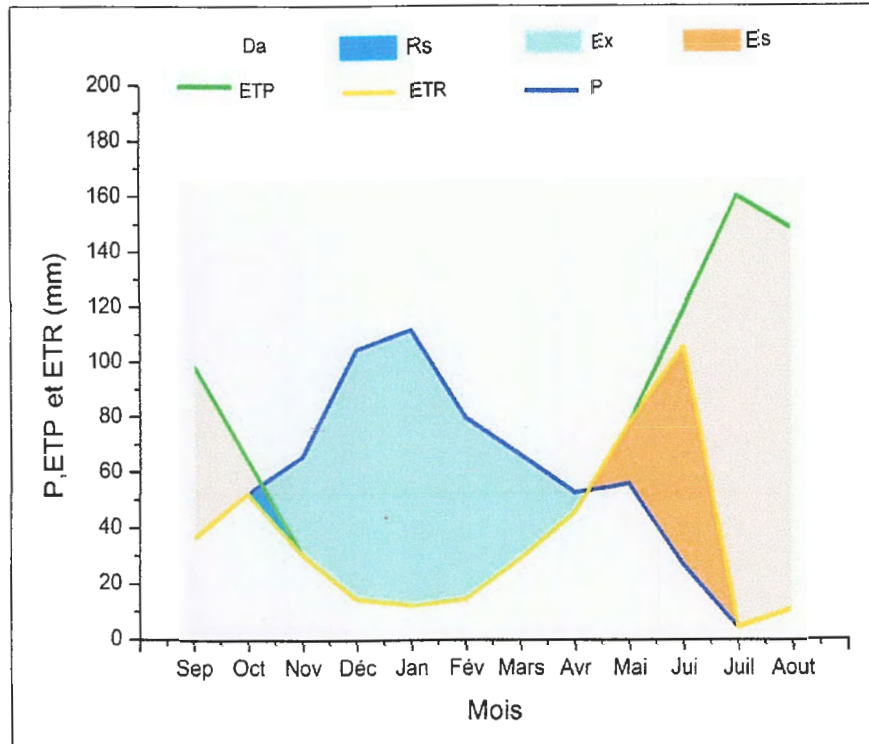


Fig.III.8.Représentation graphique du bilan de C .W. Thornthwaite de la station d'El Aria (1958-2020).

III.5.2.2.Interprétation du bilan hydrique de la station Hammam Debagh

- Du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril (saison humide); Les précipitations moyennes mensuelles (Figure.III.9) (tableau III.10) sont supérieures à l'ETP.
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) annuel est de l'ordre de 866,06 mm ; les valeurs mensuelles moyenne varient entre 161,23 mm au moins juillet et de 17,25 enregistré au mois de Janvier. L'évapotranspiration réelle (ETR) total annuel est de l'ordre de 439,6 mm.
- La recharge de la réserve facilement utilisable (RFU) prend leur naissance à partir du mois de Novembre, son maximum (100 mm) aller du mois de Décembre jusqu'au mois de Mars. La saturation du stock favorise le ruissellement du surplus des eaux (Excédent égale 190,6mm/an) vers les cours d'eau. La supériorité du ETP par rapport la précipitation permettre à une décroissance du RFU du mois de d'Avril jusqu'au l'épuisement du stock à partir du mois Juin à Octobre où elle devienne nulle; un déficit agricole (Da) total de l'ordre de 425,72mm/an, apparait par conséquence, ce qui demande le déclenchement du période d'irrigation des cultures.

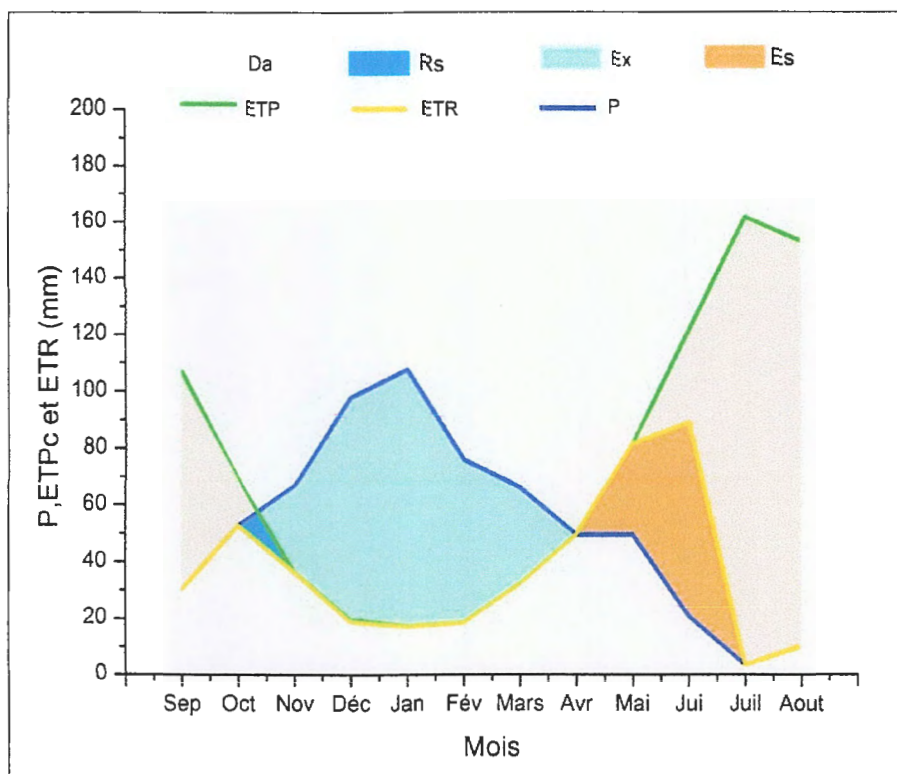


Fig. III.9. Représentation graphique du bilan de C.W. Thornthwaite de la station Hammam Debagh (1958-2020).

III.6. Conclusion

Le bassin versant de Bouhamdane est soumis à un climat méditerranéen, caractérisé par deux saisons distinctes, une saison humide longue s'étale du mois de septembre jusqu'au mois de mai, et une saison sèche courte s'étend le reste des mois de l'année. Il reçoit des précipitations moyennes mensuelles estimées de 667,03 mm/an et de 630,22 mm/an, respectivement au niveau des stations d'El Aria et Hammam Debagh. Les valeurs moyennes mensuelles du deuxième paramètre climatique étudié (la température), est varié entre 14,99°C et 25,34°C à la station d'El Aria, et entre 8,82 °C et 25,85 °C à celle de Hammam Debagh.

L'interprétation des bilans hydriques des deux stations météorologiques selon la formule de C.W Thornthwaite et ces différents paramètres, donnent des résultats presque identiques dans les deux stations d'El Aria et Hammam Debagh respectivement:

Le taux d'évapotranspiration potentiel est de l'ordre de 814,65 mm/an et de 866,06mm/an.

Une évapotranspiration réelle de 433,52mm/an et 439,6mm/an ; avec un excédent de 233,51mm/an et 189,88 mm/an. Tandis que, Le ruissellement et l'infiltration totalisent respectivement 98,92 mm et 134,39 mm au niveau de la station d'El Aria ; et de 83,43 mm et 107,19 mm au niveau de la station Hammam Debagh. Afin de voir un déficit agricole de l'ordre de 381,14 mm/an et 425,72 mm/an.

Hydrochimie
CHAPITRE IV

IV.1. Introduction

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou pour d'autres usages (irrigation, industrie...etc.) (Ziani, 2009). Pour cela, il est important de réaliser une étude qui se base sur l'analyse des paramètres physico-chimiques pour avoir une idée sur certains éléments qui peuvent être à l'origine des différents types de pollution.

Le but de ce travail est d'étudier la qualité des eaux du barrage de Hammam Debagh. Pour atteindre ce but, on a exploité des différents paramètres physico-chimiques fournies par l'Agence nationale des ressources hydriques (ANRH) ; avec une période d'observation qui s'étale sur 9 mois allant du mois de novembre 2017 jusqu'en août 2018, à l'exception du mois de juillet 2018 à cause de l'absence des données.

Ces données concernent les paramètres suivants : le potentiel hydrogène (pH), les résidus secs (Rs), l'oxygène dissous (O_2d), la demande biologique en oxygène (DBO_5), la demande chimique en oxygène (DCO), la matière organique (MO), les éléments nutritifs: nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), ammonium (NH_4^+) et enfin les phosphates (PO_4^{3-}).

IV.2. Étude de différents paramètres physico-chimiques

IV.2.1. Variations temporelles des paramètres

IV.2.1.1. Le potentiel hydrogène « pH »

Le pH est une mesure de l'acidité ou l'alcalinité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H^+). Selon Gaagai, 2017, le pH dépend de plusieurs facteurs, dont l'origine de l'eau, la nature géologique du bassin versant et de certains paramètres de qualité de l'eau. Un pH inférieur à 7 indique que la solution est acide, un pH supérieur à 7 indique que la solution est basique, et un pH égale à 7 signifie que la solution est neutre (Rodier, 1996). Une eau acide augmente considérablement le risque que les métaux soient présents, sous des formes ioniques plus toxiques. Tandis que, une eau basique augmente la concentration d'ammoniac, qui est nocif pour les poissons (Villers et al ,2005).

Les eaux du barrage ont des valeurs du pH acceptables vu les normes de qualité fixée par l'ANRH pour l'alimentation en eaux potable ($6,5 < pH < 8,5$). Leur variation mensuelle est insensible (Figure IV.1), elles sont comprises entre 7,58 au mois d'avril et 7,75 au mois de mars. Les eaux du barrage Hammam Debagh sont donc au voisinage de la neutralité avec un caractère peu alcalin.

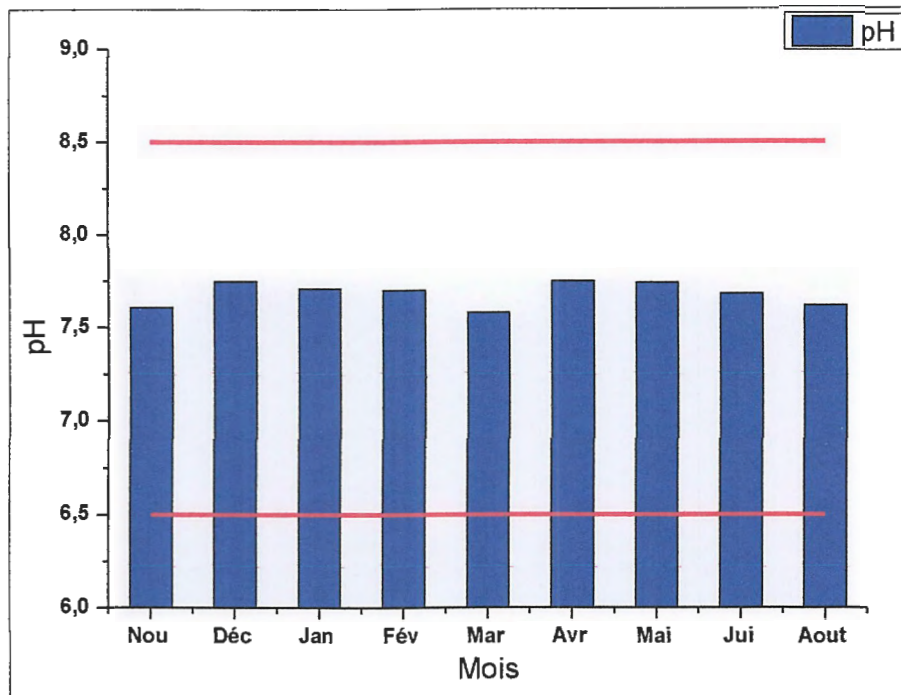


Fig.IV.1. La variation du potentiel hydrogène dans les eaux du barrage Hammam Debagh.

IV.2.1.2. Résidu sec

Les résidus secs représentent la quantité de la matière solide dans l'eau, proprement dit, la somme des substances dissous et en suspension (non volatiles) (Boucherit et al, 2016). Il est obtenu après évaporation complète de l'eau à 180°C. Le résidu sec donne une indication du degré de minéralisation de l'eau, plus l'eau est minérale, plus elle contient de résidus secs (Mekaoussi, 2014). Suivant le domaine d'origine de l'eau, cette teneur peut varier de moins de 100 mg/L (eaux provenant de massifs cristallins) à plus de 1000 mg/L (Hamed et al, 2012).

Selon Lounnas, 2008 (in Mekaoussi, 2014), si le taux de résidus secs est :

- supérieur à 1 500 mg / L, l'eau est fortement minéralisé.
- compris entre 500 et 1 500 mg / L, l'eau est moyennement minéralisée.
- inférieur à 500 mg / L, eau faiblement minéralisée.
- inférieur à 50 mg / L, eau très faiblement minéralisée.

La variation des teneurs du résidu sec dans les eaux du barrage (Figure IV.2), restent inférieures au seuil de l'ANRH (<1000 mg/l), elles varient entre 496 mg/l au mois d'avril et 646 mg/l au mois de février. On remarque que les fortes teneurs du résidu sec enregistrées dans la période des hautes eaux, dû probablement de la dissolution des minéraux par les précipitations. Ces concentrations du résidu sec indique que les eaux du barrage sont moyennement minéralisées.

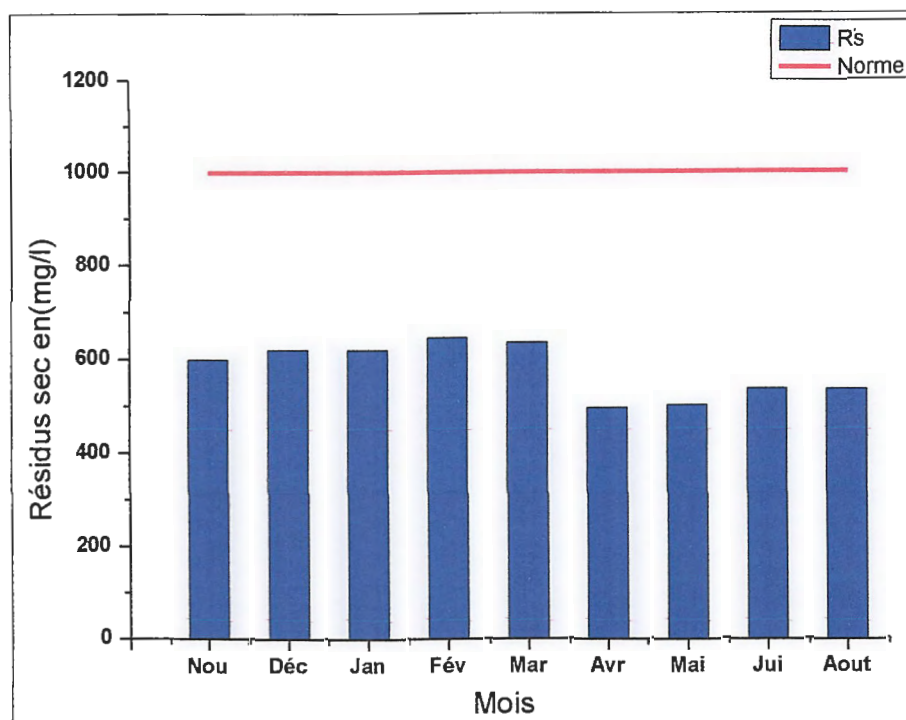


Fig.IV.2. La variation de résidus secs dans les eaux du barrage Hammam Debagh.

IV.2.1.3. Oxygène dissous (OD)

C'est la quantité d'oxygène qui est dissous dans l'eau il est considéré avec le pH, parmi les paramètres les plus importants pour la vie aquatique (Villers et al ,2005). Selon Cisse et al, 2006 (in Gaagai, 2017), la concentration d'oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière, car elle est contrôlée par de multiples processus physiques et biologiques varient spatialement et temporellement tels que ; la température (l'eau froide peut contenir une concentration plus élevée d'oxygène dissous que l'eau chaude), la photosynthèse (les organismes aquatique utilisent l'oxygène pour leur respiration), l'échange avec l'atmosphère (les molécules d'oxygène peuvent diffuser de l'air vers l'eau ou l'inverse), et la charge des eaux en matière organique. Sa valeur donne des indications sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau (Mekaoussi, 2014).

L'évolution temporelle de l'oxygène dissout dans les eaux du barrage Hammam Debagh montre un abaissement des concentrations dans les mois de la saison humide, par contre, dans les mois de la saison sèche, les concentrations voient une augmentation remarquable. Cette variation peut être liée à la saison hivernale où l'arrivée de la matière organique plus importante que la saison estivale (biodégradabilité).

Les valeurs d'oxygène dissous sont oscillent entre 63.72% au mois de décembre et 100% au mois de juin. Elles sont supérieures aux limites fixées par l'ANRH pour les eaux oxygénées.

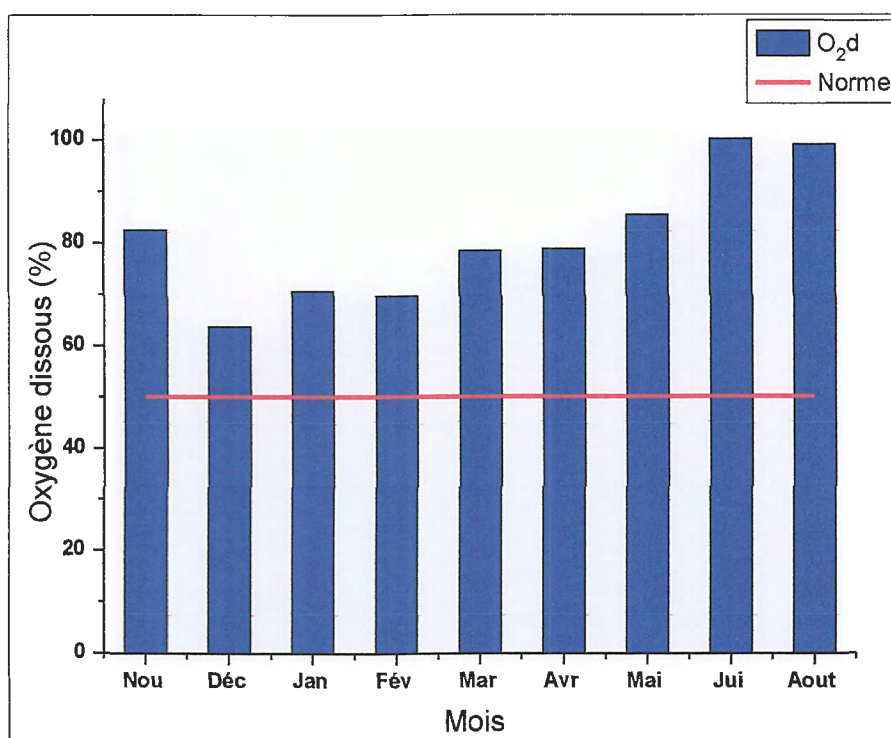


Fig.IV.3. La variation d'oxygène dissous dans les eaux du barrage Hammam Debagh.

IV.2.1.4.Cycle d'azote

L'azote (N) est un élément essentiel pour les végétaux et les animaux et joue un rôle indispensable dans la synthèse des protéines. Dans les eaux, l'azote peut se trouver sous forme minérale (ammoniacale, nitrite, nitrate) ou organique. En effet, le cycle de l'azote commence par la décomposition et la dégradation des composés azotés (azote organique) en azote ammoniacal (ammoniac NH_3^+ , ammonium NH_4^+) sous l'action de bactéries aérobies, l'azote ammoniacal est ensuite oxydé en nitrites (NO_2^-) puis en nitrates (NO_3^-) sous l'action des bactéries nitrifiantes.

La présence des nitrites (NO_2^-) 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 concentrations élevées de ce composé proviennent principalement du lessivage des sols agricoles (engrais), des rejets urbains et industriels.

IV.2.1.4. a. L'Azote ammoniacal (NH_4^+)

La présence d'ammonium dans l'eau traduit généralement un processus de décomposition incomplète de la matière organique, mais il peut provenir également des rejets urbains, domestique ou agriculture. La teneur en ammonium devrait être relativement faible dans l'eau naturelle, car il est rapidement transformé en nitrite et en nitrate par oxydation bactérienne. (Larbi, 2004 in Debbih et al, 2015). L'ammonium (NH_4^+) est un bon traceur de la pollution domestique (rejets humains).

La variation des teneurs de l'ammonium en fonction du temps dans les eaux du barrage de Hammam Debagh (Figure IV.4), montre un dépassement des normes pendant la plus part des mois de l'année ($>0,1\text{mg/l}$). Elles s'oscillent entre $0,04\text{mg/l}$ au mois d'Août et $0,2\text{ mg/l}$ au mois de Mai. Cette augmentation est peut être due au lessivage des terres agricoles (fertilisants) pendant la période des haute eaux et/ou aux rejets domestiques des agglomérations situés en amont du bassin versant (ville de Oued Zenati et Bordj Sabath).

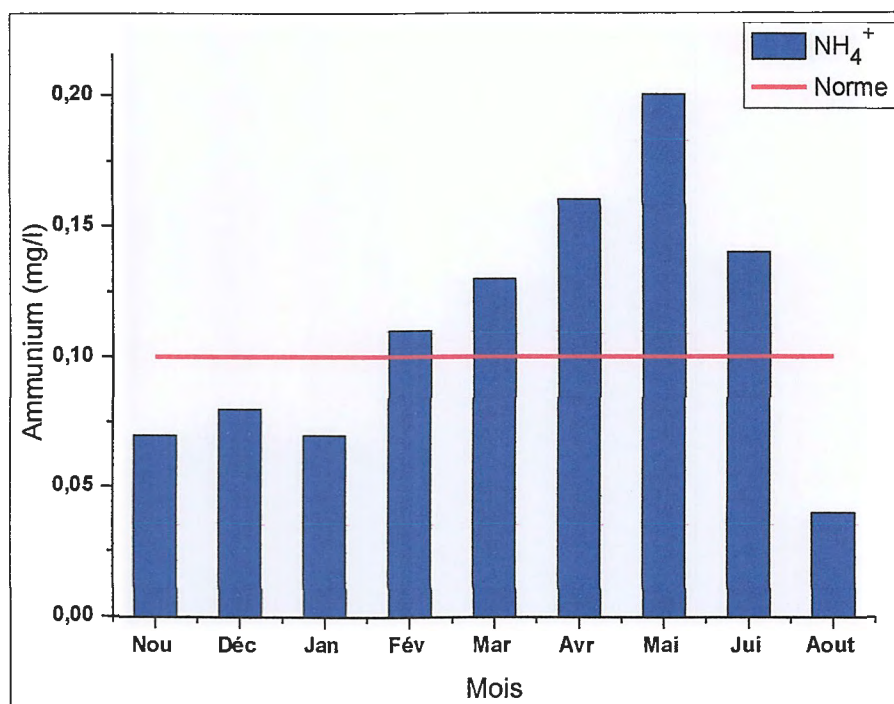


Fig.IV.4. La variation de l'ammonium dans les eaux du barrage Hammam Debagh.

IV.2.1.4. b. les Nitrites (NO₂⁻)

Les nitrites, également connu sous le nom d'azote nitreux, sont des composés intermédiaires entre l'ammoniaque et les nitrates. Ils résultent soit d'une oxydation incomplète de l'ammonium par des bactéries nitrifiantes, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence de bactéries dénitrifiantes (Rodier et al, 2009 in Laraba et al, 2021). Leur présence dans l'eau en teneurs élevée, est considérée comme suspecte car elles sont souvent associée à une mauvaise qualité microbiologique (Savary, 2010; Bouziani, 2000 in Laraba et al, 2021). Tandis qu'une eau renfermant une quantité faible de nitrites peut être considérée comme pure ou se trouvant sous l'action d'une auto-épuration active (Touil et al, 2020).

L'historique de la variation des concentrations des nitrites (Figure IV.5), montre une augmentation progressive des teneurs, jusqu'au dépassement de la limite acceptable dans les mois d'avril, mai et juin. Le maximum des teneurs enregistré au mois de juin avec une valeur de $0,142\text{ mg/l}$ tandis que, le mois d'Août a été marqué par une valeur de $0,042\text{ mg/l}$.

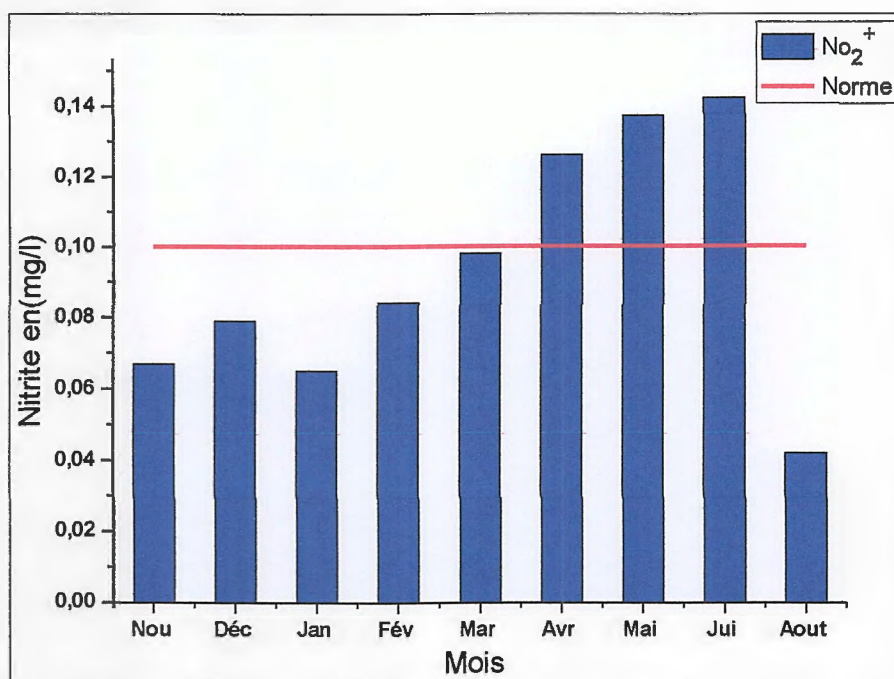


Fig.IV.5. La variation de nitrites dans les eaux du barrage Hammam Debagh.

IV.2.1.4. c. Les Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates ou sel de l'acide nitrique, représentent la phase finale de l'oxydation de l'azote (Demdoum, 2010 in Laraba et al, 2021). Les nitrites proviennent essentiellement des eaux usées urbaines et le lessivage des terres agricoles. Ils sont contribuent avec les phosphates, aux modifications de l'équilibre biologique du milieu aquatique en provoquant l'eutrophisation (Khammar, 2019).

L'histogramme de variation (Figure IV.6), montre que les concentrations en nitrates dans les eaux du barrage sont inférieurs de loin par rapport le seuil de l'ANRH (20mg /l) et parfois nulles comme dans le mois de Décembre. Elles sont atteintes leurs maximum au mois de Mai (9 mg/l). L'interprétation d'une façon générale de l'évolution du cycle d'azote dans les eaux du barrage, nous permettre de dire qu'il existe deux hypothèses :

- 1- La présence du NO_2^- dans les eaux du barrage due au non activité des bactéries existant dans les eaux, ou le nombre des micro-organismes est insuffisante pour la dégradation du nitrite.
- 2- L'évolution du cycle d'azote est dans le début de la phase de la dénitrification, puisque les eaux du barrage sont très oxygénées.

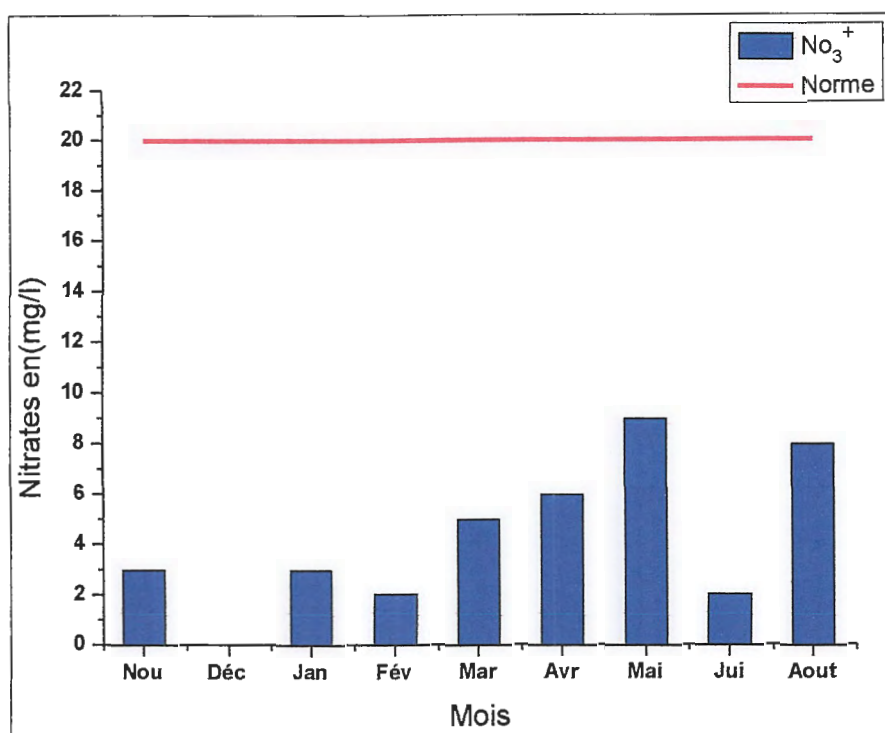


Fig.IV.6. la variation de nitrates dans les eaux du barrage Hammam Debagh.

IV.2.1.5. Phosphate (PO_4^{3-})

Comme l'azote, le phosphate est un élément essentiel à la vie aquatique, car il est considéré comme étant un sel nutritif. Les phosphates sont l'un des anions les plus facilement fixés par le sol, Leur présence dans les eaux de surface et les eaux souterraines peut être d'origine naturelle ; décomposition de la matière organique, lessivage des minéraux, ou d'origine anthropiques ; eaux usées domestiques, dissolution des engrais chimiques et pesticides (Hamed et al 2012). Ils jouent un rôle important dans le développement des algues et favorisent leur croissance dans les réservoirs, les canalisations de grand diamètre et les lacs, ce qui contribue probablement à l'eutrophisation (Richard. 1996 ; Ladjel, 2009 in Bouzidi et al, 2017).

L'histogramme des concentrations (Figure IV.7), figure clairement une évolution anarchique des teneurs en phosphate dans les eaux du barrage. Elles sont variées entre 0,01 mg/l comme minimum enregistré au mois de Décembre et un maximum de l'ordre de 0,03 mg/l marqué aux mois de Janvier, Avril et Mai. Malgré cette anarchie des teneurs, elles restent inférieures au guides publiés par l'ANRH ($< 0,1\text{mg/L}$).

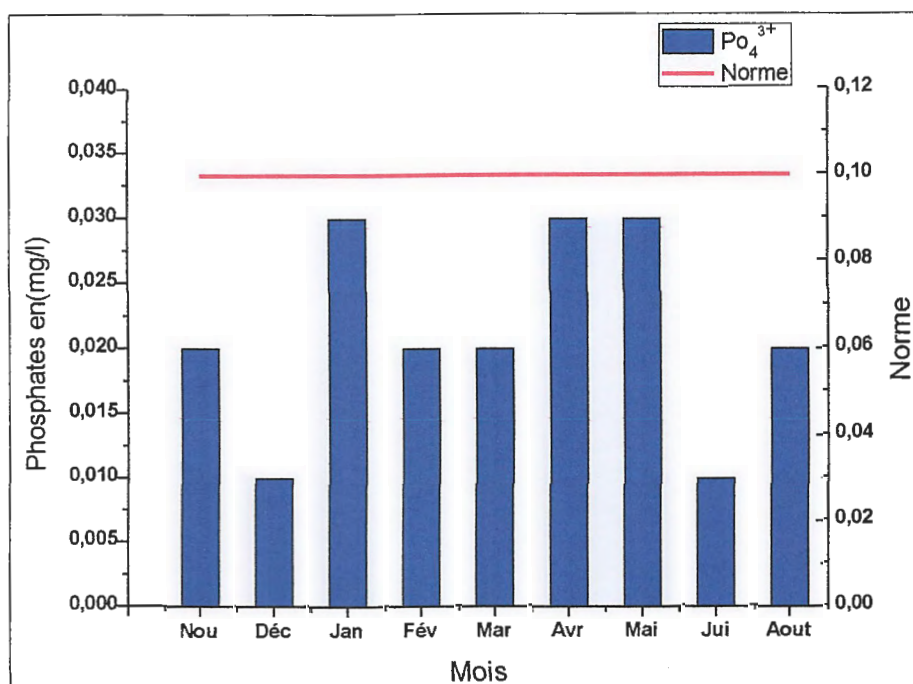


Fig.IV.7. La variation de phosphates dans les eaux du barrage Hammam Debagh.

IV.2.1.6.Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

C'est une méthode permet d'estimer la quantité de matières organiques biodégradable présente dans l'eau, pour établir un classement de sa qualité ou son degré de pollution. La dégradation complète de la matière organique peut prendre un temps relativement long (plusieurs semaines). D'autre part, lorsque les dérivés d'ammoniac et les nitrites sont oxydés en nitrates (nitrification), ils absorbent également de l'oxygène. De plus que, cette nitrification dans les eaux naturelles, ne commence qu'après environ dix jours. Pour ces deux raisons, on mesure la DBO₅, c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée par les microorganismes pendant 5 jours (à 20 °C et dans l'obscurité), pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement les matières organiques biodégradables présente dans un échantillon d'eau (Atamenia et al, 2020). Selon Kenza, 2016 (in Mihoubi et al, 2020), la demande biochimique en oxygène dépend entre autres, de la nature des matières organiques dissoutes et de la présence ou non d'éléments inhibiteurs de la flore microbienne (métaux lourds, hydrocarbures, détergents, etc.) (Rousseau et al. 2004 in Gaagai, 2017).

La demande biochimique en oxygène dans les eaux du barrage (Figure IV.8), reste acceptable pour la dégradation des matières organique pour toute l'année. Il ne dépasse pas le seuil approuvé par l'ANRH. Les valeurs du DBO₅ sont stables généralement au cours de l'année (3mg/l). Les mois de Novembre et d'Avril s'individualisent par le maximum et le minimum des teneurs respectivement (4 mg/l et 2 mg/l).

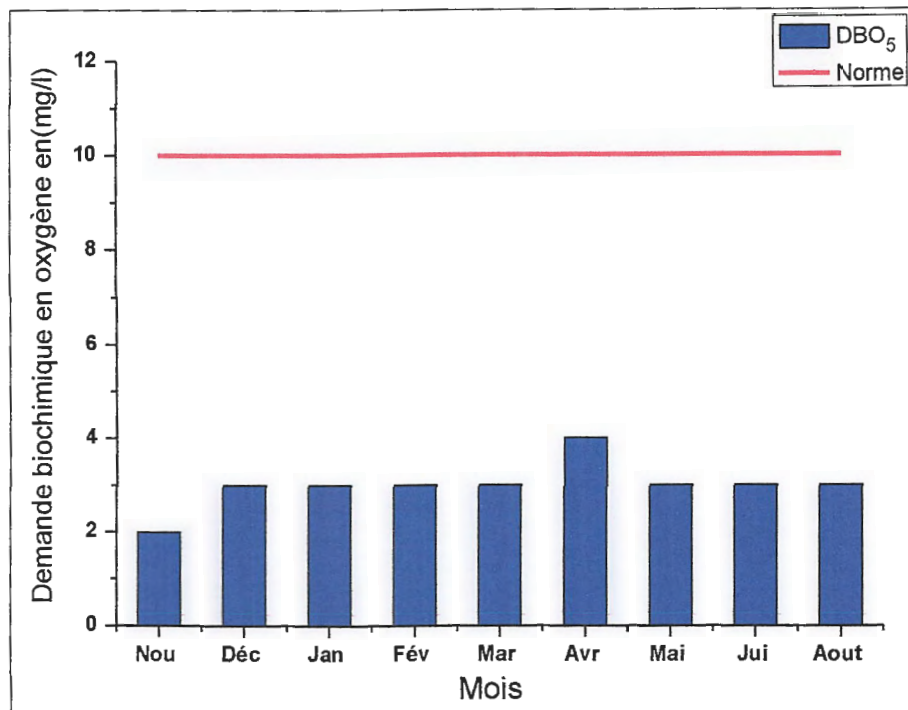


Fig.IV.8. la variation de DBO₅ dans les eaux du barrage Hammam Debagh.

IV.2.1.7.Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader chimiquement les composés organiques présents dans l'eau, à l'aide d'un oxydant fort (dichromate de potassium) (Villers et al, 2005). Contrairement à la DBO₅ où l'oxydation se fait par l'activité des microorganismes. Elle est représentative de la plupart des composés organiques mais également des sels minéraux oxydables (sulfures, chlorures, etc.) (Makhoukh et al, 2011). La DCO est un paramètre précieux qui indique la présence de polluants dans les eaux usées (Gaagai, 2017).

L'histogramme de la variation de la demande chimique de l'oxygène des eaux du barrage Hammam Debagh (Figure IV.9), illustre une stabilité des teneurs à une valeur de 35 mg/l dans la plus part des mois de la période du suivi, et une valeur de 44 mg/l dans les mois de Mai et Juin. Ces valeurs sont énormément plus grandes que la limite fixée par l'ANRH (>20 mg/l).

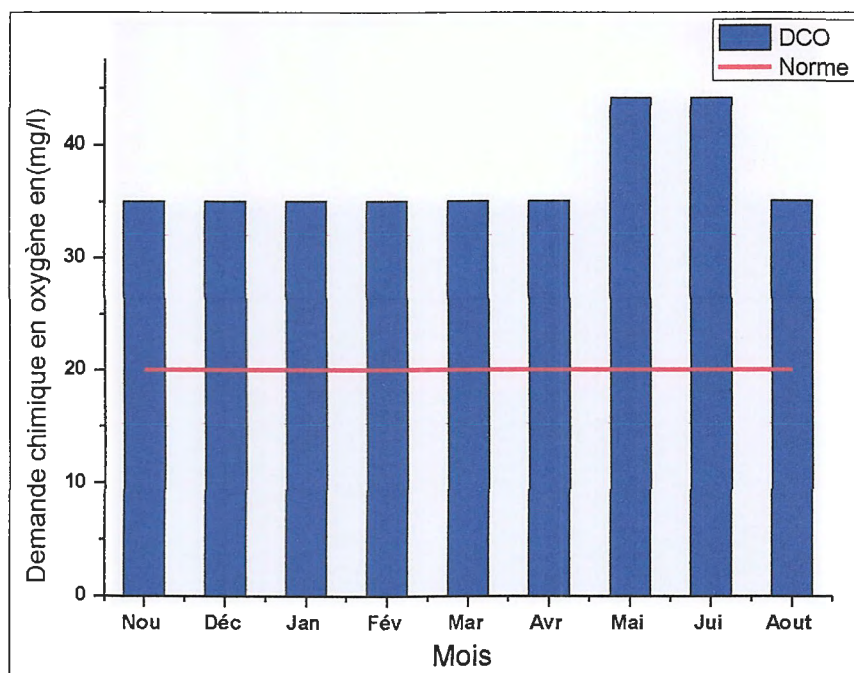


Fig.IV.9. la variation de DCO dans les eaux du barrage Hammam Debagh.

IV.2.1.8. La matière organique

Les matières organiques sont présentes de manière naturelle dans les eaux et proviennent de la mort des organismes animaux et végétaux. Elles sont aussi issues des rejets liés aux activités humaines. Elles favorisent l'apparition de mauvais goût qui pourra être exacerbées par la chloration. Une eau riche en matière organique est toujours suspectée d'être contaminée bactériologiquement ou chimiquement.

Une eau très pure a généralement une consommation d'oxygène inférieure à 1 mg/l. La dégradation des matières organiques par les microorganismes consomme de l'oxygène (Aggon et al, 2019).

Les teneurs en matière organique dans les eaux du barrage (Figure IV.10), variées arbitrairement dans le temps mais restent sous les normes de l'ANRH. Ces valeurs allant de 5,6 mg/l au mois de Janvier jusqu'à un maximum de 8,3 mg/l au mois d'Août.

Cependant, les teneurs en matière organique dans les eaux du barrage Hammam Debagh variées proportionnellement inverses par rapport aux teneurs en oxygène dissous.

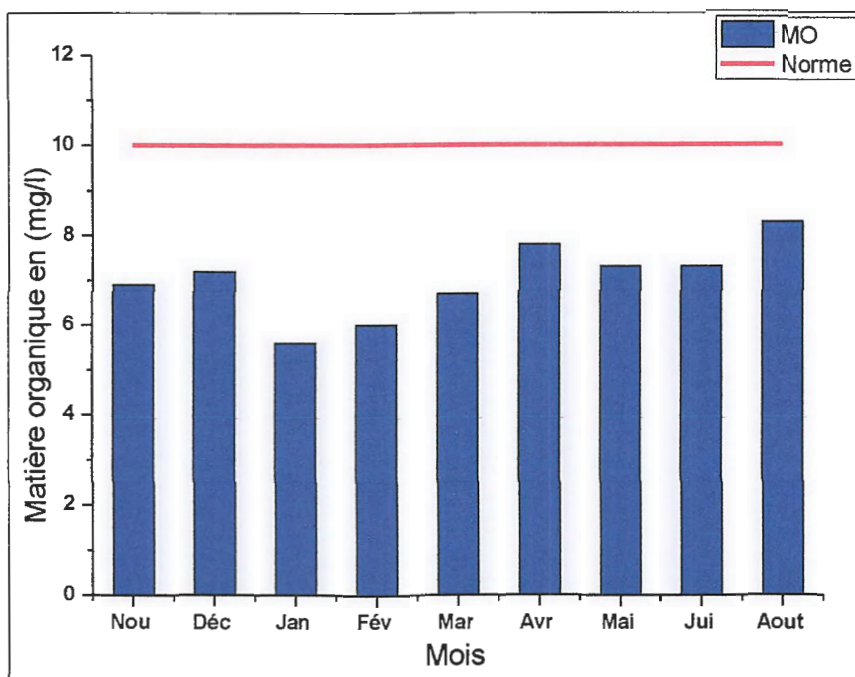


Fig.IV.10. la variation de Matière organique dans les eaux du barrage Hammam Debagh.

IV.2.2. Le rapport DCO/DBO₅

La différence entre la DCO et la DBO est due aux substances qui ne peuvent pas être décomposées biologiquement. Le rapport DCO/DBO₅ permet d'évaluer la biodégradabilité de la matière organique (Villers et al ,2005). Plus ce rapport est grand plus l'effluent contient des matières difficilement dégradables, tels que, les sels métalliques, les détergent, les phénols, les hydrocarbures....etc. (Mekaoussi, 2014). Si le rapport DCO/DBO₅ mesuré est :

- Proche de 1 : une très bonne biodégradabilité.
- De 1 à 2 : eaux usées provenant d'industries agroalimentaires, qui contiennent des éléments dont les bactéries raffolent.
- Entre 2 à 3 : eaux résiduaires urbaines.
- De 3 à 4 : eaux usées moins facilement biodégradable.
- Supérieur à 4 : effluent difficilement biodégradable.

La variation du rapport DCO/DBO₅ (Figure IV.11) des eaux du barrage Hammam Debagh, montre que toutes les valeurs sont supérieures à 4, cela signifie qu'une grande quantité de matières organiques est difficilement biodégradable, ce qui indique la dégradation de la qualité des eaux du barrage. Ces effluents difficilement biodégradables proviennent des rejets domestiques ainsi que de l'industrie présentée par : la menuiserie du Bois, des unités de petite industrie spécialisées dans l'agro-alimentaire (production d'huile et usines de limonade) qui s'installent à l'amont du bassin versant.

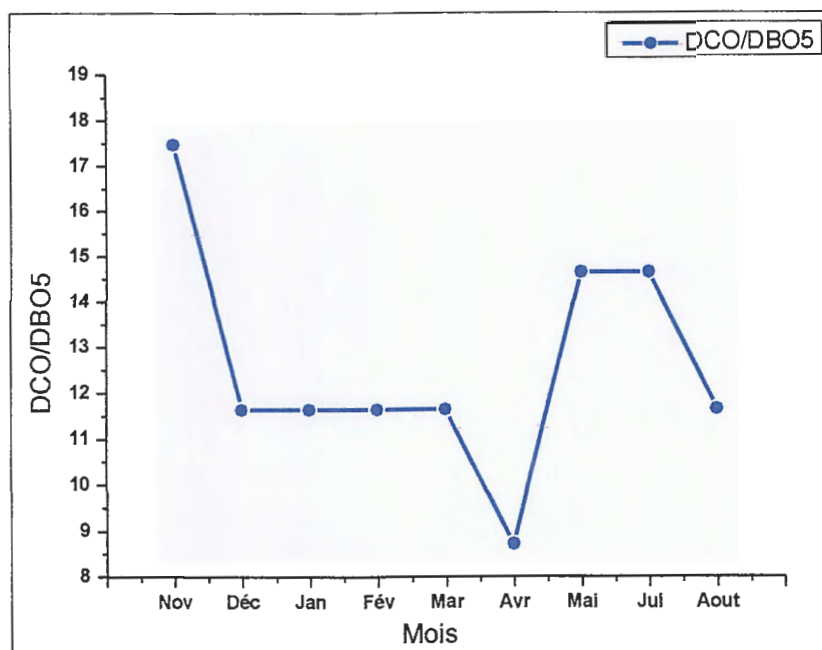


Fig.IV.11. la variation du rapport DCO/DBO₅.

IV.3. Variations des différents paramètres en fonction du Volume

IV.3.2.1. Résidu Sec/Volume

La mesure du Résidu sec constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau (Touhari, 2018). La représentation graphique de la relation entre le résidu sec en fonction du volume d'eau du barrage (Figure IV.12) montre une évolution inversement proportionnelle entre les deux paramètres. L'augmentation de la minéralisation des eaux du barrage de Bouhamdane se fait avec l'abaissement en volume du barrage tout au long de la période d'observation. Par coïncidence; le mois de Février rassemble la concentration maximale du résidu sec et le plus basse volume d'eau du barrage, ils ont enregistré respectivement 646 mg/l et 11,52 Hm³. Cette minéralisation élevée peut être due aux eaux usées provient des villages situés en amont du bassin versant, ou du lessivage des terrains adjacents lors de la précipitation.

L'agent qui contrôle la variation des teneurs de la minéralisation des eaux du barrage, est la quantité des eaux du barrage lui-même. Cette dernière est subie aux changements climatiques affectant la région (précipitation, ETR....).

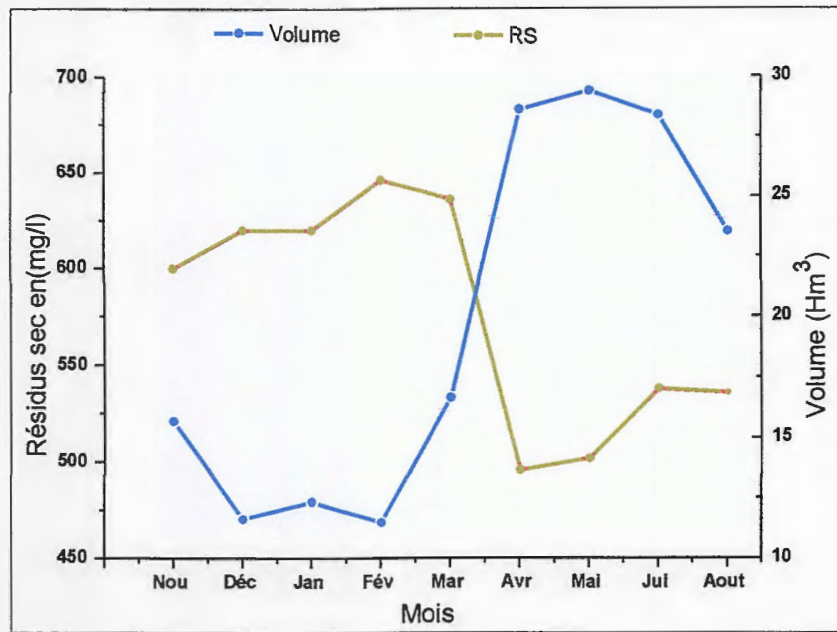


Fig. IV.12. Évolution de résidu sec en fonction du volume du barrage Hammam Debagh.

IV.3.2.2. O₂d / Volume

La représentation graphique au-dessous (Figure IV.13) montrent que l'oxygène dissous évolué proportionnellement avec le volume d'eau du barrage au cours du suivi, on remarque une augmentation progressive d'oxygène dissous à partir du mois de Février (période des hautes eaux), suite à une amélioration de l'état de remplissage du barrage, et puis il commence à diminuer au mois de juin (période estivale), liés à l'abaissement du volume d'eau stocké.

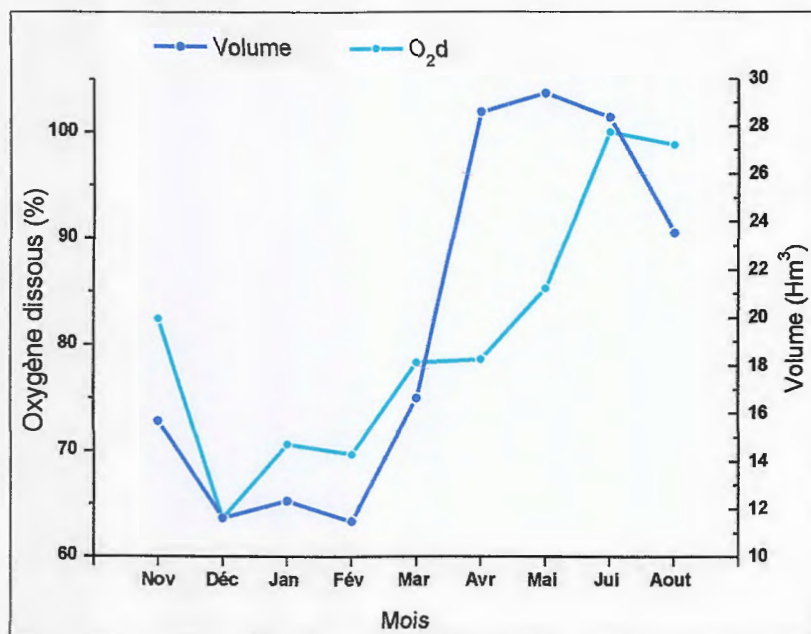


Fig. IV.13. Évolution d'oxygène dissous en fonction du volume du barrage Hammam Debagh.

IV.3.2.3. NH_4^+ , NO_2^- et PO_4^{3-} / Volume

La variation des éléments nutritifs NO_2^- , NH_4^+ et PO_4^{3-} (Figure IV.14) est presque similaire avec la quantité d'eau dans le barrage, avec quelques exceptions où elles sont évoluent inversement, à titre d'exemple dans le mois Novembre, Décembre et Janvier entre NO_2^- , NH_4^+ et le volume ; et au mois d'Août entre PO_4^{3-} et le volume. Ces éléments ont une origine naturel ou anthropique; la présence sur tout le phosphore dans les eaux de surface avec des quantités plus ou moins importantes cause un débalancement de l'écosystème, entre autre en causant une eutrophisation accélérée des barrages.

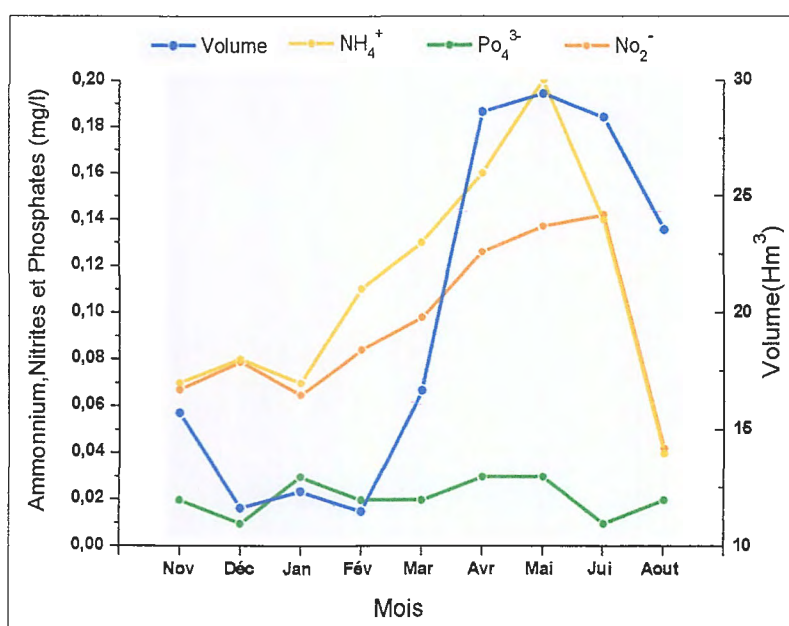


Fig.IV.14. Évolution de NO_2^- , NH_4^+ et PO_4^{3-} en fonction du volume du barrage Hammam Debagh.

IV.3.2.4. NO_3^- / Volume

Le changement dans les concentrations des nitrates au cours des mois d'observation des eaux du barrage (Figure IV.15); est évoluent corrélativement avec le volume des eaux. Le mois d'Août fait l'exception de sa relation, il a marqué une élévation de la concentration du NO_3^- avec une diminution du volume. Cette distinction est le résultat peut être du lessivage des sols agricoles du bassin versant d'une part; et la demande accentuée de l'agriculture à l'irrigation en été d'autre part.

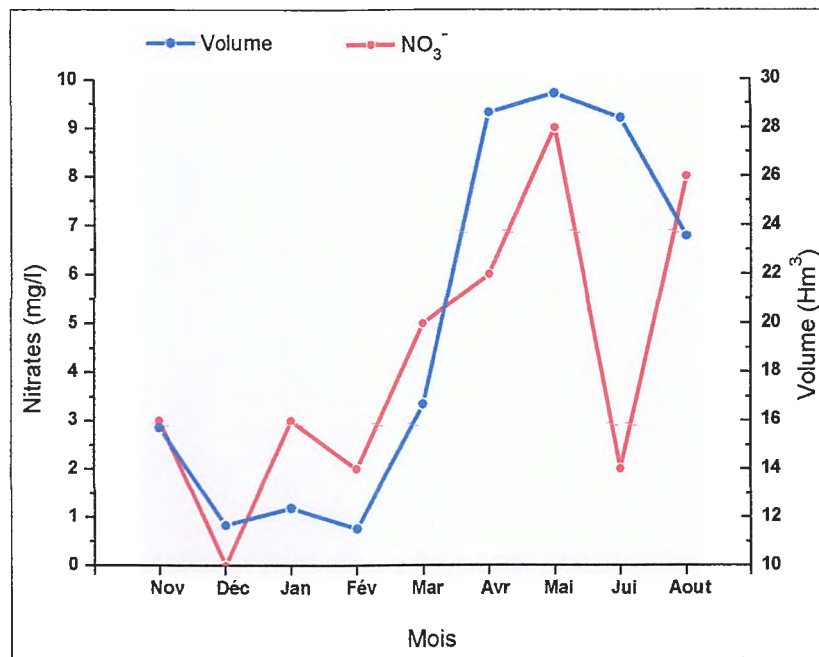


Fig.IV.15. Évolution des nitrates en fonction du volume du barrage Hammam Debagh.

IV.3.2.5. MO / Volume

La matière organique et le volume d'eau dans le barrage (Figure IV.16) ont une relation d'opposition entre eux, où l'augmentation du niveau d'eau dans le barrage correspondant une diminution de la matière organique. Les deux mois du Mars et Avril s'individualisent par une évolution similitude; cela peut être dû à l'intensité de la précipitation, est par conséquent l'érosion.

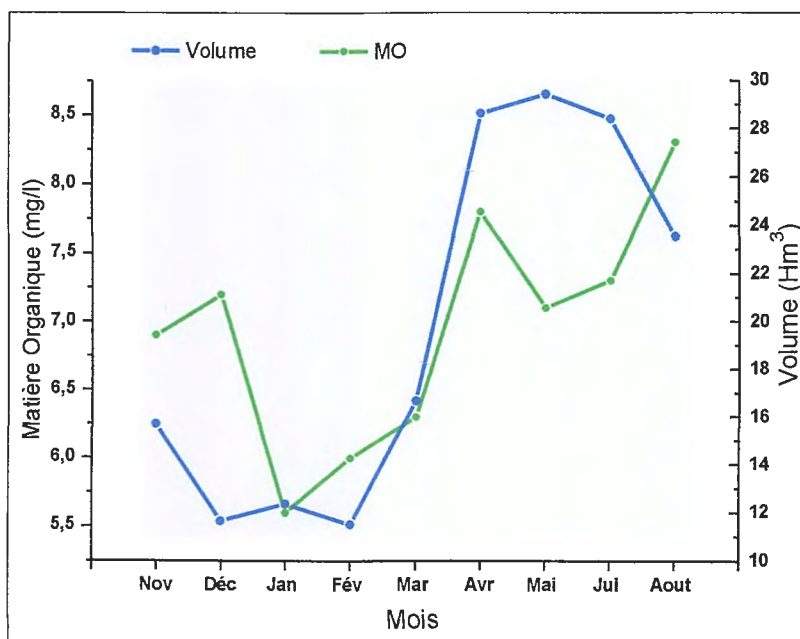


Fig.IV.16. Évolution de Matière organique en fonction du volume du barrage Hammam Debagh.

IV.4. Classification de la qualité des eaux du barrage Hammam Debagh

Pour une appréciation globale et rapide de la qualité des eaux, il est nécessaire de comparer les résultats des analyses à une grille de qualité. Cette grille est constituée d'un ensemble des intervalles limitants les différentes concentrations des paramètres physico-chimique des eaux; et se les regrouper dans des classes de qualité.

La grille adoptée par l'ANRH en 2009 (Tableau IV.1), fixe quatre classes de qualité pour les eaux des barrages avec des valeurs limite. Pour une meilleure classification des eaux, il est préférable d'adopter une couleur pour chaque classe.

- Classe de bonne qualité : vert.
- Classe de qualité moyenne : Jaune.
- Classe de qualité mauvaise : Orange.
- Classe de qualité très mauvaise : Rouge.

Tab. IV.1. Grille de qualité des eaux de barrages adoptée par l'ANRH.

Paramètres	Unité	Échelle de Qualité			
		Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
pH	-----	6.5	6.5-8.5	8.5-9	>9
RS	mg/l	300-1000	1000-1200	1200-1600	>1600
O ₂ dissous	%	90-100	90-50	50-30	<30
NH ₄ ⁺	mg/l	≤0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
NO ₂	mg/l	≤0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
NO ₃	mg/l	≤ 10	10-20	20-40	>40
PO ₄ ³⁻	mg/l	≤0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
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

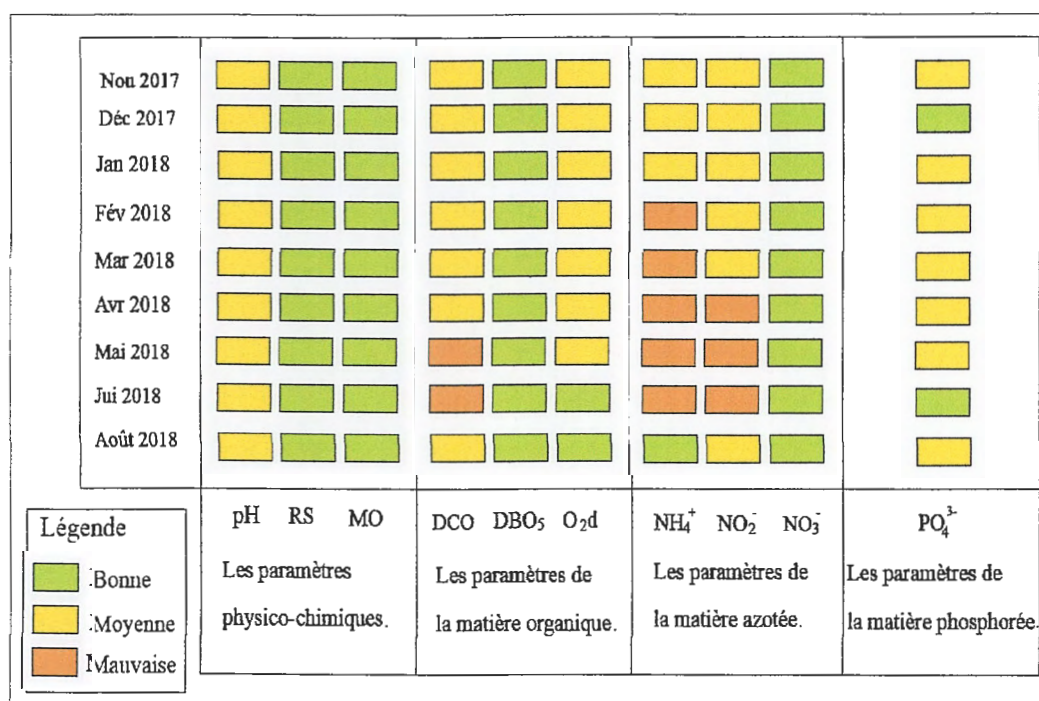


Fig.IV.17. Fiche de qualité mensuelle des eaux du barrage Hammam Debagh.

La fiche de qualité mensuelle (Figure IV.17), illustre la classification des eaux du barrage Hammam Debagh à la base de la grille de qualité (Tab.IV.1) pour chaque paramètre.

Les eaux du barrage Hammam Debagh allant de bonne à moyenne qualité pour la majorité des paramètres ainsi que les mois. L'oxydation de la matière organique azotée provoque une augmentation des teneurs en NH_4^+ et NO_2^- se qui rende les eaux de mauvaise qualité. On remarque une dégradation de la qualité des eaux au mois de Mai et Juin, en raison de l'augmentation de la demande chimique en oxygène (DCO), ce qui implique une pollution due aux apports des polluants provenant des rejets des eaux usées. La concentration légèrement élevée du PO_4^{3-} est un risque de l'eutrophisation des eaux du barrage.

IV.5.Conclusion

L'examen des eaux du barrage de Bouhamdane physiquement ainsi chimiquement, nous a permis de déduire :

- Les eaux du barrage sont moyennement minéralisée, et à tendance à être alcaline ($7,58 < \text{pH} < 7,75$). Elles sont bien oxygénées.
- 3- L'évolution du cycle d'azote dans les eaux du barrage d'une façon générale, nous permettre de dire qu'il existe deux hypothèses ; l'un est de l'existence du NO_2^- dans les eaux du barrage due au non activité des bactéries existant dans les eaux, ou le nombre des micro-organismes est insuffisante pour la dégradation du nitrite. L'autre, est l'évolution du cycle d'azote est dans le début de la phase de la dénitrification, puisque les eaux du barrage sont très oxygénées.
- Les teneurs en matière organique dans les eaux du barrage Hammam Debagh variées proportionnellement inverses par rapport aux teneurs en oxygène dissous.
- La variation du rapport DCO/DBO₅ des eaux du barrage Hammam Debagh, montre que toutes les valeurs sont supérieures à 4, cela signifie qu'une grande quantité de matières organiques est difficilement biodégradable. Elles sont proviennent des rejets domestiques ainsi que de les petites unités industrielles installées au-dessus du barrage.
- La minéralisation des eaux du barrage de Bouhamdane variée inversement avec le volume du barrage tout au long de la période d'observation.
- Les eaux du barrage Hammam Debagh ont de bonne à moyenne qualité pour la majorité des paramètres ainsi que les mois d'observation.
- L'élévation légère de la concentration PO_4^{3-} , s'expose les eaux du barrage au risque de l'eutrophisation.

*Conclusion générale
et recommandations*

Conclusion générale et recommandations

Le barrage de Hammam Debagh est implanté à l'exutoire du bassin versant de Bouhamdane sur l'oued de Bouhamdane à 3 km à l'amont du village de Hammam Debagh. Les eaux du barrage de Hammam Debagh sont destinées à l'irrigation des périmètres de Guelma-Boucheougouf et Drean-Besbès dans la wilaya d'El Tarf, et pour l'alimentation en eau potable de la ville de Guelma et les environs du barrage.

Le bassin versant de Bouhamdane situé à l'Ouest de la wilaya de Guelma, sur une superficie de 1070km². Il est traversé par oued Bouhamdane, sur une longueur de 37,49 Km, ce dernier résulte de la convergence de deux affluents principaux : Oued Zenati (52,40 Km) et Oued Sabath (10,86 Km). Il est caractérisé par une prédominance de pentes modérées représente 40 % de la superficie totale, 25 % a des pentes fortes à très forte et 35 % de la superficie par les pentes faibles à très faible. Le couvert végétal du bassin versant est varié essentiellement entre la végétation de type agricole (cultures, et oléiculture) et les terrains boisés (forêts dense et claire, maquis et reboisements) ; ces dernières occupent un pourcentage de l'ordre de 65 % et 22 % respectivement de la superficie totale du bassin versant.

Les activités d'agriculture dans la région sont limitées essentiellement dans la culture céréalière beaucoup plus dans la plaine d'Oued Zenati. Tandis que ; l'industrie dans la région d'étude représenté par des petites unités repartis sur des différentes disciplines.

La région de Hammam Debagh appartient au Tell - Nappe épi tellienne. Le site du barrage Hammam Debagh est correspond à un morceau de la nappe du flysch Crétacé. Cependant, la cuvette du barrage se situées dans les marnes telliennes et le Crétacé autochtone. La lithologie du bassin versant de l'oued Bouhamdane présente des variations de résistance et de faciès, telle que, les calcaires, les grès et les marnes.

Le bassin versant de Bouhamdane est soumis à un climat méditerranéen, caractérisé par deux saisons distinctes, une saison humide longue s'étale du mois de septembre jusqu'au mois de mai, et une saison sèche courte s'étend le reste des mois de l'année. Il reçoit des précipitations moyennes annuelles estimées entre 600 à 700 mm/an, et des températures moyennes varient entre 8 °C et 26°C.

Les bilans hydriques des deux stations météorologiques (El Aria et Hammam Debagh) selon la formule de C.W Thornthwaite, donnent des résultats presque identiques dans les deux stations respectivement:

Le taux d'évapotranspiration potentiel est de l'ordre de 814,65 mm/an et de 866,06mm/an.

Une évapotranspiration réelle de 433,52mm/an et 439,6mm/an ; avec un excédent de 233,51mm/an et 189,88 mm/an. Tandis que, Le ruissellement et l'infiltration totalisent respectivement 98,92 mm et 134, 39 mm au niveau de la station d'El Aria ; et de 83,43 mm et

107,19 mm au niveau de la station Hammam Debagh. Afin de voir un déficit agricole de l'ordre de 381,14 mm/an et 425,72 mm/an.

L'examen des paramètres physico-chimique des eaux du barrage de Hammam Debagh, nous a permis de déduire :

- Les teneurs en matière organique dans les eaux du barrage Hammam Debagh variées inversement avec les teneurs en oxygène dissous.
- La relation entre la minéralisation des eaux du barrage de Hammam Debagh et leur volume est inversement proportionnelle tout au long de la période d'observation.
- Les eaux du barrage sont moyennement minéralisée, et à tendance à être alcaline ($7,58 < \text{pH} < 7,75$). Elles sont bien oxygénées.
- L'existence du NO_2^- dans les eaux du barrage peut être revue que l'évolution du cycle d'azote est dans le début de la phase de la dénitrification, puisque les eaux du barrage sont très oxygénées.
- La variation du rapport DCO/DBO_5 des eaux du barrage Hammam Debagh, montre que toutes les valeurs sont supérieures à 4, cela signifie qu'une grande quantité de matières organiques est difficilement biodégradable. Elles viennent des rejets domestiques ainsi que de les petites unités industrielles installées au-dessus du barrage.
- La majorité des paramètres physico-chimiques indiquent que la qualité des eaux du barrage Hammam Debagh est de bonne à moyenne dans le temps d'observation.
- L'élévation légère de la concentration PO_4^{3-} , s'expose les eaux du barrage au risque de l'eutrophisation.

Les recommandations :

- L'implantation d'une station d'épuration (STEP) à l'amont du barrage pour contrôler les rejets, soit d'origines industrielles ou domestiques.
- Informer et sensibiliser les agriculteurs à utiliser des quantités optimales et raisonnables des engrais dans le traitement des cultures, notamment en amont de barrage pour limiter la pollution agricole.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- Aggon K et al. (2019).** Analyses des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux du barrage Bouhamdane de Hammam Debagh et des quatre forages de la nappe phréatique d'Oued El Maiz-Guelma. Mémoire de master en génie chimique. Université 8 Mai 1945 Guelma.
- Atmania D. (2010).** Minéralogique des argiles et phénomène de retrait-gonflement dans le bassin de Mila (Nord Costantinien). Thèse de Doctorat. Université Mentouri Constantine.
- Bakhouche M. (2020).** Les barrages. une solution au manque d'eau : cas du barrage de Bouhamdane (Nord-Est Algérien).Mémoire de master en hydrogéologie. Université 8 Mai 1945 Guelma.
- Belmeskine et al. (2019).** Evaluation comparative de la qualité des eaux brutes et traitées provenant des barrages de Boukerdane et de Bouroumi en Algérie. Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement (JISTEE) : Volume IV - Numéro 1 – Décembre 2019
- Boubaker K et al. (2020).** Mapping of water erosion using the PAP / RAC approach: Case of the Oued Bouhamdane watershed (North-East Algeria). International Journal of Innovation and Applied Studies. vol. 29. no. 3. pp. 703–716.
- Bouchemal M et al. (2016).** Analyse de la qualité des eaux de la station de traitement de Hammam Debagh. Mémoire de master. Université Larbi Ben M'hidi– Oum El Bouaghi.
- Boucherit A et al. (2016).** Contribution à l'étude de la qualité physicochimique et bactériologique de l'eau du Barrage Hammam Debagh –Guelma. Mémoire de master en Microbiologie de l'environnement. Université 8 Mai 1945 Guelma.
- Boulegblem Z. (2015).** Etude Hydrogéologique et Evaluation des Ressources en Eau dans la région AZZABA-GUERBES. Mémoire de magister en hydrogéologie. Université Badji Mokhtar-Annaba.
- Bouguerra H. (2018).** Quantification et modélisation des transports solides. cartographie des zones à risques d'érosion hydrique par utilisation d'un SIG: application aux bassins de Bouhamdane et Ressoul (Nord-Est Algérien). thèse doctorat. Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen.
- Bouzidi S et al. (2017).** Caractérisation physico-chimique et bactériologique avant et après traitement de l'eau du barrage de Hammam Debagh-Guelma. Mémoire de master en Microbiologie de l'environnement. Université 8 Mai 1945 Guelma.
- Brahmia N. (2016).** Evaluation et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant de la moyenne Seybouse. Mémoire de doctorat en hydrogéologie. Université Badji Mokhtar-Annaba.
- Chabbi A. (2017).** Les nappes telliennes de la région Nord de Souk Ahras (NE algérien) : Etude géologique et structurale. Mémoire de Doctorat en géologie. Université Badji Mokhtar-Annaba.
- Chaouch R et al . (2009).** Suivi de quelques paramètres physicochimiques et bactériologiques dans les eaux du barrage et de l'Oued de Bouhamdane. Mémoire d'ingénieur d'état en biologie. Université de 8 Mai 45 Guelma.

Chergui D . (2014). Etude de transport solide et de la pollution du barrage de Hammam Debagh Wilaya de Guelma. Mémoire de Master en hydraulique urbaine Université L'Arbi Ben M'hidi–Oum El-Bouaghi.

Chibani S . (2009). Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de surface et souterraine de la région de Ain Makhoulf (Wilaya de Guelma). Mémoire de Magister en hydro-écologie. Université 08 Mai 1945 de Guelma.

Debbih H et al . (2015). Etude de qualité des eaux des barrages de l'Est Algérien. Mémoire de master en hydraulique. Université Larbi Ben M'hidi. Oum el Bouaghi.

J.M.Vila (1978). Carte structurale de la chaîne Alpine d'Algérie orientale (Échelle 1/500.000).

Hachouf k. (2018). Evaluation de la qualité de l'eau du barrage Hammam. Mémoire de master en Ecologie fondamentale et appliquée. Université des Frères Mentouri Constantine.

Hamed M et al. (2012). Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Djorf-torba Bechar .Mémoire de master en Contrôle de Qualité et d'Analyse. Université de Bechar.

Hufty A. (2001). Introduction à la climatologie: le rayonnement et la température. l'atmosphère. l'eau. le climat et l'activité humaine. Presses Université Laval.

Gaagai I. (2017). Etude de l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Babar (Sud-Est Algérien) et l'impact de la rupture de la digue sur l'environnement. Mémoire de doctorat en hydraulique. Université Mostefa Benboulaïd –Batna.

Ghemit Y et al. (2016). Potentialités et qualité des eaux de surface de la wilaya de Jijel (NE Algérien). Mémoire de master en Eau et Environnement Université Mohammed Seddik Benyahia-Jijel.

Guidoum A. (2017). Caractérisation Hydrologique et Analyse du Transport du Solide en Suspension dans Trois Ensembles du Nord-Est Algérien: Etude de cas dans la Seybouse. les hautes plaines constantinoises et Chott Melghir (Coupe Nord-sud). Thèse de doctorat en Hydraulique. Université Mohamed Khider – Biskra.

Khammar H. (2019). Hydrochimie et qualité des eaux. Université Larbi Ben M'hidi - Oum el Bouaghi.

Kias M et al. (2020). Étude Qualitative des Données des eaux du Barrage Béni Haroun. Wilaya de Mila. Mémoire de master en hydrogéologie. Université Mohammed Seddik Benyahia-Jijel.

Kouarta R et al. (2020). Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux du barrage Bouhamdane de Hammam Debagh et quatre forages de la nappe phréatique de Guelma. mémoire de master. université de Guelma.

Laraba et al. (2021). Contribution à l'étude de la qualité des eaux du Barrage Hammam Grouz dans la Wilaya de Mila. Mémoire de master en Protection des écosystèmes. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf Mila.

Lassoued K et al. (2008). Contribution à l'étude de la qualité microbiologique de l'eau du Barrage de Hammam Debagh. Mémoire d'ingénieur d'état en Biologie. Université de Guelma.

- Louamri A et al. (2013).** Variabilité interannuelle et intra-annuelle des transports solides de l'Oued Bouhamdane, à l'amont du barrage Hammam Debagh (Algérie orientale). *Hydrological Sciences Journal*. 58 (7). 1559–1572.
- Makhoukh M et al. (2011).** "Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental)." *LARHYSS Journal* P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782(9).
- Mansouri Z. (2009).** Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant de l'oued Bouhamdane (Nord-Est Algérien). Mémoire de magister. Université Badji Mokhtar-Annaba.
- Mekaoussi N. (2014).** Comportement des Eléments Chimiques dans les Eaux de Surface de Hammam Debagh (Est Algérien). Mémoire de magister en Hydraulique. Université Hadj Lakhdar –Batna.
- Mihoubi H et al. (2020).** Evaluation de la qualité des eaux des barrages de l'ouest Algérien. Mémoire de master en aménagement hydraulique. Université Mouhamed El Bachir-Bordj Bouarreridj.
- Musy et al. (2004).** Hydrologie. une science de la nature. Coll. Gérer l'environnement. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne. 314 p.
- MM.P.Deleau et R.Laffitte.** Carte géologique de l'Algerie (Échelle 1/500.000).
- Rodier J. 1996.** L'analyse de l'eau ; eaux naturelles. eaux résiduelles. eaux de mer. 8ème Ed Dunod Paris France. 1383p.
- Sahraoui S. (2014).** Etude des discontinuités litho-stratigraphiques et relation tectono-sédimentaire à travers l'intervalle Santonien-Maastrichtien dans la région de Batna (Aurès). Mémoire magister en Géologie et valorisation des bassins sédimentaires. Université Hadj Lakhdar –Batna.
- Soufane et al. (2017).** La qualité des eaux de surface de la région de Bekkouche Lakhdar Wilaya de Skikda. Mémoire de master en Eau et Environnement Université Mohammed Seddik Benyahia-Jijel.
- Touil I et al. (2020).** Application des méthodes statistique à l'étude de la qualité des eaux superficielles: cas du barrage Hammam Debagh wilaya de Guelma.Mémoire de master. Université Badji Mokhtar -Annaba.
- Villers et al. (2005).** Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général. Fiche 2: 158-162.
- Zeghaba N. (2018).** Etude et suivi de la qualité des eaux du barrage Hammam Debagh (Nord-Est Algérien). Thèse doctorat en science. Université Badji Mokhtar -Annaba.
- Zerdoudi S. (2015).** Etude géologique de la région d'El Kentour Zighoud Youcef Déformations Morpho-tectoniques. nature et qualité des matériaux. Mémoire de magister en ressources énergétiques. Université Des Frères Mentouri Constantine.
- Ziani D. (2009).** Impact de la pollution agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de l'aquifère d'Ain Djasser. Est Algerien. Batna. Mémoire de Magistère en Hydraulique. Université de Batna.

Sites internet :

- <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/resumes/chapitre3/resume3.html> (Dernière visite 08-03- 2022).
- <https://www.universalis.fr/encyclopedie/hydrologie/4-1-evapotranspiration/> (Dernière visite 09-03-2022).
- <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/du-5.htm> (Dernière visite 21-03-2022).
- https://btp.cnam.fr/medias/fichier/ch2-ok4_153131116340 (Dernière visite 20-04-2022).
- <https://www.1h2o3.com/apprendre/parametres-des-eaux-usees/parametres-de-qualite-des-eaux-usees/cycle-azote-en-epuration-nitrification-et-denitrification/> (Dernière visite 16-05-2022).
- <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/recommandations-pour-qualite-eau-potable-canada-document-technique-ammoniac/page-5-recommandations-.html> (Dernière visite 13-04-2022).
- <https://www.sevre-nantaise.com/observatoire/qualite-eau-matieres-organiques> (Dernière visite 15-03-2022).
- <http://tpesurleau.free.fr/les-menaces-qui-pesent-sur-les-ressources-en-eau.php> (Dernière visite 17-03-2022).
- http://www.guelma.org/francais/index2.php?rub=sejour&srub=promenades_guelma&goto=barrage_bouhamdane_guelma (Dernière visite 29-02-2022).
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Guelma> (Dernière visite 26-02-2022).

