

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة باجي مختار- عنابة

BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR –ANNABA



Année 2018

**Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie**

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat en Sciences

Option : Hydrogéologie

THEME

Etude et suivi de la qualité des eaux du barrage Hammam Debagh (Nord-Est Algérien)

Option : *Hydrogéologie*
Présentée par

ZEGHABA Nadjette

Directeur de thèse : LARABA Abdel Aziz

Pr. Université Badji Mokhtar. Annaba

Co- directeur de thèse : MAHIA Mohamed

Pr. Université Badji Mokhtar. Annaba

Devant le jury:

Président: BENHAMZA Moussa

Pr. Université Badji Mokhtar Annaba

Examineurs:

MAOUI Amar

Pr. Université 08 Mai 1945 Guelma

GHERIEB Lassaad

M.C.A. Université 08 Mai 1945 Guelma

ZENATI Nouredine

M.C.A. Université Chérif MESSAIDIA

Souk Ahras

Résumé

Les cours d'eau sont souvent chargés de matière en suspension. Un excès de matière présente généralement un risque de contamination concernant les eaux d'irrigation ainsi que pour les eaux souterraines. La région de Hammam Debagh, se trouve au centre d'une agglomération agricole, entourée de montagnes. Cette région trouve sa fertilité grâce notamment à l'Oued Bouhamdane et au grand barrage qui assure un vaste périmètre d'irrigation (13000 ha). Cependant, le développement de l'industrie, accompagné d'une croissance très poussée de la population ont entraîné une détérioration de la nature des eaux superficielles et souterraines. Afin d'évaluer la qualité des eaux du bassin versant de l'Oued Bouhamdane, vingt sept (27) échantillons ont été prélevés et analysés en partie amont du bassin (Oued Bouhamdane, Oued Bordj Sabat et Oued Zenati), pendant deux périodes, et une série de onze (11) années d'observation (2005/2015) en partie aval (Barrage Hammam Debagh).

Les résultats ont été traités statistiquement par l'analyse en composante principale (A.C.P). Cette approche de traitement donne une estimation sur la qualité de ces eaux du bassin versant en différents secteurs (alimentation en eau potable et irrigation) et leur impact sur les eaux d'irrigation de la plaine de Guelma.

Mots-clés : Bassin versant, Barrage, Oued Bouhamdane, Qualité des eaux, (A.C.P), Guelma.

Abstract

The waterways are often charged with suspended matter. A matter excess generally presents a risk of contamination concerning water of irrigation like for ground waters. The area of Hammam Debagh is in the center of an agricultural urban area, surrounded by mountains.

This area finds its fertility thanks in particular to the Bouhamdane river and dam which ensures a vast perimeter of irrigation (13000 ha). However, the development of industry, accompanied by a very thorough growth of the population involved a deterioration of the nature of surface and underground waters.

In order to evaluate the quality of water of the catchment area of the Bouhamdane river, twenty-seven (27) samples were partly taken and analyzed upstream of the basin (Bouhamdane, Bordj Sabat and Zenati rivers), during two periods, and a series of eleven (11) years of observation (2005/2015) partly downstream (Hammam Debagh dam).

The results were treated statistically by the principal components analysis (P.C.A). This approach of treatment gives an estimate on the quality of this water of the area catchment in various sectors (drinking water supply and irrigation) and their impact on water of irrigation of the plain of Guelma.

Keywords: Catchment area, Dam, Bouhamdane River, Quality of water, (P.C.A), Guelma.

الملخص

الأنهار غالباً ما تكون محملة بالمادة المعلقة. تعرض المادة الزائدة بشكل عام خطر التلوث لمياه الري وكذلك للمياه الجوفية. تقع منطقة حمام دباغ في وسط التكتل الزراعي ، وتحيط بها الجبال. تجد هذه المنطقة خصوبتها بفضل بشكل خاص إلى وادي بوحمدان والسد الكبير الذي يضمن محيط ري واسع (13000 هكتار). ومع ذلك ، أدى تطور الصناعة ، بمصاحبة نمو سكاني كبير للغاية ، إلى تدهور في طبيعة المياه السطحية والجوفية. من أجل تقييم نوعية المياه في مستجمعات مياه وادي بوحمدان ، تم أخذ وتحليل سبعة و عشرون عينة (27) في الجزء العلوي من الحوض (وادي بوحمدان ، وادي برج صباط و وادي زناتي) لفترتين ، و سلسلة من إحدى عشر (11) سنة من المراقبة (2015/2005) جزئياً في مجرى النهر (حمام دباغ). تمت معالجة النتائج إحصائياً بواسطة تحليل المكون الرئيسي (A.C.P). يقدم منهج المعالجة هذا تقديراً لجودة مستجمعات المياه هذه في مختلف القطاعات (مياه الشرب والري) وتأثيرها على مياه الري في سهل قالمة.

الكلمات المفتاحية : مستجمعات المياه ، السد ، واد بوحمدان ، جودة المياه ، (A.C.P) ، قالمة.

Dédicace

A Ma chère mère et à la mémoire de Mon cher père

A mon époux

A ma famille ZEGHABA

A ma belle famille TATAT

A mes amies.

ZEGHABA Nadjette

Remerciement

Je tiens à remercier avant tout Dieu le tout puissant de m'avoir donné la patience et la force nécessaires l'énergie pour mettre à terme ce travail.

Je dois énormément remercier mon époux Mr TATAT Nabil, qui m'a encouragé et aidé du début à la fin de ce travail.

La réalisation de cette thèse n'aurait pu être menée à terme sans le support constant de mon directeur et codirecteur de thèse Mr LARABA Abdel Aziz, professeur à l'Université Badji Mokhtar Annaba et Mr MAHIA Mohamed, professeur à l'Université Badji Mokhtar Annaba. Je désire les adresser un merci tout particulier, ses précieux commentaires et ses conseils pertinents m'ont grandement aidé tout au long des différentes étapes inhérentes au processus de recherche et à l'élaboration de cette thèse.

Tout d'abord, je souhaite m'adresser plus particulièrement aux membres de jury qui ont accepté de juger ce travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma gratitude le président de jury.

J'adresse également mes remerciements les cadres de l'ABHCSM Constantine, surtout Mme YOUSSEFI.

Je tiens remercier aussi les cadres du ministère des ressources en eau ainsi que les ingénieurs de l'ANBT à Alger, qui ont mis à ma disposition tous les données du barrage Hammam Debagh, sans oublier les ingénieurs de l'ANRH d'Alger et les ingénieurs de la DRE de Guelma.

Une remerciement spéciale à Mr MOUSTAFAOUI Omar.

Finalement, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers tous ceux qui par leur soutien et leurs conseils ont contribué à la réalisation de cette thèse. Je vous prie de trouver l'expression de ma profonde considération.

ZEGHABA Nadjette

Table des matières

Résumé	
Abstract	
ملخص	
Dédicace	
Remerciement	
Table des matières	
Liste des acronymes	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale.....	1

1ère Partie :

Portrait du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Chapitre I :

Cadre général et contexte géologique du barrage Hammam Debagh

I. Cadre général du barrage Hammam Debagh.....	4
I.1.Situation géographique	4
I.2.Le bassin versant de l'Oued Seybouse.....	5
I.2.1.Les données morphométriques de l'Oued Seybouse.....	6
I.2.2.Le profil en long de l'Oued Seybouse.....	6
I.3.La description du sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane.....	8
I.4.Les caractéristiques morphométriques du sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane....	9
I.4.1.Profil en long de l'Oued Bouhamdane.....	9
I.4.2.Paramètres morphométriques.....	10
I.4.2.1.Le périmètre.....	10
I.4.2.2.La superficie.....	10
I.4.2.3.La forme.....	11
I.4.2.4.La notion de rectangle équivalent.....	11
I.5.Aperçu hydrographique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane.....	12
I.5.1.Le réseau hydrographique.....	12
I.5.2.Longueurs des talwegs principaux.....	13
I.6.Aperçu géomorphologique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane.....	13
I.6.1.Classe des reliefs.....	13
I.6.2.Les altitudes caractéristiques.....	14

I.6.2.1.L'altitude moyenne.....	14
I.6.2.2.L'altitude médiane.....	15
I.7.Aperçu socio-économique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane.....	15
I.7.1.Population.....	15
I.7.2.Alimentation en eau potable.....	16
I.7.3. L'irrigation.....	16
I.7.4.Les activités agricoles.....	17
I.7.5.Les activités industrielles.....	17
I.7.6.Les sources de pollution.....	17
I.7.6.1.Pollution domestique.....	17
I.7.6.2. Pollution industrielle.....	18
I.7.6.3.Pollution d'origine agricole.....	18
II. Contexte géologique du barrage Hammam Debagh.....	19
II.1.Cadre géologique régionale.....	19
II.1.1.Eléments de stratigraphie de la série néritique constantinoise.....	19
II.1.1.1.Les formations autochtones à faciès néritique.....	19
II.1.1.1.1.Le Trias.....	19
II.1.1.1.2. Le Jurassique.....	19
II.1.1.1.3.Le Crétacé.....	19
a. Le Néocomien.....	19
b. Le Barrémien.....	20
c. L'Aptien.....	20
d. L'Albien.....	20
e. Le Vraconien-Cénomaniens inférieur.....	20
f. Le Turonien.....	20
g. Le Sénonien.....	20
II.1.1.1.4.Le Paléocène.....	21
II.1.1.1.5. L'Eocène.....	21
II.1.1.2. Les unités allochtones.....	21
II.1.1.2.1.La nappe numidienne.....	21
II.1.1.2.2.La nappe du flysch tithonique – crétacé inférieur.....	21
II.1.1.2.3.La nappe du flysch Sénonien à microbrèches.....	21
II.1.1.2.4.L'allochtone tellien.....	22
II.1.1.3.Les formations post- nappes.....	22

II.1.2.Description lithologique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane.....	23
II.2. Cadre géologique locale.....	25
II.2.1.Aperçu d'ensemble.....	25
II.2.2.Lithostratigraphie du barrage Hammam Debagh.....	25
II.2.2.1.Le Crétacé Autochtone.....	25
II.2.2.2.La série des Nappes Telliennes.....	26
II.2.2.3.La série du Flysch- Crétacé.....	26
II.2.2.4.Dépôts de grès psammitiques rouges et verts.....	26
II.2.2.5.Dépôts des terrasses.....	26
II.2.3.Géologie de la cuvette du barrage Hammam Debagh.....	26
II.2.4.Description géologique du barrage Hammam Debagh.....	27
II.2.4.1.Etudes d'avant-projet.....	27
II.2.4.2.Apport des reconnaissances complémentaires.....	28
II.2.4.3.Eléments acquis pendant les travaux.....	29
II.2.5.La sismicité du barrage Hammam Debagh.....	30
II.3.Tectonique de la région de Guelma.....	31
II.3.1.Les plis.....	31
II.3.2.Contacts anormaux.....	32
II.3.2.1.Les contacts par failles.....	32
II.3.2.2.Les chevauchements.....	32
II.3.3.Discordances.....	32
II.4.Conclusion.....	33

Chapitre II :

Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage Hammam Debagh

I.1.Introduction.....	34
I.2.Type de climat.....	34
I.2.1.Le diagramme Ombro-thermique (P=2T).....	34
I.3.Les précipitations.....	35
I.3.1.Précipitations moyennes mensuelles.....	35
I.3.2.Précipitations moyennes saisonnières.....	36
I.3.3.Variabilité des précipitations annuelles.....	36
I.4.Les Températures.....	38

I.5. Le bilan d'eau.....	39
I.5.1. Calcul de l'ETP par la méthode de C.W.Thornthwaite.....	39
I.5.2. Calcul de l'ETR par la méthode de Turc.....	41
I.5.3. Calcul du Ruissellement (R).....	41
I.5.4. Estimation du bilan hydrique.....	42
I.6. Conclusion.....	43

Chapitre III :

Les caractéristiques hydrologiques et diagnostique quantitatif des ressources en eau du barrage Hammam Debagh

I. Les caractéristiques hydrologiques du barrage Hammam Debagh.....	44
I.1. Introduction.....	44
I.2. Pluviométrie.....	44
I.3. Apports.....	45
I.3.1. Apport interannuel.....	45
I.3.2. Distribution mensuelle des apports.....	46
I.3.3. Les crues.....	47
I.4. L'envasement du barrage Hammam Debagh.....	48
I.4.1. Le bassin versant de l'Oued Bouhamdane.....	48
I.4.2. Le barrage Hammam Debagh.....	49
I.4.3. Pertes de capacité du barrage Hammam Debagh.....	50
I.5. La demande.....	50
I.6. Conclusion.....	52
II. Diagnostique quantitatif des ressources en eau du barrage Hammam Debagh.....	53
II.1. Introduction.....	53
II.2. Les eaux de surface.....	53
II.2.1. Barrage et retenues collinaires.....	53
II.3. Les eaux souterraines.....	54
II.3.1. Les forages.....	54
II.4. Les réservoirs et capacité de stockage.....	54
II.5. Estimation des besoins en eau par secteurs d'utilisation.....	56
II.5.1. Demande en eau potable.....	56
II.5.2. Demande en eau d'irrigation.....	57
II.6. Conclusion.....	57

2ème Partie :

Chapitre IV :

Hydrochimie et qualité des eaux

IV.1.Introduction.....	58
I. Les caractéristiques hydrochimiques des eaux brutes de l'Oued Bouhamdane et ses affluents.....	58
I.1 Méthodes et stratégie de travail.....	58
I.1.1. Prélèvements.....	58
I.1.2. Mesures in situ.....	61
I.1.2.1.Température.....	61
I.1.2.2. Potentiel d'Hydrogène (pH).....	62
I.1.2.3. Conductivité électrique (CE).....	63
I.1.3. Analyses aux laboratoires.....	63
I.1.3.1. Eléments majeurs.....	63
a. Calcium (Ca^{2+}).....	63
b. Magnésium (Mg^{2+}).....	64
c. Sodium (Na^+).....	65
d. Chlorures (Cl^-).....	65
e. Bicarbonates (HCO_3^-).....	66
f. Sulfates (SO_4^{2-}).....	66
I.1.3.2 Le cycle d'azote.....	67
a. Nitrates (NO_3^-).....	67
b. Ammonium (NH_4^+).....	68
I.1.3.3. Les éléments mineurs en traces.....	68
a. Phosphates (PO_4^{3-}).....	68
I.1.3.4. Les métaux lourds.....	70
a. Fer (Fe^{2+}).....	70
b. Manganèse (Mn^{2+}).....	70
c. Zinc (Zn^{2+}).....	71
I.1.3.5. Les éléments de pollution.....	71
a. La demande biologique en oxygène (DBO_5).....	71
b. La demande chimique en oxygène (DCO).....	71
I.2. Résultats des analyses chimiques.....	73

I.2.1.Composition chimique.....	73
I.2.2.Faciès chimique.....	73
I.2.3.Représentation graphique des analyses chimiques.....	74
I.2.3.1. Diagramme de Stabler.....	74
I.2.3.2. Diagramme de Stiff.....	75
I.2.3.3. Diagramme de Piper.....	76
a. Triangle des cations.....	76
b. Triangle des anions.....	77
I.2.3.4. Diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	77
I. 3.Aptitude des eaux brutes du bassin versant de l’Oued Bouhamdane pour l’irrigation...	80
I.3.1. La salinité.....	80
I.3.2. La classification de Richard (S.A.R).....	81
I.3.2.1. Principe du diagramme.....	81
I.3.3. La classification de Wilcox.....	82
I.4.Conclusion.....	83
II. Les caractéristiques hydrochimiques des eaux traitées du barrage Hammam	
Debagh.....	84
II.1. Introduction.....	84
II.2. Résultats des analyses chimiques.....	84
II.2.1.Composition chimique.....	84
II.2.2.Faciès chimiques.....	84
II.3.Représentation graphique des analyses chimiques.....	85
II.3.1. Diagramme de Stabler.....	85
II.3.2. Diagramme de Schoëller-Berkaloff.....	86
II.3.3. Diagramme de Piper.....	86
II.3.4. Diagramme de Stiff.....	87
II.4. Aptitude des eaux à l’irrigation.....	87
II.5.Evolution des paramètres de qualité des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015).....	90
II.5.1. Altération Minéralisation.....	90
II.5.1.1. La conductivité électrique(CE).....	90
II.5.1.2.Les chlorures (Cl ⁻).....	92
II.5.1.3.Les sulfates (SO ₄ ⁻²).....	92
II.5.2. Altération matières azotées hors nitrates.....	93

II.5.2.1. L'Ammonium (NH_4^+).....	93
II.5.2.2. Les nitrites (NO_2^-).....	93
II.5.3. Altération Nitrates.....	94
II.5.3.1. Les nitrates (NO_3^-).....	94
II.5.4. Altération Matières organiques et oxydables.....	94
II.5.4.1. L'oxygène dissous (O_2d).....	94
II.5.4.2. La demande biochimique en oxygène (DBO_5).....	95
II.5.4.3. La demande chimique en oxygène (DCO).....	95
II.5.5. Altération Phosphates.....	96
II.5.5.1. Les phosphates (PO_4^{-3}).....	96
II.5.6. Altération Turbidité.....	96
II.5.6.1. La turbidité (Turb).....	96
II.6. Conclusion.....	97
III. Analyse en Composante Principale (A.C.P).....	97
III.1. Généralité.....	97
III.2. Application de l'A.C.P.....	98
III.2.1. A.C.P des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane.....	99
III.2.2. A.C.P des eaux traitées du barrage Hammam Debagh.....	104
III.3. Conclusion.....	108
Conclusion générale et recommandations.....	110
Références bibliographiques.....	114

Liste des acronymes

ABHCSM : Agence des Bassins Hydrographiques Constantinois-Seybouse-Mellegue

AEP : Alimentation en Eau Potable

ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transferts

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

APD : Avant Projet Détaillé

Cv : Coefficient de variation

DE : Direction d'Exploitation du barrage Hammam Debagh

DRE : Direction des Ressources en Eau

IRR : Irrigation

SAR : Sodium Absorption Ration

SAT : Surface Agricole Totale

SAU : Surface Agricole Utile

SEM URB : Semi Urbain

URB : Urbain

Vr : Volume régularisable

Liste des Tableaux

Tableau I.1	Les principales caractéristiques du barrage Hammam Debagh	4
Tableau I.2	Les paramètres morphométriques de l'Oued Seybouse	6
Tableau I.3	Périmètre du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	10
Tableau I.4	Superficies planimétriques du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	10
Tableau I.5	L'indice de compacité de Gravelius du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	11
Tableau I.6	Paramètres des longueurs et largeurs du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	11
Tableau I.7	Longueur des Talwegs principaux LP (km) de l'Oued Bouhamdane	13
Tableau I.8	Les altitudes moyennes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	14
Tableau I.9	Les altitudes médianes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	15
Tableau I.10	Répartition spatiale de la population communale dans le bassin versant de l'Oued Bouhamdane	16
Tableau I.11	Répartition des besoins en AEP selon la population du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	16
Tableau I.12	Division du périmètre d'irrigation du barrage Hammam Debagh	17
Tableau I.13	Les différents produits agricoles du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	17
Tableau I.14	Actualisation de l'enquête d'assainissement dans le bassin versant de l'Oued Bouhamdane	18
Tableau I.15	Les installations classées de l'Oued Bouhamdane et les milieux récepteurs de leurs rejets	18
Tableau I.16	Les cultures et leurs points de rejets dans l'Oued Bouhamdane	18
Tableau.II.1	Les caractéristiques de station de mesure Hammam Debagh	34
Tableau.II.2	Les précipitations moyennes mensuelles (1995/96-2015/16)	35
Tableau.II.3	Précipitations moyennes saisonnières (1995/96-2015/16)	36

Tableau.II.4	Précipitations interannuelles (1995/96-2015/16)	37
Tableau.II.5	Moyennes mensuelles des températures (1995/96-2015/16)	38
Tableau.II.6	Bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)	40
Tableau.II.7	Evapotranspiration réelle annuelle selon la méthode de Turc	41
Tableau.II.8	Les différentes composantes du bilan hydrique de la station Hammam Debagh	42
Tableau III.1	La distribution mensuelle des précipitations du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (2013)	44
Tableau III.2	Classement des apports d'après leurs fréquences	46
Tableau III.3	La distribution mensuelle des apports du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (1990/1991 à 2012/2013)	46
Tableau III.4	Les débits de pointe et les volumes totaux	47
Tableau III.5	Evolution annuelle de la demande en eau du barrage Hammam Debagh	51
Tableau III.6	Représentation des ressources en eau superficielles du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	53
Tableau III.7	Représentation des ressources en eau souterraines du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	55
Tableau III.8	Représentation des réservoirs du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	55
Tableau III.9	Alimentation en eau potable dans le bassin versant de l'Oued Bouhamdane	56
Tableau III.10	Alimentation en eau d'irrigation dans le bassin versant de l'Oued Bouhamdane	57
Tableau.IV.1	Description des points de prélèvements des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	60
Tableau.IV.2	Résultats des analyses et faciès chimiques	74

Tableau.IV.3	Interprétation des diagrammes de Schoeller- Berkaloff	78
Tableau.IV.4	Qualité de l'eau pour l'irrigation selon la conductivité électrique	81
Tableau.IV.5	Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R	82
Tableau.IV.6	Classe des qualités des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane pour l'irrigation	82
Tableau.IV.7	Résultats des analyses et faciès chimiques des eaux traitées du barrage Hammam Debagh	86
Tableau.IV.8	Classification les eaux traitées par degré d'aptitude à l'irrigation (méthode du S.A.R) du barrage Hammam Debagh (2005-2015)	89
Tableau.IV.9	Les classes d'aptitude à la production d'eau potable	92
Tableau.IV.10	Grille de qualité des eaux de surface pour l'usage d'eau potable	93
Tableau.IV.11	Inerties totales de l'A.C.P des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	101
Tableau.IV.12	Matrice de corrélation de l'A.C.P des eaux brutes du bassin versant de Bouhamdane	102
Tableau.IV.13	Inerties totale de l'A.C.P des eaux traitées du barrage Hammam Debagh	107
Tableau.IV.14	Matrice de corrélation de l'A.C.P des eaux traitées du barrage Hammam Debagh	108

Listes des Figures

Figure.I.1	Situation géographique du barrage Hammam Debagh dans la région de Guelma (N.ZEGHABA, modifiée)	5
Figure.I.2	Confluence des Oueds Charef et Bouhamdane donnant l'Oued Seybouse (Source : N.Mouchara, 2007) (1- Vue satellitaire Google Earth 2- Photo numérique)	6
Figure.I.3	Profil en long de l'Oued Seybouse (A. Ghachi, 1982, in L. Djabri, 1996)	8
Figure.I.4	Carte de situation géographique du sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane (Source : DE du barrage Hammam Debagh)	9
Figure.I.5	Profil en long de l'Oued Bouhamdane et de ses principaux affluents (N. Mekaoussi, 2014)	10
Figure.I.6	Carte de réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (N. ZEGHABA, 2018)	12
Figure.I.7	Carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (H.Bouguera et al, 2017)	14
Figure.I.8	Schémas de superposition des nappes dans la région de Djebel Debagh (J.M.Vila, 1969)	22
Figure.I.9	Extrait de la carte géologique régionale (J.M Vila 1980)	23
Figure.I.10	Carte lithologique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (A. Guidoum, 2017)	24
Figure.I.11	Carte géologique locale du barrage Hammam Debagh (Source DRE Guelma)	30
Figure.II.1	Diagramme Ombro-thermique à la Station Hammam Debagh (1995/96-2015/2016)	34
Figure.II.2	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)	35
Figure.II.3	Histogramme des précipitations moyennes saisonnières de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)	36
Figure.II.4	Variation annuelle des précipitations de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)	38
Figure.II.5	Variations des températures moyennes mensuelles de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)	39
Figure.II.6	Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)	41

Figure.III.1	distribution mensuelle des précipitations du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (2013)	45
Figure.III.2	La distribution mensuelle des apports du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (1990/1991 à 2012/2013)	47
Figure.III.3	Confluence des Oueds Bordj Sabath et Zenati donnant l'Oued Bouhamdane (Google Earth, 2018) (N.ZEGHABA, 2018)	48
Figure.III.4	Coupe en travers du barrage Hammam Debagh (Source ANBT, 1990)	49
Figure.III.5	Evolution annuelle de la demande en eau du barrage Hammam Debagh	51
Figure.III.6	Carte de localisation géographique des retenues collinaires et du barrage dans le bassin versant de l'Oued Bouhamdane (Source ABHCSM Constantine 2005)	54
Figure.IV.1	Carte de désignation des points de prélèvements des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (N. ZEGHABA, 2018)	61
Figure.IV.2	Variation de la température dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	62
Figure.IV.3	Variation du pH dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	62
Figure.IV.4	Variation de la CE dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	63
Figure.IV.5	Concentrations du calcium dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	64
Figure.IV.6	Concentrations du magnésium dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	65
Figure.IV.7	Concentrations du sodium dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	65
Figure.IV.8	Concentrations des chlorures dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	66
Figure.IV.9	Concentrations des bicarbonates dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	67
Figure.IV.10	Concentrations des sulfates dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	67
Figure.IV.11	Concentrations des nitrates dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	68
Figure.IV.12	Concentrations d'ammonium dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	69
Figure.IV.13	Concentrations des phosphates dans les eaux brutes du bassin versant	69

	de l'Oued Bouhamdane	
Figure.IV.14	Concentrations du Fer dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	70
Figure.IV.15	Concentrations du Manganèse dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	70
Figure.IV.16	Concentrations du Zinc dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	71
Figure.IV.17	Concentrations de la DBO ₅ dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	72
Figure.IV.18	Concentrations de la DCO dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	72
Figure.IV.19	Composition chimique des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	73
Figure.IV.20	Représentation graphique des faciès chimiques des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane sur le diagramme de Stabler	75
Figure.IV.21	Représentation graphique des faciès chimiques des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane sur le diagramme de Stiff	76
Figure.IV.22	Représentation graphique des faciès chimiques des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane sur le diagramme de Piper	77
Figure.IV.23	Représentation graphique des faciès chimiques des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff	78-79
Figure.IV.24	Représentation graphique de l'aptitude des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane à l'irrigation selon la méthode de S.A.R	83
Figure.IV.25	Représentation graphique de l'aptitude des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane à l'irrigation selon la méthode de Wilcox	84
Figure.IV.26	Composition chimique des eaux traitées du barrage Hammam Debagh	86
Figure.IV.27	Représentation graphique des faciès chimiques des eaux traitées du barrage Hammam Debagh sur le diagramme de Stabler (2005-2015)	87
Figure.IV.28	Représentation graphique des faciès chimiques des eaux traitées du barrage Hammam Debagh sur le diagramme de Schoëller-Berkaloff (2005-2015)	88
Figure.IV.29	Représentation graphique des faciès chimiques des eaux traitées du	88

	barrage Hammam Debagh sur le diagramme de Piper (2005-2015)	
Figure.IV.30	Représentation graphique des faciès chimiques des eaux traitées du barrage Hammam Debagh sur le diagramme de Stiff (2005-2015)	89
Figure.IV.31	Représentation graphique des eaux traitées du barrage Hammam Debagh sur le diagramme de Richard (2005-2015)	90
Figure.IV.32	Courbe d'évolution de la conductivité électrique des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)	92
Figure.IV.33	Courbe d'évolution des chlorures des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)	93
Figure.IV.34	Courbe d'évolution des sulfates des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)	93
Figure.IV.35	Courbe d'évolution d'ammonium des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)	94
Figure.IV.36	Courbe d'évolution des nitrites des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)	94
Figure.IV.37	Courbe d'évolution des nitrates des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)	95
Figure.IV.38	Courbe d'évolution d'oxygène dissous des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)	95
Figure.IV.39	Courbe d'évolution de la DBO ₅ des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)	96
Figure.IV.40	Courbe d'évolution de la DCO des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)	96
Figure.IV.41	Courbe d'évolution des phosphates des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)	97
Figure.IV.42	Courbe d'évolution de la turbidité des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)	97
Figure.IV.43(a)(b)	Représentation graphique de l'A.C.P des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane selon les axes F1 et F2	102
Figure.IV.44(c)(d)	Représentation graphique de l'A.C.P des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane selon les axes F1 et F3	104
Figure.IV.45(e)(f)	Représentation graphique de l'A.C.P des eaux traitées du barrage Hammam Debagh selon les axes F1 et F3	108

Les photos

Photo.III.1	Barrage Hammam Debagh : évacuateur de crues en puits de section circulaire et protection sur la rive gauche (vue à partir de la digue) (mai 2012)	50
Photo.IV.1	Rejet domestique (mars 2015)	59
Photo.IV.2	Rejet agricole, lessivage (mars 2015)	59
Photo.IV.3	Rejet industriel (mars 2015)	59

Introduction générale

Introduction générale

De toutes les planètes du système solaire, la Terre est la seule à être pourvue d'une hydrosphère, celle-ci recouvre plus de 70% de sa superficie (Bliefert et Perraud, 1990). Schématiquement, l'eau évolue entre trois secteurs : les océans (l'hydrosphère), l'atmosphère et le sol (lithosphère). La Terre recevant l'énergie solaire, l'hydrosphère chauffée s'évapore, conduisant à la présence d'eau dans l'atmosphère. Cette eau, suite à un refroidissement de l'air, se condense en gouttes ou cristaux de glace et se retrouve précipitée sous forme de pluie, neige ou grêle sur la lithosphère à la surface. Le fonctionnement de ce système conduit à définir différents types d'eau, d'usage et de composition différente. (Boeglin, 2001).

Une partie non négligeable du cycle de l'eau à la surface de la Terre, entre la pluie et les cours d'eau, ruissèle sur le sol. Au cours du trajet de l'eau, diverses réactions se produisent entre la phase aqueuse, la phase gazeuse et les phases solides, minérales et organiques qui influencent la composition chimique de la phase aqueuse.

L'eau de surface englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Cette composition se trouve également modifiée suite à l'évaporation intense au niveau des plans d'eau libre. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets jetés dans le milieu aquatique et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. Ceci rend les eaux rarement potables avant traitement (Degremont, 1989).

En Algérie comme dans la plupart des pays en voie de développement ou industrialisés, la dégradation de la qualité de l'eau aussi bien de surface que souterraine est de plus en plus préoccupante. A l'échelle d'une unité fonctionnelle (bassin versant), les processus de transfert et les interactions entre l'eau et les différents systèmes (géologique, pédologique, climatique, anthropique,) sont très divers et très complexes. Ces phénomènes hydrochimiques aboutissent à un faciès qui reflète l'environnement géochimique de la région.

L'évaluation et la caractérisation des ressources en eau de surface et souterraine en Algérie, la pollution et les impacts des risques hydrologiques sont au cœur de la problématique de plusieurs recherches. Les aspects qualitatifs et quantitatifs sont abordés en s'appuyant sur la chimie des eaux et l'hydrologie.

L'objectif principal de la thèse est d'étudier et évaluer la qualité des eaux du barrage Hammam Debagh et leur impact sur les eaux d'irrigation de la plaine de Guelma, fondé sur une analyse complète des paramètres physico-chimiques des deux types d'eaux:

1. L'eau brute de l'Oued Bouhamdane et ses affluents pendant deux périodes; l'une pour les hautes eaux (22 Mars 2013, 16 Mars 2015) et l'autre concernant les basses eaux (13 Juin 2013).
2. L'eau traitée: C'est l'eau du Barrage Hammam Debagh analysé sur une série d'onze (11) années (2005/2015)

Ces travaux de thèse sont présentés en deux parties principales :

1ere partie : traite un portrait du barrage Hammam Debagh et le sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane. Elle comprend trois chapitres: le premier présente le contexte physique du barrage y compris la morphométrie et la géologie. Le deuxième est consacré aux facteurs hydroclimatiques dans la région. Le troisième s'articule sur les caractéristiques hydrologiques et un diagnostic quantitatif de l'état actuel des ressources en eau dans le sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane.

2ème partie : est réservée à l'aspect hydrochimiques, la qualité et l'évolution des eaux du sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane (en amont; les eaux brutes de l'Oued Bouhamdane et ses principaux affluents ; Oued Bordj Sabath et Oued Zenati, et en aval; les eaux traitées du barrage Hammam Debagh, où le quatrième chapitre se divise en trois axes.

Le premier axe concerne les eaux brutes de l'Oued Bouhamdane et ses affluents, en étudiant l'aptitude de ces eaux pour l'irrigation par trois méthodes qui sont :

- La salinité CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$),
- La classification de Richard ou Riverside (S.A.R),
- La classification de Wilcox.

Le second axe est fourni pour étudier la qualité des eaux traitées du barrage Hammam Debagh pour la production en eau potable et sa dégradation s'évalue à l'aide d'un groupe de paramètre appelé altération, on a six types d'altération, ou chaque altération a quatre classes de qualité (excellente, bonne, passable et mauvaise) ; ces dernières sont recommandées par le décret présidentiel n° 14-90 du 4 mars 2014, l'agence de bassin hydrographique (ABHCSM) de Constantine et l'agence national des barrages et transfert (ANBT) d'Algérie 2017 :

- Altération minéralisation : la conductivité électrique (CE), les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^{-2}) ;

- Altération matières azotées hors nitrates : l'ammonium (NH_4^+) et les nitrites (NO_2^-)
- Altération nitrates : les nitrates (NO_3^-) ;
- Altération matières organiques et oxydables : l'oxygène dissous (O_2d), la demande biochimique en oxygène (DBO_5) et la demande chimique en oxygène (DCO) ;
- Altération phosphates : les phosphates (PO_4^{-3}) ;
- Altération turbidité: la turbidité.

Le troisième axe mis l'accent sur l'analyse en composante principale (A.C.P), est une méthode descriptive ayant l'objet de décrire simultanément les données statistiques, fournissant ainsi des informations à des éléments d'interprétation qu'on ne peut obtenir par les traitements classiques, donnant ainsi des informations sur l'évolution du chimisme des eaux du sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane (les eaux brutes et les eaux traitées) et la détermination des caractères dominants dans le milieu.

Enfin la conclusion, nous résumerons les principaux résultats obtenus dans cette thèse et proposerons quelques recommandations.

1ère Partie :

Portrait du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Chapitre I:

Cadre général et contexte géologique du barrage

Hammam Debagh

I. CADRE GENERAL DU BARRAGE HAMMAM DEBAGH

I.1. Situation géographique

Le barrage Hammam Debagh (Barrage de Bouhamdane) est situé à 23 km de la wilaya de Guelma puisqu'il est implanté à 3 km à l'amont de la localité de Hammam Debagh, sur l'Oued Bouhamdane, tire son nom de la zone des sources thermales.

Le plan d'eau du barrage de Bouhamdane (à l'instar de celui de Medjez Bégard) est un grand lac, ayant son rôle à jouer dans le souci de sauvegarder l'environnement, en plus des finalités pour lesquelles il a été construit à l'origine, à savoir :

- L'irrigation (34 hm³) des deux périmètres Guelma-Boucheougouf (dont la superficie s'étend sur 13.000 ha) d'une part et Drean-Besbès dans la wilaya d'El Tarf, d'autre part,
- L'alimentation en eau potable de la ville de Guelma et des centres avoisinants (19 hm³).

Les principales caractéristiques du barrage sont résumées dans le Tableau suivant:

Tableau I.1: Les principales caractéristiques du barrage Hammam Debagh

Caractéristiques hydrologiques		Caractéristiques du barrage	
Oued	Bouhamdane	Type	TERRE
Capacité initiale	220 hm ³	Hauteur	95 m
Capacité dernier levé	184,35 hm ³	Longueur	430 m
Apport moyen annuel	69 hm ³	Côte de Retenue Normale (R.N)	360 m
Envasement annuel	0,53 hm ³ /an	Côte Plus Hautes Eaux (P.H.E)	370,24 m
Surface du bassin versant	1 070 km ²	Déversoirs	COROLLE et SEUIL LIBRE
		Débit d'évacuation	2240 m ³ /s
		Vidange de Fond	218 m ³ /s

Source ABHCSM 2016

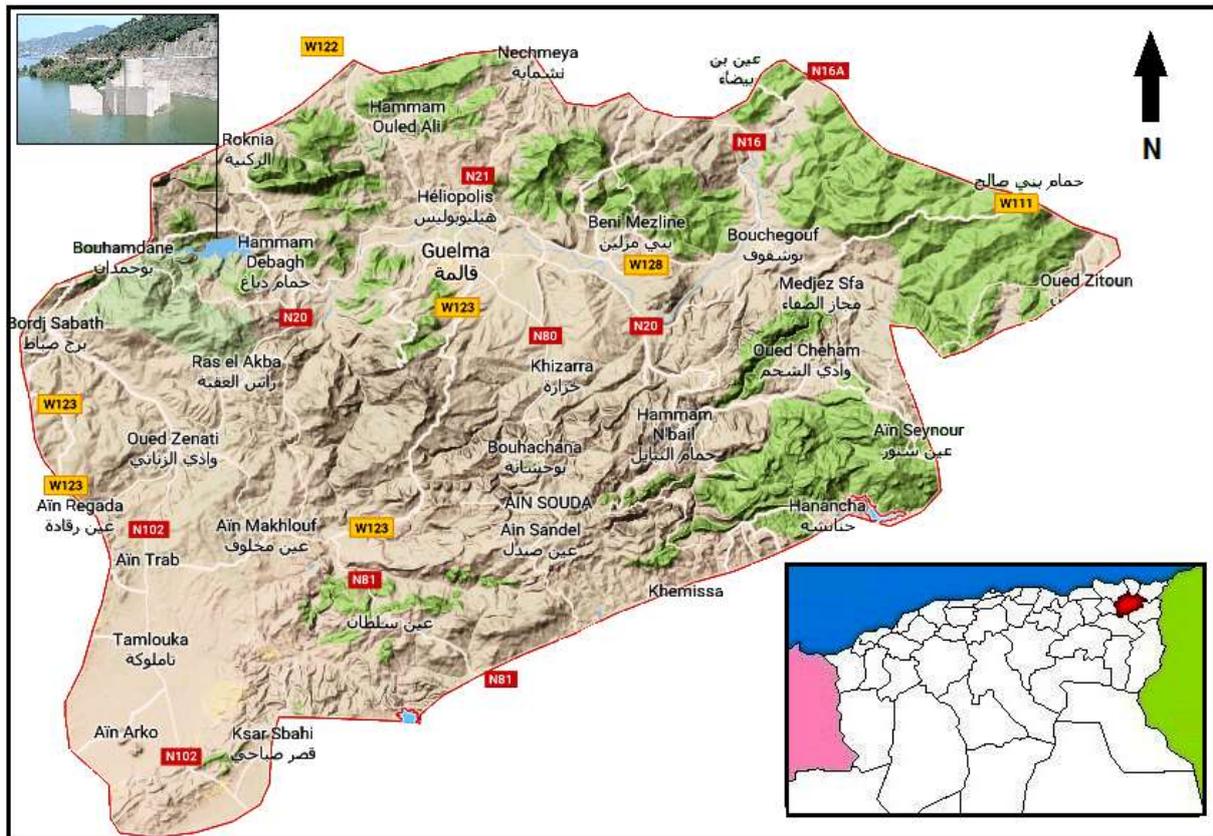


Figure.I.1 : Situation géographique du barrage Hamam Debagh dans la région de Guelma (N.ZEGHABA, modifiée)

I.2. Le bassin versant de l'Oued Seybouse

Le bassin versant de l'Oued Seybouse occupe une superficie de 6570 km². Il prend naissance dans les hautes plaines de l'Atlas Tellien et s'étend jusqu'à son embouchure, qui se trouve à Sidi Salem près de la ville d'Annaba. Il résulte de la confluence de deux Oueds qui sont le Charef et le Bouhamdane au niveau du Medjez Ammar et se termine dans la mer méditerranéenne au Nord, après un parcours de 160 Km (Figure.I.2).

Après la mise en eau du barrage Hamam Debagh, nous remarquons que seules les eaux de l'Oued Charef alimentent la Seybouse. La construction de cet ouvrage a entraîné une diminution des apports à la Seybouse.

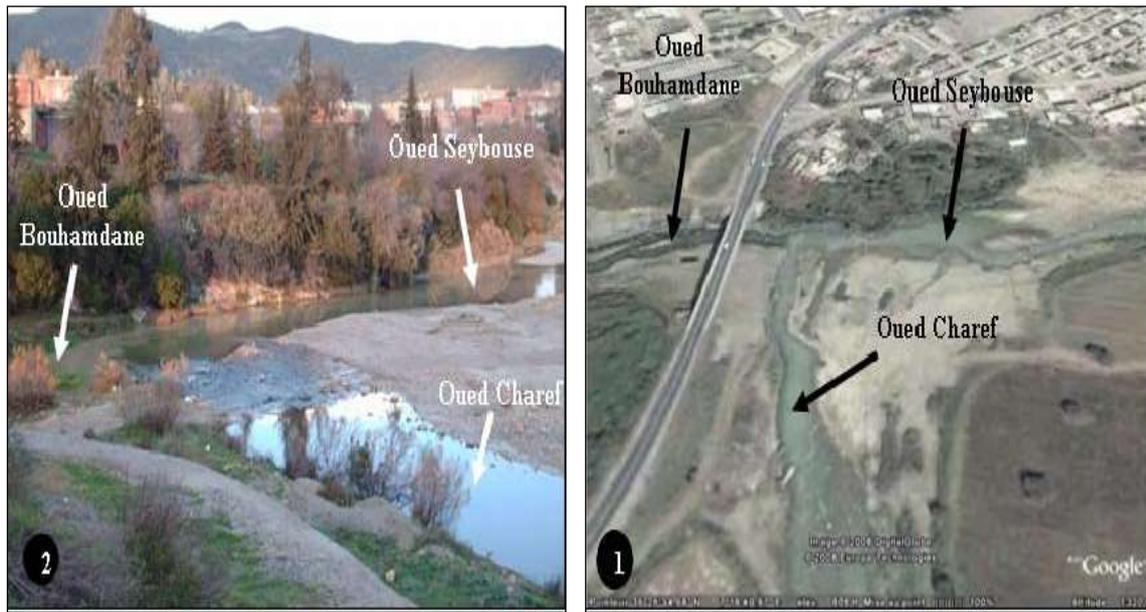


Figure.I.2: Confluence des Oueds Charef et Bouhamdane donnant l’Oued Seybouse
(Source N.Mouchara, 2007) (1- Vue satellitaire Google Earth 2- Photo numérique)

I.2.1.Les données morphométriques de l’Oued Seybouse

Les données morphométriques de l’Oued Seybouse sont présentées dans le Tableau ci-dessous :

Tableau I.2: Les paramètres morphométriques de l’Oued Seybouse

Paramètres	Station	Charef à M.AmmarI	Bouhamdane à M.AmmarII	Mellah à Bouchegouf
Code de la station		14-02-02	14-03-01	14-05-01
Superficie Km ²		1710	1105	550
Coefficient de compacité		1.67	1.43	1.85
Altitude maximum(m)		1543	1289	1390
Attitude minimum (m)		740	285	96
Altitude moyenne (m)		904	787,5	619
Pente moyenne (m/km)		45	175	240
Dénivelée spécifique (m)		132	266	303
Temps de concentration (h)		25	15	10
Densité de drainage (Km/Km ²)		1.8	2.6	3.2

Source N. Mouchara 2007

I.2.2.Le profil en long de l’Oued Seybouse (Figure.I.3)

L’étude du profil en long, montre des ruptures de pente que l’on peut expliquer autrement que par des captures ou par des feuil rocheux particulièrement résistants à l’érosion (gorges amont de Medjez Ammar). Le matériel très résistant est profondément entaillé par la Seybouse, cas de la partie terminale de l’Oued Charef en travers des grès par exemple.

Les différents changements de pente observés sur le profil en long de la Seybouse peuvent être assimilés à divers niveaux de base anciens.

Le bassin de Guelma est une dépression fermée, et tant que l'oued coule dans un bassin fermé le niveau de base devient celui du fond de cette cuvette, lorsqu'il y a capture, le niveau de base devient celui de la cuvette suivante ou bien celui de la mer, et il y a reprise de l'érosion et retouche du profil d'équilibre, si celui-ci avait été atteint.

En tout cas, l'irrégularité de la courbe et l'accentuation des pentes en amont de Medjez Ammar ont mis en évidence la puissance de l'érosion verticale, d'où un encaissement du lit et absence du champ d'inondations au niveau de la confluence Oued Charef- Oued Bouhamdane, il existe une nette relation entre le changement brusque de direction Est- Ouest de la Seybouse.

Ceci s'explique par l'inadaptation du réseau hydrographique à la structure. La chaîne numidique d'orientation Est-Ouest impose sa direction à l'Oued Charef qui coule du Sud au Nord.

Le profil en long du Mellah se traduit par une courbe à très forte pente et révèle le caractère torrentiel de cet affluent. En revanche, l'Oued Bouhamdane présente un profil en long assez régulier, interrompu par quelques légères ruptures de pente, il annonce déjà les cours d'eau de hautes plaines semi-arides. En résumé, la haute Seybouse présente des pentes faibles inférieures à 7.5%.

La moyenne Seybouse et ses affluents descendants de l'Atlas tellien donnent des gorges profondes qui renforcent la vitesse des eaux. Ces dernières sont à l'origine des crues parfois catastrophiques dans le bassin de Guelma et la plaine d'Annaba.

A la sortie des gorges de Nador, la pente redevient très faible en pénétrant dans la plaine d'Annaba, sa valeur tombe à 3% ; à l'approche de la mer, elle s'infléchit à 0.5%.

Ainsi, le profil en long de la Seybouse offre un tracé très régulier entre Medjez Ammar et l'embouchure, car la Seybouse est encore à un stade de jeunesse. A la sortie de la station hydrométrique de Mirebeck, à 12 Km de l'embouchure, le lit de la Seybouse n'est qu'à 12 m d'altitude.

A l'ancienne station hydrométrique de Boudaroua, 60 Km du littoral, le chenal d'écoulement est à 73 m d'altitude, au pont de Guelma le lit est à 191m, à la confluence de Medjez Ammar la Seybouse est à 270 m, l'Oued Charef au Moulin Rochefort est à 750 m d'altitude, l'Oued Bouhamdane à Oued Zenati est à 617 m. Ces différents points d'altitude montrent combien le régime de la Seybouse et ces affluents est encore fortement torrentiel.

Ce caractère fougueux des Oueds dévalant l'Atlas tellien est observé surtout dans le bassin moyen de la Seybouse et peut être mieux perçu encore par la densité de drainage.

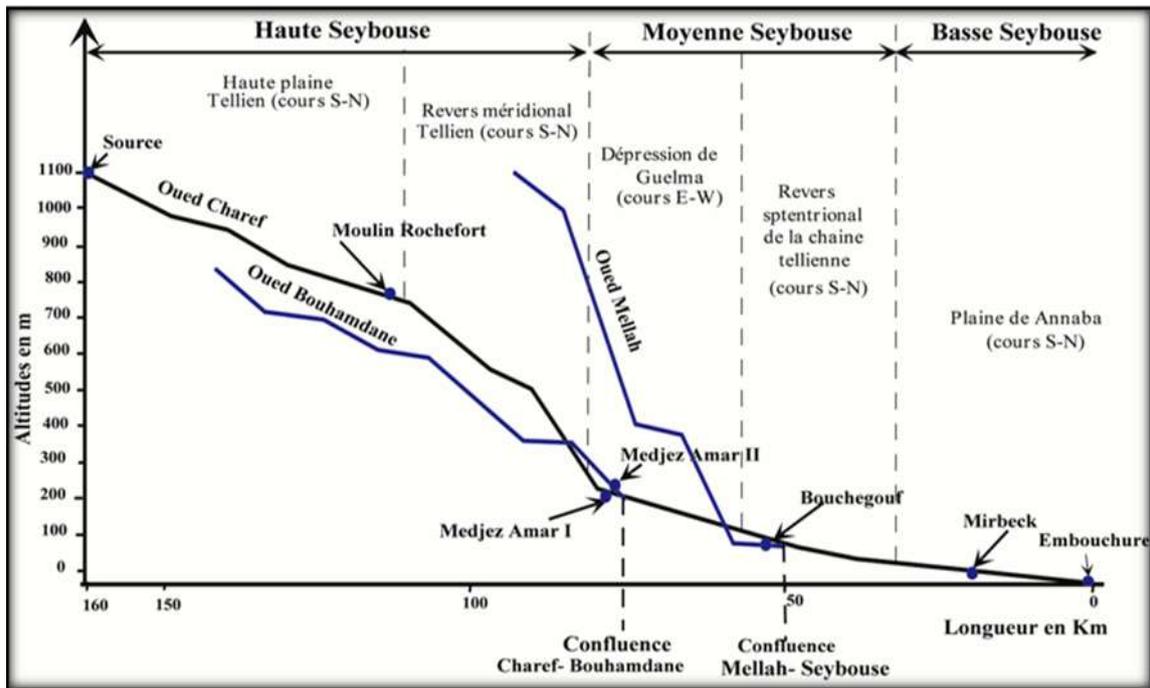


Figure.I.3: Profil en long de l'Oued Seybouse (A. Ghachi, 1982, in L. Djabri, 1996)

I.3.La description du sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Le sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane est situé au Nord- Est de l'Algérie occupant la partie Ouest de la wilaya de Guelma, qui fait partie du grand bassin numéro 14 dénommé la Seybouse, l'Oued Bouhamdane, principal affluent rive gauche de L'Oued Seybouse, coule sensiblement de l'Ouest vers l'Est, entre les massifs du Djebel Taya au Nord, et du Djebel Seba Mzaar au Sud.

A la station de Medjez Ammar II le sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane couvre une superficie de l'ordre de 1105 Km². Il est limité par les bassins versants suivants:

- Au Nord, par le domaine coté constantinois ;
- Au Sud et Sud- Ouest par le bassin de l'Oued Charef ;
- A l'Est par Guelma ;
- A l'Ouest par Constantine.

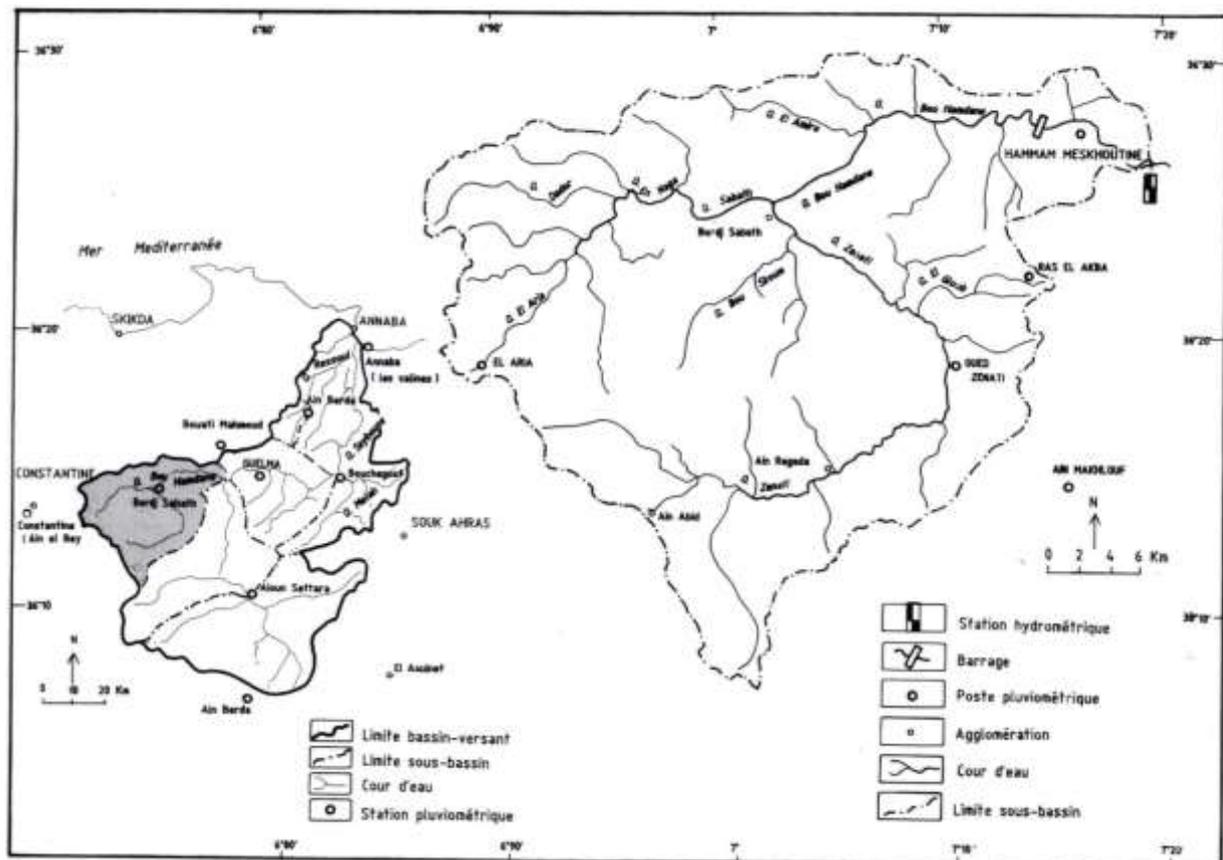


Figure.I.4: Carte de situation géographique du sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane

(Source DE du barrage Hammam Debagh)

I.4. Les caractéristiques morphométriques du sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane

I.4.1. Profil en long de l'Oued Bouhamdane

Le profil longitudinal de l'Oued Bouhamdane et ses principaux affluents (Figure.I.5), permet d'apporter des éléments complémentaires à la densité de drainage, au vu de rôle des pentes des talwegs sur le ruissellement superficiel, et sur la vitesse d'écoulement lors des crues. Ils ont été tracés pour un pas de distance de 5 Km dans le sens de l'écoulement.

Le profil en long de l'Oued Zenati présente une seule rupture située au contact de deux zones respectivement les glacis et la vallée alluvial tout comme l'Oued Bordj Sabath. L'Oued Bouhamdane présente une rupture à l'altitude de 500 m, et quelques ruptures de pente légères, qui correspondent à des seuils rocheux particulièrement résistants.

Les profils longitudinaux de ces trois cours d'eaux se caractérisent par des pentes assez faibles.

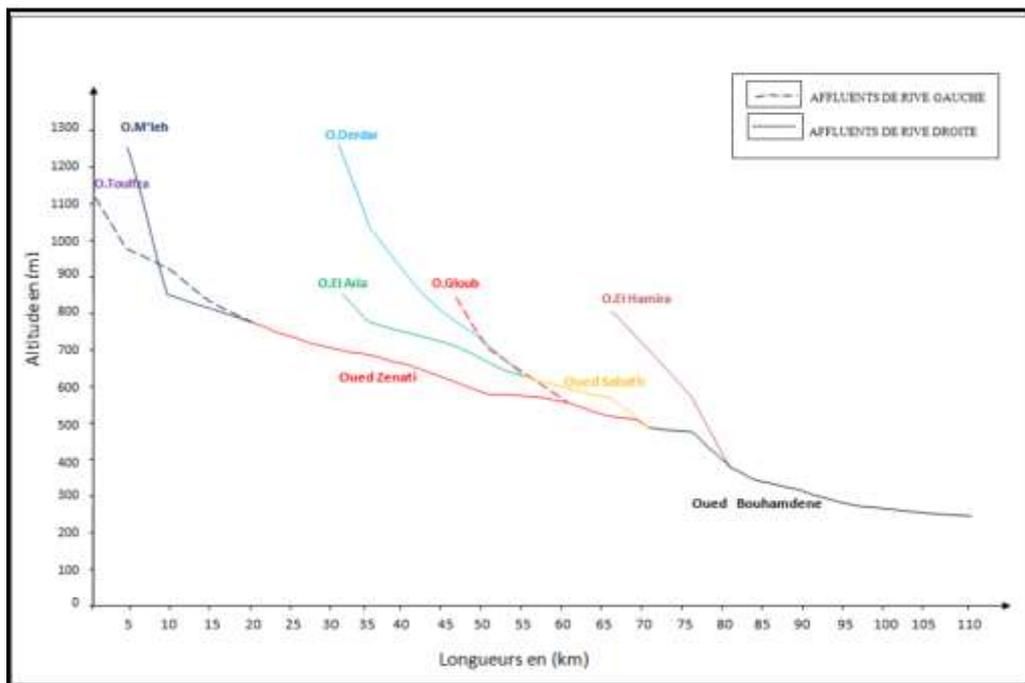


Figure.I.5: Profil en long de l’Oued Bouhamdane et de ses principaux affluents (N. Mekaoussi, 2014)

I.4.2.Paramètres morphométriques

I.4.2.1.Le périmètre

Les périmètres des sous bassins de l’Oued Bouhamdane curvimètres figurent dans le tableau ci-dessous. Le périmètre de notre bassin d’étude est de l'ordre de $P = 170$ Km.

Tableau I.3: Périmètre du bassin versant de l’Oued Bouhamdane

Sous Bassins versants	Le périmètre (P en km)
1 : Oued Bouhamdane élémentaire	68.55
2 : Oued Zenati	110.5
3 : Oued Bordj Sabath	82.85
4 :L'ensemble de l’Oued Bouhamdane	170

Source Z. Mansouri 2009

I.4.2.2.La superficie

La superficie d'un bassin versant est la plus importante des caractéristiques.

La superficie planimétrie de notre bassin d’étude est de l'ordre de 1105 km^2 à Medjez Ammar II.

Tableau I.4: Superficies planimétries du bassin versant de l’Oued Bouhamdane

Sous Bassins versants	La superficie (S en km^2)
1 : Oued Bouhamdane élémentaire	216.76
2 : Oued Zenati	592.15
3 : Oued Bordj Sabath	296.09
4 :L'ensemble de l’Oued Bouhamdane	1105

Source Z. Mansouri 2009

I.4.2.3.La forme

La forme d'un bassin versant influence les débits écoulés sur le bassin versant. Pour cela on utilise l'indice de compacité de Gravelius (1914) K_c , défini par la formule suivante :

$$K_c = 0.28 P / S^{1/2} \dots\dots\dots(1)$$

K_c : Indice de compacité de Gravelius **P** : Périmètre du bassin km
S: Surface du bassin versant km²

Tableau I.5: L'indice de compacité de Gravelius du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Sous Bassins versants	L'indice de compacité K_c
1 : Oued Bouhamdane élémentaire	1.30
2 : Oued Zenati	1.27
3 : Oued Bordj Sabath	1.35
4 :L'ensemble de l'Oued Bouhamdane	1.43

Source Z. Mansouri 2009

Pour la totalité des sous bassins, l'indice de compacité K_c est égal à 1,43. On peut dire que le bassin versant de l'Oued Bouhamdane se caractérise par une forme allongée.

I.4.2.4.La notion de rectangle équivalent

La notion de rectangle équivalent introduite par M. Roche (1962) correspond à une transformation purement géométrique dans laquelle on assimile le bassin à un rectangle ayant le même périmètre et la même superficie, de cette façon les courbes des niveaux deviennent parallèles au petit côté du rectangle, et l'exutoire un petit côté du rectangle et comme ça on pourra comprendre le comportement hydrologique du bassin alors :

$$L = K_c * \sqrt{S} / 1.12 [1 + \sqrt{1 - (1.12/K_c)^2}] \dots\dots\dots (2)$$

$$I = K_c * \sqrt{S} / 1.12 [1 - \sqrt{1 - (1.12/K_c)^2}] \dots\dots\dots (3)$$

L: Longueur du rectangle équivalent Km **I**: Largeur du rectangle équivalent Km
 K_c : Indice de compacité de Gravelius **S**: Surface du bassin versant Km²

Tableau I.6: Paramètres des longueurs et largeurs du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Sous Bassins versants	L (km)	I (km)
1 : Oued Bouhamdane élémentaire	25.80	22.25
2 : Oued Zenati	40.56	23.98
3 : Oued Bordj Sabath	32.32	18.50
4 :L'ensemble de l'Oued Bouhamdane	50.57	32.84

Source Z. Mansouri 2009

I.5. Aperçu hydrographique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

I.5.1. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du bassin versant (exutoire).

L'Oued Bouhamdane résulte de la jonction de deux cours d'eau importants : l'Oued Bordj Sabath et l'Oued Zenati, drainant respectivement une superficie de 296.09 Km² et de 592.15 Km² et dont la confluence donne naissance à l'Oued Bouhamdane qui reçoit dans sa rive droite Oued El Hamira. L'Oued Zenati naît de la confluence de l'Oued El M'leh qui prend sa source à Djebel Oum Setttas (1325 m), et Chaâbet Toulfsa qui prend sa source à Kef Deb (1142 m) ; L'Oued Zenati 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 aussi de la jonction de deux Oueds : El Aria qui prend sa source à Djebel El Aria (1237 m), Oued El Aria reçoit dans sa rive droite : Oued Tarfâ et dans sa rive gauche ; Oued Haoudja et Chaâbet Tamar. Et Oued Dardar qui prend naissance à partir de la confluence de l'Oued El Megroune qui prend sa source à M'zaret Sidi Chagraf (1289 m) et Chaâbet Sekek qui prend sa source à El Hadjar Essaфра (1174 m).

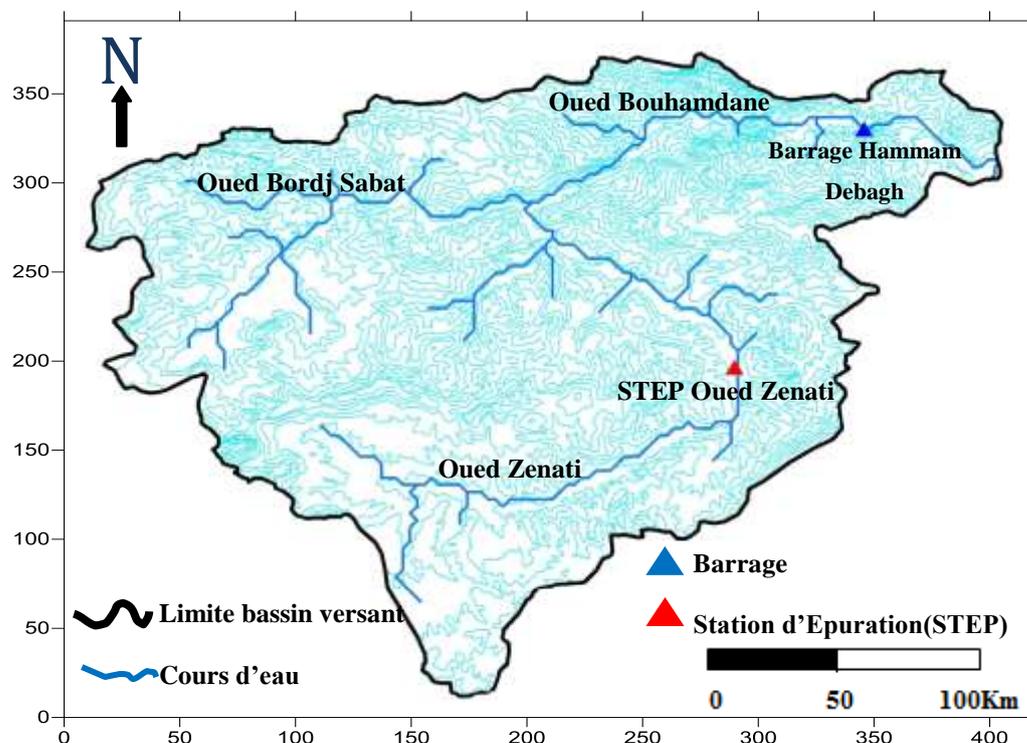


Figure.I.6: Carte de réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane
(N. ZEGHABA, 2018)

I.5.2. Longueurs des talwegs principaux

Les longueurs des talwegs principaux LP (km) du bassin versant de l'Oued Bouhamdane figurent dans le Tableau ci- dessous.

Tableau I.7: Longueur des Talwegs principaux LP (km) de l'Oued Bouhamdane

Sous Bassins versants	Longueur LP (km)
1 : Oued Bouhamdane élémentaire	40
2 : Oued Zenati	50
3 : Oued Bordj Sabath	15
4 : L'ensemble de l'Oued Bouhamdane	90

Source Z. Mansouri 2009

I.6. Aperçu géomorphologique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Les variations d'altitudes à l'intérieur d'un bassin versant ainsi que son altitude moyenne sont des données essentielles à l'étude de la température, de la précipitation et de la morphologie du bassin.

I.6.1. Classe des reliefs

Le but recherché ici, est la détermination de la classe de relief, la hauteur moyenne, la médiane et le pourcentage des aires partielles entre les différentes courbes des niveaux.

Le bassin versant de l'Oued Bouhamdane atteint 1289 m à son point culminant au sommet de M'zaret Sidi Chagref au Nord -Ouest, tandis que le point le plus bas correspond à la station du barrage Hammam Debagh située à l'altitude 285 m, donc une dénivelée totale de 1004 m. Les altitudes du bassin versant ont été divisées en 5 tranches:

- **1er Tranche:** 285-500 m: couvrant une superficie de 65.3 km² soit 5.9 % de la surface totale du bassin versant, cette tranche est localisée dans le sous bassin de l'Oued Bouhamdane.
- **2ème Tranche:** 500-700 m : occupant une superficie de 213.09 km² soit 19.28 % de la surface totale. Cette tranche est fréquente dans l'ensemble du bassin,
- **3ème Tranche:** 700-900 m : C'est la tranche dominante, s'étend sur plus de 50 % de sa surface, elle se trouve surtout dans le bassin de l'Oued Zenati, correspondent à la moyenne colline.
- **4ème Tranche:** 900-1100 m : Cette tranche se distribué d'une façon partielle dans le bassin, couvrant une superficie de 246.09 km²
- **5ème Tranche:** 1100-1289 m: C'est la tranche la plus haute altitude qui est de l'ordre de 1289 m, ne représente que 1.55% de la surface totale.

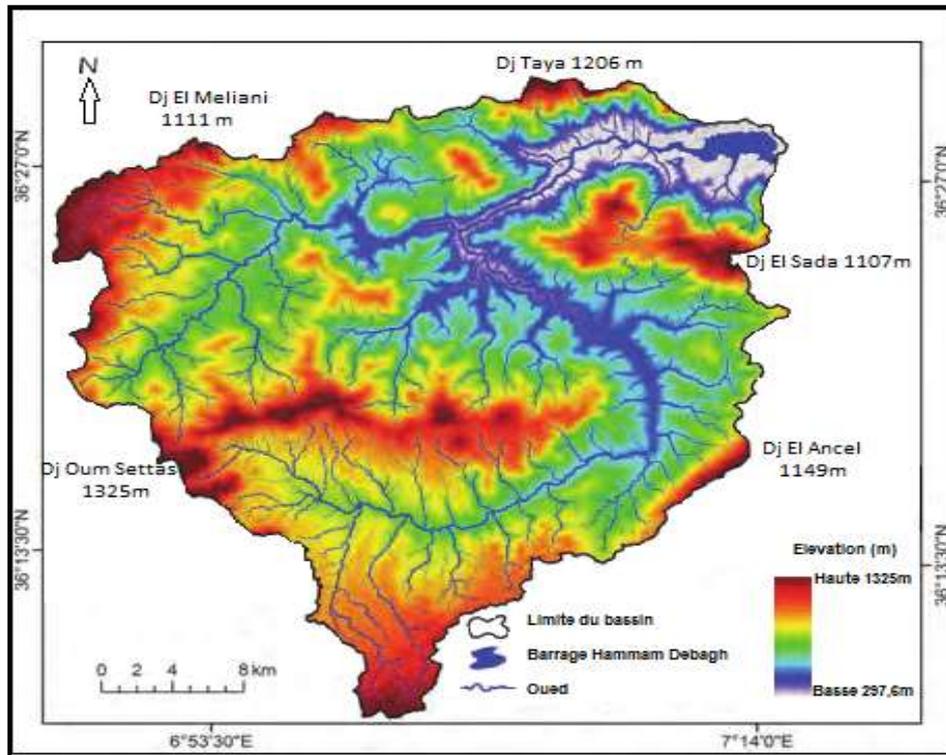


Figure.I.7: Carte hypsométrique du bassin versant de l’Oued Bouhamdane (H.Bouguera et al, 2017)

I.6.2.Les altitudes caractéristiques

I.6.2.1.L'altitude moyenne

La valeur de l’altitude moyenne du bassin et des sous bassins peut être calculée par la formule suivant :

$$H_{moy} = \Sigma H_i S_i / S_t \dots \dots \dots (4)$$

H_{moy}: Altitude moyenne (m)

H_i: Cote moyenne (m)

S_i: Surface partielle, comprise entre deux courbes de niveau (Km²)

S_t: Surface du bassin

Tableau I.8: Les altitudes moyennes du bassin versant de l’Oued Bouhamdane

Sous Bassins versants	Surface (km ²)	Altitude moyenne(m)
1 : Oued Bouhamdane élémentaire	216.76	643.06
2 : Oued Zenati	592.15	812.8
3 : Oued Bordj Sabath	296.09	871.34
4 :L'ensemble de l’Oued Bouhamdane	1105	787.5

Source Z. Mansouri 2009

I.6.2.2.L'altitude médiane

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

Tableau I.9: Les altitudes médianes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Sous Bassins versants	Surface (km ²)	Altitude moyenne(m)
1 : Oued Bouhamdane élémentaire	216.76	635
2 : Oued Zenati	592.15	820
3 : Oued Bordj Sabath	296.09	830
4 :L'ensemble de l'Oued Bouhamdane	1105	800

Source Z. Mansouri 2009

Pour l'ensemble de bassin, l'altitude médiane est supérieure à l'altitude moyenne, nous renseigne sur l'abondance et la dominance des basses altitudes sur le quasi totalité du bassin versant.

I.7.Aperçu socio-économique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane**I.7.1.Population**

Le bassin versant de l'Oued 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 l'Ouled Hababa), d'après les résultats du dernier recensement de 2008, le bassin versant de l'Oued Bouhamdane répartis spatialement en trois zones principales de peuplement :

- La population agglomérée correspond au chef lieu des communes, qui abrite 94980 habitants, ce nombre constitue 70.71% de la population totale du bassin versant réparti en 17418 ménages.
- Les agglomérations secondaires : les agglomérations secondaires comptaient 20541 habitants, soit 15.29 % de la population totale du bassin versant répartis en 3062 ménages.
- La population épars elle englobe 18793 habitants, soit 13.99 % de la population totale du bassin versant réparti en 2439 ménages. Comme le montre le Tableau suivant :

Tableau I.10: Répartition spatiale de la population communale dans le bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Commune	Population 2008	Logement	Ménage
Oued Zenati	32867	7207	6514
Bordj Sabath	10199	1980	1786
Ain Regada	7776	1615	1446
Ain Hassainia	7104	1459	1387
Medjez Ammar	7681	1467	1479
Ras El Agba	2717	638	544
Hammam Debagh	16391	3505	3019
Bouhamdane	4411	912	788
Ben Badis	12330	2349	1872
Ain Abid	23094	4686	4185
Ouled Hababa	9744	2134	1810

Source Rapport barrage Hammam Debagh 2016

I.7.2. Alimentation en eau potable (AEP)

Le barrage Hammam Debagh alimente en AEP les agglomérations suivantes : Ain Hassainia, Hammam Debagh, Medjez Ammar, Ben Djerrah et Guelma.

La population de ces agglomérations est estimée à 134314 habitants selon le recensement de l'année 2008, cette population répartie comme suit :

Tableau I.11 : Répartition des besoins en AEP selon la population du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

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

Source Rapport barrage Hammam Debagh 2016

I.7.3. Irrigation

Pour l'irrigation le barrage Hammam Debagh alimente le grand périmètre d'irrigation (GPI) Guelma-Boucheouf. Le Tableau I.12 montre la division du périmètre d'irrigation au niveau les deux plaines (Guelma et Boucheouf) :

Tableau.I.12 : Division du périmètre d'irrigation du barrage Hamam Debagh

Secteur	Superficie (ha)	Superficie irrigable (ha)	Besoins en eau (hm ³ /an)	Mode d'irrigation
El Charef	605	565	3.4	Aspersion
El Fedjoudj	2355	2190	13	Aspersion
Guelma centre	3500	3255	19.4	Aspersion
Boumahra Ahmed	2600	2420	14.4	Aspersion
Bouchegouf	880	820	4.9	Aspersion
Total	9940	9250	55.1	/

Source Rapport barrage Hamam Debagh 2016

I.7.4. Les activités agricoles

La zone d'étude est classée comme un secteur agricole ; elle est caractérisée par la culture à vaste échelle des différents produits agricoles (Tableau I.13). L'agriculture céréalo-cultures, bien développée au niveau de la haute plaine de l'Oued Zenati, constituent la principale ressource de la plupart des populations.

Tableau.I.13: Les différents produits agricoles du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Produits agricoles	Superficie en hectare (ha)
légumes	323
Cultures industrielles	1711
Fourrages	03
arbres fruitiers	353
Céréales	11
Total	2401

Source Rapport barrage Hamam Debagh 2016

I.7.5. Les activités industrielles

Elle est presque insignifiante, elle est représentée par : la menuiserie du Bois, des unités de petite industrie spécialisées dans l'agro- alimentaire (huileries production et limonaderies), des entreprises privées des travaux de construction et par une société briqueterie (commune Bordj Sabath).

I.7.6. Les sources de pollution

I.7.6.1. Pollution domestique

Cette dernière constitue une source de pollution importante, en effet toutes les agglomérations situées le long du cours d'eau déversent leurs eaux usées à l'Oued Seybouse ou ses affluents sans traitement préalable sauf pour la ville de Guelma où on a une station d'épuration.

Dans la zone d'étude, les eaux usées des agglomérations déversent dans les principaux cours d'eau. En effet Oued Seybouse, Oued Bouhamdane et Oued Zenati. Dans le Tableau.I.14, les valeurs des différents paramètres des rejets d'eau usée témoignent du degré de pollution.

Tableau.I.14: Actualisation de l'enquête d'assainissement dans le bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Agglomération	Type	Volume rejeté (m ³ /j)	Nombre des points de rejets	Lieu de rejets
Oued Zenati	URB	3834	8	Oued Zenati
Hammam Debagh	URB	1560	5	Oued Bouhamdane
Ain Reggada	SEM URB	900	4	Oued Zenati
Bouhamdane	SEM URB	900	5	Oued Bouhamdane
Medjez Amar	SEM URB	1350	4	Oued Seybouse
Ras El Agba	SEM URB	500	2	Chaâbet
Bordj Sabath	SEM URB	1217	4	Oued Zenati

Source Z. Mansouri 2009

I.7.6.2. Pollution industrielle

La deuxième source de pollution des eaux de surface est les eaux résiduaires industrielles. Ces rejets sont spécifiques de l'industrie concernée et donc très variables d'une activité industrielle à l'autre.

Les stations de lavage et de carburants au nombre de quinze (15) concentrées sur l'axe Hammam Debagh- Bouhamdane et les unités industrielles (briqueterie), déversent dans les affluents de l'Oued Bouhamdane.

Tableau.I.15: Les installations classées de l'Oued Bouhamdane et les milieux récepteurs de leurs rejets

Nature de l'activité	Implantation	Nombre	Milieu récepteur	Caractéristique de rejet
Société briqueterie	Bordj Sabath	1	Oued Bordj Sabath	briques rouges
Station de lavage et graissage	Hammam Debagh/ Bouhamdane	15	Oued Bouhamdane	Graisse et Plomb

Source : ABHCSM Constantine 2009

I.7.6.3. Pollution d'origine agricole

Les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropre à la consommation humaine et par fois animale les eaux superficielles et souterraines.

Tableau.I.16: Les cultures et leurs points de rejets dans l'Oued Bouhamdane

Commune	Culture	Point de rejet
Oued Zenati	Céréalière, Maraîchère	Oued Zenati
Ras EL Agba	Céréalière, Arboriculture et Maraîchère	Chaâba

Source : ABHCSM Constantine 2009

II. CONTEXTE GEOLOGIQUE DU BARRAGE**HAMMAM DEBAGH**

II.1. Cadre géologique régionale

Le Djebel Debagh, fait partie des massifs du segment nord oriental de la série néritique du constantinois. Dans sa synthèse stratigraphique du domaine néritique constantinois, J.M. Vila (1980) subdivise ce complexe en deux sous groupes partiellement superposés :

- La séquence néritique comportant une série de formations condensées à dominance carbonatée et silico-clastiques du Jurassique et Trias;
- Les formations allochtones à dominance argilo-marneuse et quartzique.

Le contact entre ces deux ensembles est marqué par des failles de direction E-W à NW-SE.

II.1.1. Eléments de stratigraphie de la série néritique constantinoise

La colonne stratigraphique du segment nord oriental de la série néritique de la constantinoise comporte :

II.1.1.1. Les formations autochtones à faciès néritique**II.1.1.1.1. Le Trias**

Se rencontre à la station de Nador ainsi qu'à l'Est de Djebel Debagh (M. Durand Delga, 1969 J.M. Vila, 1980). Cette série débute par des couches grésopélitiques rouges légèrement métamorphiques du Trias inférieur et moyen, des niveaux argilo-gypseux et des calcaires.

II.1.1.1.2. Le Jurassique

Affleure au Djebel Debagh et au Kef Hahouner (J.F. Raoult, 1974), il est représenté par des formations dolomitiques noires et azoïques dont l'épaisseur varie de 20 à 100 m.

II.1.1.1.3. Le Crétacé

Occupe la plus grande partie des affleurements de la région, L'épaisseur totale de cet étage atteint 1000 m en moyenne (J. F. Raoult et E. Fourcade, 1973). Le passage Jurassique-Crétacé défini dans la partie orientale de Djebel Debagh, est souligné par un repère à Coprolites (*Fraveina salvenis* et *Fraveina prusensis*) à la base des alternances calcaro-dolomitiques du Néocomien (J. M. Vila, 1980).

a. Le Néocomien : correspond à une alternance de calcaires massifs et de dolomies noires. Il a été identifié par J.F. Raoult (1974) au Kef Hahouner où il a livré des charophytes et des Textularidés. Le Néocomien est très épais, il atteint 100 m à Djebel Debagh et 500 m au Kef Hahouner.

b. Le Barrémien : est constitué par des dolomies de base surmontées par des calcaires massifs identifiés au Kef Hahouner (J.F. Raoult, 1974), au Djebel Grar et Djebel Taya (J.M. Vila, 1980) grâce aux associations à *Orbitolinopsis capnensis*, *Néotrocholina fibrugensis*, des *Cunéolines* et *Palorbitolina Lenticularis*. Il est très bien développé, sa puissance peut atteindre les 500 m. Au Djebel Debagh, le Barrémien fait corps avec le Néocomien à l'Est, tandis qu'à l'Ouest, il fait à peu près 200 m d'épaisseur et sa limite inférieure est marquée par l'apparition de *Néotrocholines* et *Dasycladacées* (J. M. Vila, 1980).

c. L'Aptien : comprend à sa base des calcaires micritiques, puis massifs qui ont livré des *Orbitolines* (*Pracorbitolina*), un niveau à *Charophytes*, des *Salpingoporelles* et des *Cunéolines* (*Cunéolina scarcellai*, *Debarina hahounerensis* et *Cunéolina glaurentiscamposauri*) des *Milioles* ainsi que des *Ovalvéolines* (*Ovalveolina reicheli*). Ces calcaires affleurent largement au Djebel Debagh, ils peuvent atteindre 100 m d'épaisseur (J. M. Vila, 1980).

d. L'Albien : l'Albien supérieur a été défini au Djebel Grar, Kef Hahouner (J. F. Raoult, 1974) et Djebel Taya où il fait corps avec le *Vraconien*. Son épaisseur varie de 100 à 200 m et correspond à des calcaires à silex et des biosparites à *Agardiellopsis crétacéa* et *Hedbergella washitensis*.

e. Le Vraconien-Cénomaniens inférieur : affleure à l'Est de Djebel Debagh, au Grar et à El Kalaa (J. M. Vila, 1980). C'est une formation Calcaire qui a livré des associations à *Orbitolines* (*Rotalipora* Sp., *Orbitolina conica*) et des *Mélobbésiées* (*Neoiraqia* Sp.) ; son épaisseur est d'environ 100 m. Le Cénomaniens supérieur est représenté par des calcaires à *Rudistes* (*Caprina schiosinsis*) et à grandes *Cunéolines* et n'affleure qu'au Djebel Debagh oriental (J. M. Vila, 1980), son épaisseur dépasse 100 m. Ailleurs, il est absent ou fait corps avec le *Sénonien Inférieur*.

f. Le Turonien : Cette formation n'affleure qu'au Kef Hahouner, elle est représenté par des formations calcaires disposées en bancs minces à débris d'Oursins, d'Inocérames et des *Mélobésiées* (J.F. Raoult, 1974).

g. Le Sénonien : les formations sénoniennes correspondent à un *Campanien* calcaire à *Globotruncana sigali*, *Globotruncana laparenti* et *Rotalia* sp. Ces formations reposent parfois sur une surface de ravinement et contiennent des *Orbitolines* remaniées du Cénomaniens franc (J. M. Vila, 1980). Le *Campanien* supérieur, d'une épaisseur de 400 m à *Orbitoïdes média*, *Sidérolites vidali*, *Rotalia* sp, affleurant au Grar et au Debagh et contient des lentilles conglomératiques et microconglomératiques (J. M. Vila, 1980).

II.1.1.1.4. Le Paléocène

Identifié par J.C. Lahondère et G. Magné (1983), il est représenté par des marnes noires à passées brunâtres à *Globigerina daubergensis*, *Globigerina triloculinoïdes* et *Globorotalia pseudobulloïdes*, rencontrés au dessus des niveaux marneux du Maestrichtien inférieur et des biomicrites du Maestrichtien supérieur au massif de Mechtat Bou Zitoune et à Kalaa Bou Diar. L'épaisseur de cette formation peut atteindre 20 à 25 m.

II.1.1.1.5. L'Eocène

Il est représenté par des calcaires noirs de l'Eocène inférieur (J.C. Lahondère et G. Magné, 1983). Ces formations reposent sur les marnes paléocènes. Les marnes et pélites à concrétions calcaires jaunes de l'Eocène moyen feraient suite stratigraphiquement à la formation inférieure mais dans certains cas ils pourraient reposer directement par un contact anormal sur le paléocène. Il s'agit ici d'un terme ne dépassant pas 25 m d'épaisseur.

II.1.1.2. Les unités allochtones

De bas en haut, J.M. Vila et J. Magné (1969) décrivent :

II.1.1.2.1. La nappe numidienne

Qui forme par exemple les hauteurs de Djebel Bou Aslouge. Sa structure est simple, elle débute par une série argileuse d'âge Aquitaniens qui est surmontée par un ensemble de bancs gréseux à Globigérines, attribués au Stampien supérieur et qui sont tronqués à leur base.

II.1.1.2.2. La nappe du flysch tithonique – crétacé inférieur

Affleure au Nord et à l'Est des massifs septentrionaux (M. Durand Delga et J. Lambert, 1956 ; J.M. Vila, 1968 ; J.F. Raoult, 1969 et 1974 ; J.P. Bouillin, 1977 ; J.P. Gelard, 1979) et comprend :

- Un Crétacé inférieur à faciès Guerouche à gros bancs de grès verdâtre alternant avec des pélites grises ou brunâtres ;
- Un Albien à repère quartzique vert ;
- Un Cénomaniens microbréchiq ue à bandes silicifiées blanches ;
- Un Sénonien à calcaire microbréchiq ue et conglomérats grossiers se poursuivant jusqu'à la fin du Lutétien et incluant un Paléocène riche en calcaire sableux.

II.1.1.2.3. La nappe du flysch Sénonien à microbrèches

Correspond à :

- Des micrites et des calcaires fins à *Nannoconus* du Crétacé inférieur ;
- Un flysch péli to-quartzique de l'albo-aptien ;
- Des micrites de l'Albien supérieur-Vraconien ;

- Des microbrèches avec pélites et calcaire fin du Cénomaniens ;
- Un repère à phanites blanc ou noir du Cénomaniens supérieur-Turonien ;
- Un flysch argilo-marneux à plaquette microbréchique, des calcaires sableux et des marnes rouges du Sénonien.

II.1.1.2.4.L'allochtone tellien

Seule la nappe ultra-tellienne est en relation avec les massifs néritiques nord orientaux, elle regroupe toutes les formations marneuses et marno-calcaires avec d'une part le Barrémo-Aptien au Nord- Est, et d'autre par la série marneuse éocène et crétacée qui enveloppe à l'Est les calcaires massifs de Djebel Debagh. La série crétacé-éocène est renversée, J.M.Vila et G. Magné (1969) définissent, de haut en bas, la succession suivante :

- Les calcaires du Barrémo-Aptien affleurant exclusivement au Nord ;
- Les calcaires à Globigérines du Campanien inférieur ;
- Des marnes jaunes ou grises du Maestrichtien-Danien ;
- Les marnes noires à Globigérines et Mélobbésiées du Paléocène ;
- Le Lutétien-Yprésien à Globorotalia rex, et Globorotalia aff, à la base des calcaires marneux à silex noirs.

II.1.1.3.Les formations post- nappes

Elles sont représentées par une épaisse série de grès jaunâtre, montrant de nombreuses intercalations argilo-marneuses grises ou jaunes, parfois gypseuses attribuée au Mio-Pliocène (J.M. Vila, 1980). Les blocs de grès à patines violettes du Quaternaire recouvrent les épandages structurés à partir d'une zone haute allant du Nord-Est de Guelma à Constantine.

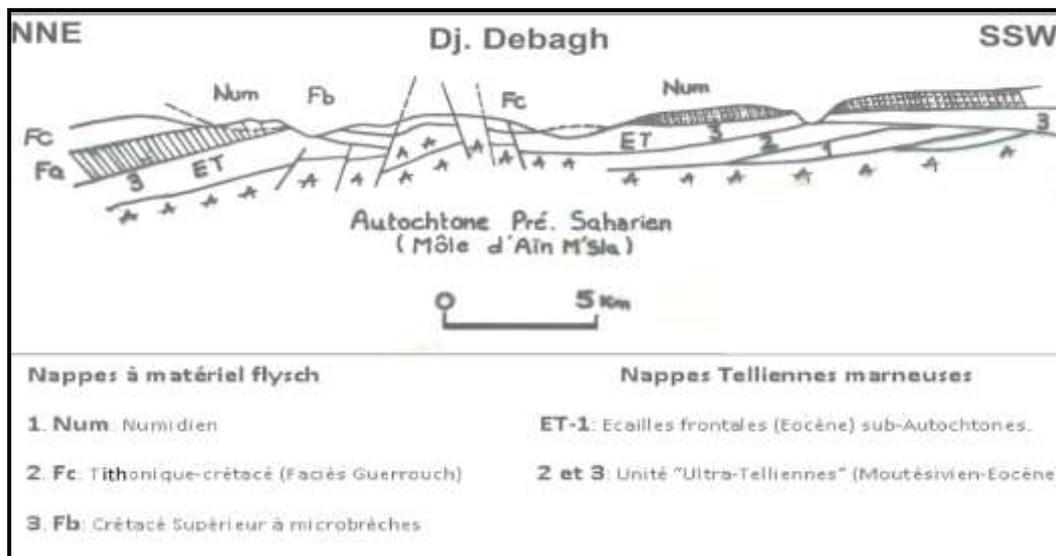


Figure I.8: Schémas de superposition des nappes dans la région de Djebel Debagh (J.M.Vila, 1969)

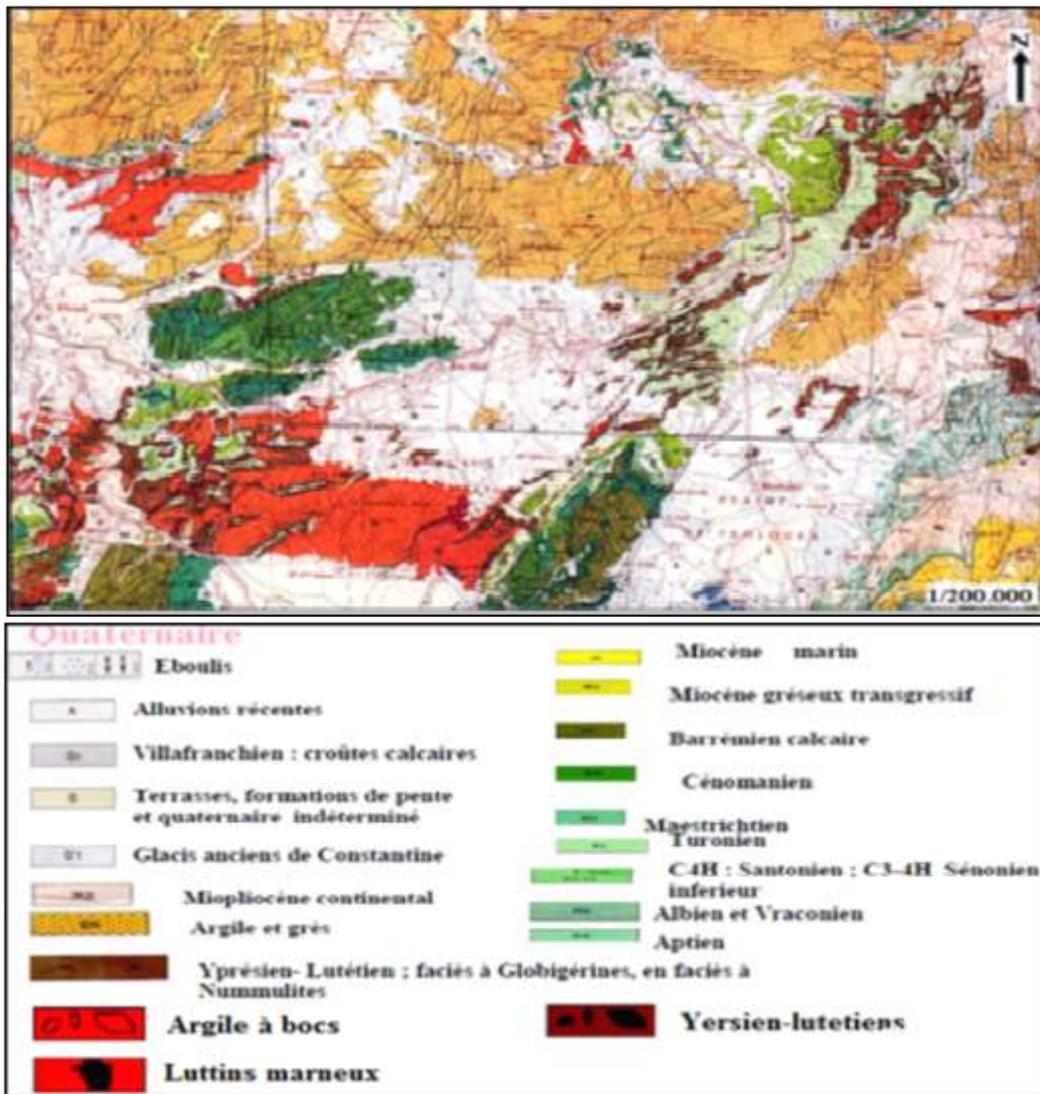


Figure I.9: Extrait de la carte géologique régionale (J.M Vila 1980)

II.1.2. Description lithologique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (Figure.I.10)

La lithologie dominante du bassin versant de l'Oued Bouhamdane est composée de formations argilo-gréseuses du Numidien. Ces formations affleurent au secteur de l'Oued Zenati, à Djebel Ouahch, et au Sud-ouest de Djebel Taya. Les marnes noires d'âge Paléocène moyen à supérieur, surmontées par une barre de calcaire noir de l'Eocène inférieur, constituent la formation la plus épaisse du bassin, elles affleurent largement alentour de l'Oued Zenati.

Les séries lithologiques de la nappe néritique Constantinoise sont représentées par les Djebels d'Oum Settas et Taya (sur plus de 10 kms d'Ouest en Est et 80 kms du Nord au Sud, la tectonique a dispersé des affleurements des séries néritiques constantinoises en massifs isolés de tailles variables (Vila, 1980). Il s'agit de : calcaires dolomitiques du Barrémien, calcaires

massifs graveleux de l’Aptien-Albien, calcaires marneux encroûtés du Vraconien, calcaires massifs et rubanés du Cénomaniens et de calcaires à micro-brèche du Sénonien.

Les formations Mio-pliocène continentales sont discordantes sur toutes les séries antérieures, et sont constituées de conglomérats et d’argile sableuse rouge. Elles sont présentes dans toutes la région, mais ne prennent une grande extension que dans la partie nord-ouest du bassin et plus particulièrement dans les forêts de Béni M’Djaled et Soudrata, sur la rive gauche de l’Oued Bouhamdane près de barrage Hammam Debagh, ainsi qu’à Kef Hadjar près de Ain Abid.

Les terrains d’âge Sénonien supérieur, avec deux barres calcaires d’âge Campanien et Maastrichtien, sont développés au nord-ouest de l’Oued Zenati sur une bande large de 5 km, qui atteint Ras El Agba. Enfin, les dépôts Quaternaires sont constitués essentiellement d’alluvions des fonds des vallées étagées en différents niveaux de terrasses.

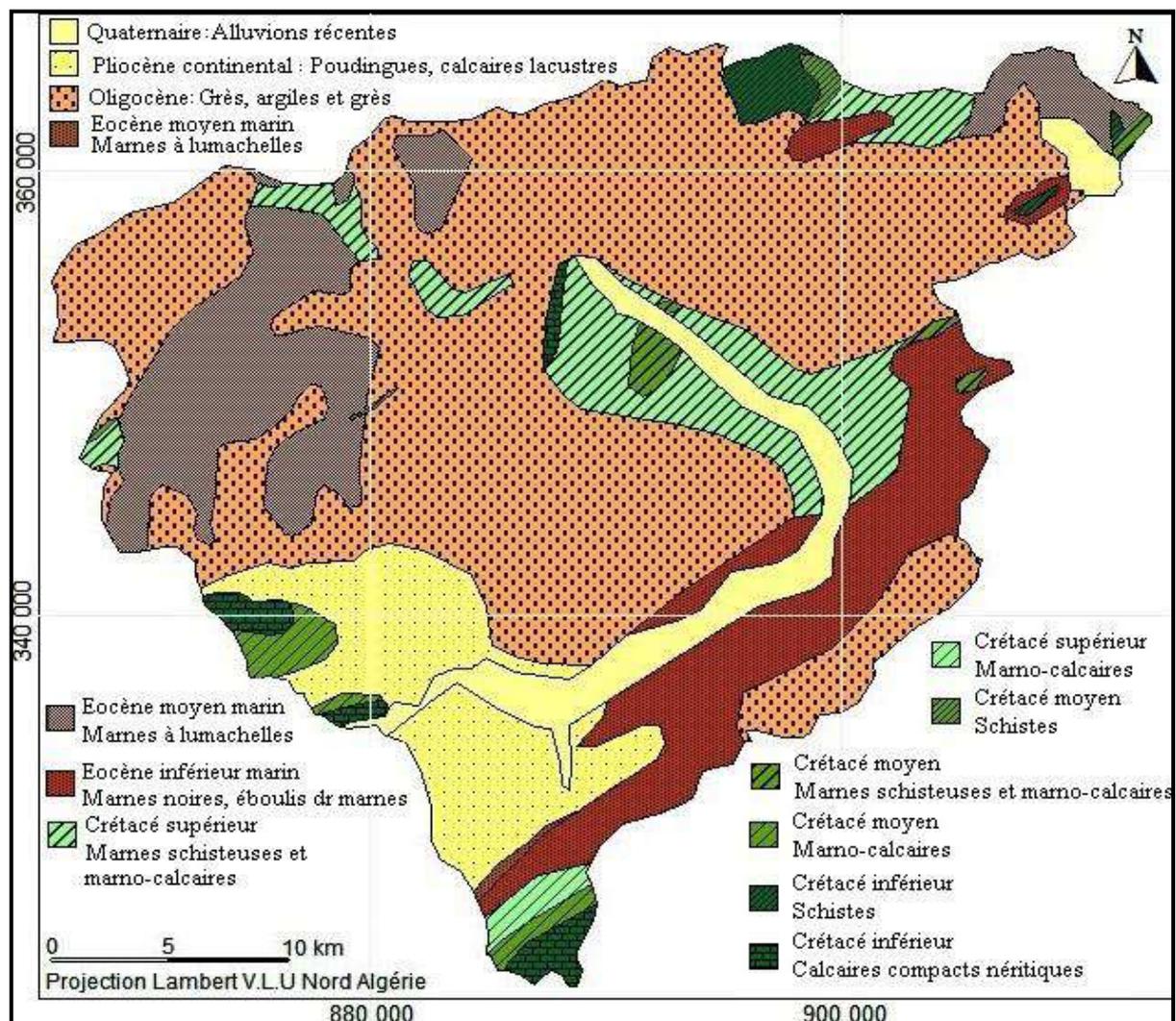


Figure.I.10 : Carte lithologique du bassin versant de l’Oued Bouhamdane (A. Guidoum, 2017)

II.2. Cadre géologique locale**II.2.1. Aperçu d'ensemble**

La région de Hammam Debagh appartient au Tell-Nappe épitellienne d'après (M Kieken, livre à la mémoire de P. Fallot, tome I-SGF).

Ces nappes résultent d'une poussée vers le Sud de la chaîne du Djebel Debar, du Grar et du Kef-Hahouner où affleure un substratum formé de calcaires crétacés. C'est sur celui-ci qu'ont été charriées les nappes dites telliennes, constituées de marnes noires ou grises intercalées de bancs calcaires appartenant au Crétacé et au Tertiaire. Une autre nappe, dite du Flysch-crétacé, recouvre indifféremment les nappes telliennes ou le crétacé "autochtone". Elle est composée de schistes noirs et de puissants bancs de grés, localement de poudingues.

La structure régionale a une direction Est-Ouest, et présente des fractures aussi bien parallèles à l'allure générale que perpendiculaires à celle-ci. Plusieurs de ces fractures sont le siège d'une circulaire géothermal.

Les circulations les plus importantes affleurent à Hammam Debagh, elles semblent en relation avec les circulations d'eau profonde suivant des failles localement minéralisées. Il s'agit d'eaux sulfatées - calciques et chlorées -sodiques, vraisemblablement sans relation directe avec les eaux de surface. Le barrage Hammam Debagh est implanté dans un resserrement de la vallée de l'Oued Bouhamdane qui correspond à un lambeau de la nappe du flysch crétacé, alors que la cuvette se développe dans sa quasi-totalité dans les marnes telliennes et le Crétacé autochtone. Au droit du barrage, le cours de l'Oued Bouhamdane suit approximativement la charnière faillée d'un pli en chaise très accusé. D'importantes terrasses réparties en plusieurs niveaux recouvrent le substratum, aussi bien en amont qu'en aval du barrage.

II.2.2. Lithostratigraphie du barrage Hammam Debagh

Les principales entités stratigraphiques de la région sont :

II.2.2.1. Le Crétacé Autochtone

Les affleurements se rencontrent 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,
- et enfin des calcaires compacts à orbitolines (Aptien).

II.2.2.2.La série des Nappes Telliennes

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

II.2.2.3.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.2.2.4.Dépôts de grès psammitiques rouges et verts

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

II.2.2.5.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 gravies sableuses qui reposent sous des silts argileux. Ces terrains peuvent contenir des argiles surtout vers leur base, par remontées des produits d'altération des marnes.

II.2.3.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 produiront le long des berges et particulièrement en rive gauche à hauteur du dernier méandre.

II.2.4. Description géologique du barrage Hammam Debagh

La connaissance de la géologie du barrage s'est affinée au cours du temps, pour simplifier il est possible de caractériser trois périodes : la période de l'avant-projet ; les informations complémentaires apportées par les reconnaissances en début de chantier et enfin les observations au cours des travaux.

II.2.4.1. Etudes d'avant-projet

Les études géologiques du barrage à l'avant-projet décrivent assez précisément la structure du substratum, comme une alternance de grès et schistes qui, en rive gauche, est monoclinale, plonge vers la rive et légèrement vers l'amont. En rive droite, la structure dessine une voûte anticlinale plus complexe.

Les corrélations entre les principaux bancs de grès sont établies ainsi que la localisation des failles identifiées. La plus importante suit le lit de l'Oued en divergeant légèrement vers la droite à l'aval.

Les couvertures superficielles consistent en plusieurs niveaux de terrasses à l'amont et un lambeau à l'aval rive gauche.

L'accent est surtout mis sur la présence de nombreux glissements superficiels, essentiellement renseignée par une étude de géophysique, donne une image assez floue. On en retient :

- En rive droite, deux glissements importants (jusqu'à 7 m d'épaisseur) sur les deux principaux éperons entre le niveau de la rivière et la côte 350 ; un autre plus modeste vers la côte 370 sur l'éperon principal, à l'endroit où la crête de la digue rejoint aujourd'hui la route de Taya.
- En rive gauche, trois groupes de glissements d'amont en aval ; le premier groupe est entre le lit de l'oued et la côte 345, juste en amont de la section minimale de la vallée; le second se trouve 300 m plus à l'aval, et le troisième encore 200 m plus à l'aval, sur une face apparemment très régulière du talus rive gauche.

Les caractéristiques mécaniques des formations meubles ou d'altération rocheuse sont déterminées à la suite d'essais de laboratoire. Les angles de frottement effectif varient de 21 à 24 degrés. Des valeurs pratiques pour les terrains en place ou glissés en sont dérivées ; elles s'étalent entre 15 et 35 degrés.

Les recommandations pratiques des géologues sur la base de cette interprétation consistent en :

- une implantation de la digue guidée par le souci d'éviter autant que possible les glissements sous les recharges en rive droite et de profiter de la croupe centrale relativement saine et peu décomprimée, bien qu'elle soit affectée par un gros glissement. En rive gauche les glissements ne peuvent être évités. Une réserve importante est faite sur l'existence possible d'une ancienne vallée latérale au sommet de la rive droite ; en fait, l'implantation retenue est tout simplement sur la coupe la plus étroite.
- on prévoit des fouilles sous le noyau de 5 à 8 m en général, avec des approfondissements jusqu'à 14 mètres, avec un critère de vitesse sismique à 1000 m/s ; les terrains glissés ne sont pas systématiquement retirés; précaution spéciales à l'ouverture des fouilles (curage, bétonnage, filtre inversé,...) ;
- un décapage sous la digue limité à 2 mètres systématiques, plus un approfondissement selon l'examen visuel ;
- un enlèvement des silts et sables fins des terrasses amont sous le batardeau pour éviter les effets de la liquéfaction;
- une stabilisation du pied de certains glissements par des remblais.

II.2.4.2. Apport des reconnaissances complémentaires

Les nouvelles reconnaissances et interprétations effectuées dans le cadre du début des travaux, faute d'avoir pu être obtenus plus tôt, ont conduit à reconsidérer sous un autre angle plusieurs des aspects importants du barrage. Les conclusions ci-dessous sont extraites d'après Coyne et Bellier (1980):

- substratum rocheux : on doit le considérer comme un ensemble à dominance de marnes schisteuses mécaniquement médiocres, et faisant illusion en raison d'une armature de grés durs suffisante pour maintenir un relief accusé, mais instable ; compte tenu de la complexité tectonique et de la rareté des affleurements, la structure de cette armature est incertaine et ne sera jamais parfaitement connue. Dans ces conditions, il est illusoire de vouloir tenir compte du double rôle mécanique et hydraulique qu'elle peut jouer dans la fondation pour choisir en conséquence l'implantation de la digue. La dominance des marnes schisteuses, l'importance de leur altération superficielle et la présence de surfaces de cisaillement argileuses ne permettent pas de considérer à coup sûr le toit du rocher comme un niveau de fondation présentant toute garantie de sécurité vis-à-vis d'un remblai à fortes pentes.

- altération superficielle : d'après ce que l'on a pu voir dans les puits et les galeries, le contact paraît assez bien établi entre les terrains meubles de couverture (éboulis et colluvions) et le substratum en place ; l'altération superficielle pénètre assez profondément dans les schistes qui se délitent en lamelles grises argileuses et se couvrent de colluvions argilo-silteuses jaunes. Sur les versants à faible pente (haut de la rive droite) la couverture semble peu épaisse ; les bancs de grés durs résistent bien à l'altération mais ils sont le plus souvent entraînés par le fauchage des niveaux schisteux qui les entourent ;
- implantation de la digue : la géométrie du substratum et des couvertures superficielles ne paraît plus déterminante ; en revanche, il paraît important dans un contexte de forte décompression des versants de ménager à l'aval des appuis une masse suffisante de terrain compacte capable de résister à la poussée hydrostatique. C'est une des raisons pour laquelle l'axe fut alors déplacé à l'amont de la section la plus étroite, jusqu'à la place qu'occupe aujourd'hui le barrage ;
- niveau de fondation : optimum à rechercher entre l'approfondissement des fouilles et l'adoucissement des talus ;
- entrée et sortie des galeries : si un emplacement jugé satisfaisant a pu être trouvé dans les bancs de grés dur à l'amont du barrage, il n'en était pas de même à la sortie, où l'emplacement prévu à l'avant-projet se trouvait affecté par les glissements les plus aval de la rive gauche, d'autant plus que ceux-ci se révélèrent plus étendus que prévu, à la lumière des nouvelles investigations par tranchées. Ceci conduisit à recommander un déplacement et donc un allongement des galeries. De plus, une grosse recharge aval en remblais dut être projetée pour stabiliser la base des versants.

II.2.4.3.Éléments acquis pendant les travaux

Le déroulement des travaux a précisé certains points; les principales conclusions sont les suivantes :

- d'une manière générale, les glissements se sont révélés assez superficiels, à l'exception du grand glissement à l'aval de la rive gauche près des sorties des galeries; dans l'emprise de la digue, on a rencontré au cours des excavations une seule trace de véritable surface de glissement, à la base de la rive gauche sous la trace de coulées d'éboulis plus au moins épais ;

- la structure monoclinale relativement simple de la rive gauche a été confirmée lors du percement des grandes galeries ;
- en ce qui concerne la rive droite au contraire, ni le creusement des galeries d'injection et de drainage, ni la réalisation des voiles correspondants, ne permettent de mettre en évidence une structure cohérente ;
- la totalité des versants se trouve dans un état très voisin de la limite de stabilité, si bien que la moindre modification de l'état naturel, comme par exemple la constitution d'une piste de chantier, a occasionné des mouvements ou des amorces de mouvements.

II.2.5. La sismicité du barrage Hammam Debagh

Le site du barrage est localisé dans une région qui est considérée en Algérie comme présentant une sismicité élevée au même titre que la région voisine de Constantine.

Le levé des séismes dans un rayon de 250 km autour du site, la localisation de leurs épicentres, ainsi que les données relatives à la tectonique, ont été pris en considération (Stucky-Tractionnel, 1977) et ont conduit à prendre une accélération horizontale de 0,17 comme accélération probable (ce qui correspond à un séisme de magnitude 6).

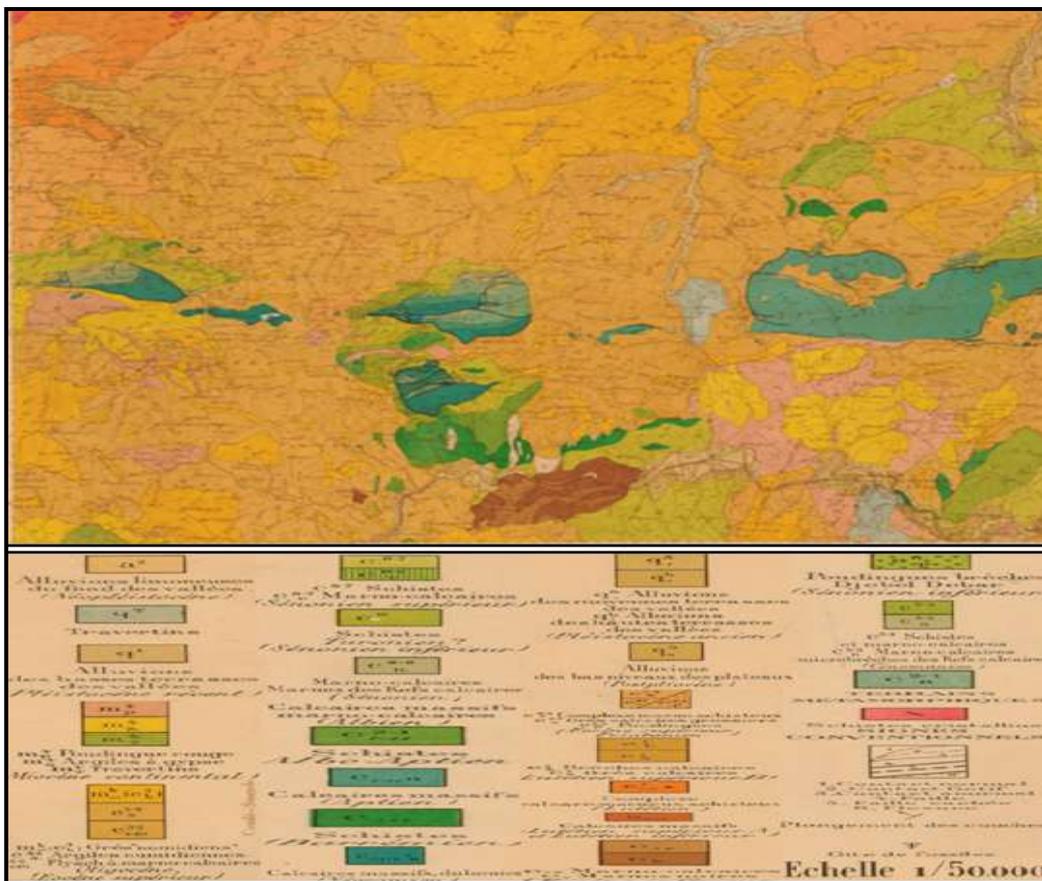


Figure I.11: Carte géologique locale du barrage Hammam Debagh (Source DRE Guelma)

II.3. Tectonique de la région de Guelma

La région de Guelma, située entre le littoral et les abords des Hauts plateaux se caractérise par un dispositif structural assez complexe. C'est précisément dans cette zone que se sont manifestés successivement à toutes les époques avec le plus d'intensité les mouvements orogéniques qui ont affecté cette partie de l'Algérie.

La région qui correspond à la chaîne de l'Atlas tellien et au Tell dont fait partie la chaîne numidique, se trouve extrêmement tourmentée et on y trouve représentés des exemples d'accidents tectoniques de tous genres.

Selon de La Chavane (1910), les effets tectoniques dans la région de Guelma se sont manifestés surtout par des phénomènes de compression et de refoulement intense des plis qui sont en général déversés vers le Sud et le Sud- Est.

Ces plis souvent empilés les uns sur les autres, se chevauchent et se recouvrent à la façon d'écaillés imbriquées. Ce phénomène de structure écaillée est fréquent dans la chaîne atlasique. Dans ces plis déversés, les flancs inverses sont le plus souvent supprimés par compression et/ou par étirement. Les formes synclinales s'observent par endroit, dans les zones plus ou moins épargnées par les effets tectoniques. Quant aux voûtes anticlinales, elles sont assez rares et quand elles existent, elles se trouvent plutôt à l'état de brachy-anticlinaux ou de dômes, structurés en horst et graben.

II.3.1. Les plis

Les mouvements tectoniques tertiaires et en particulier, les mouvements post-Eocène moyen, contemporains des mouvements pyrénéens, paraissent avoir été les plus importants dans cette région. Ils se sont manifestés par des alignements (plis ordinaires, plis déversés, plis imbriqués, dômes en chapelet, affleurements anormaux de Trias en lame et en ellipse à orientation Est-Ouest, légèrement courbés dans la direction Sud Ouest-Nord Est.

Certains axes de plissements de direction Nord-Sud, sans doute déjà esquissés et d'âge Hercynien ou Mésozoïque, se mettent à rejouer de nouveau et donnent lieu à des plis posthumes, orientés dans la direction Nord-Sud, mais toutefois moins accentués que ceux de direction Sud Ouest-Nord Est.

Dans la région de Guelma, les plis d'orientation Est-Ouest sont représentés au niveau de la chaîne du Taya-Debagh et qui se prolongent vers l'Est par le massif du Bou Zitoune et du Djebel El Haouara. Quant aux alignements Nord-Sud, la boutonnière barrémienne de Guelma et celle du Djebel Bou Sba montre un exemple fort démonstratif.

Un autre alignement s'observe plus à l'Est, et sa direction paraît être indiquée par les affleurements triasiques du Djebel Tifech, de Ras El Alia, de Hammam N'Baïl's et du massif du Nador. Selon De La Chavane (1910), dans ces systèmes d'alignements, l'orientation de chaque tronçon de pli Est-Ouest tend, en allant vers l'Est, à se courber vers le Nord-Est, en se rapprochant des plis Nord-Sud, qui jouent le rôle d'axes de rebroussement.

Cet infléchissement successif des tronçons de plis de direction Est-Ouest vers le Nord, détermine la direction générale des lignes orographiques qui sont sensiblement Sud Ouest-Nord Est.

II.3.2. Contacts anormaux

Différents contacts anormaux marquent la région de Guelma. Ces contacts anormaux peuvent être résumés comme suit :

II.3.2.1. Les contacts par failles

Ce type de contacts par failles s'observe généralement, autour des dômes et des brachy-anticlinaux constitués par les calcaires récifaux éocènes et crétacés de la chaîne du Taya-Debagh. A titre d'exemple, dans les massifs du Taya et djebel El Grar, suite à l'effondrement de la partie centrale du dôme de calcaires récifaux, les retombées périphériques de ce dôme s'observent reposant en discordance sur les assises marneuses du Barrémien.

II.3.2.2. Les chevauchements

Ce type de contact est induit d'une part, par le déversement des plis (cas du chevauchement par pli déversé dans le massif de Djebel Bou Sba) et d'autre part, par la montée diapirique des formations du Trias, qui traversent des terrains de différente nature et de différents âges (depuis le Lias jusqu'au Miocène).

Les grands accidents tectoniques affectant la région de Guelma ont grandement favorisé la remontée diapirique des masses marno-gypsifères du Trias. Dans la région de Guelma, les intrusions triasiques chevauchant les autres formations, s'observent dans la vallée de l'Oued El Hammam, dans la région du Hammam Baïl's, au Fedj Er Reba, au Djebel Tifech et vers le Dekma.

II.3.3. Discordances

Les discordances de la région de Guelma sont essentiellement représentées par la discordance des flysch sur les formations crétacées et miocènes et la discordance des formations pliocènes sur les formations du Miocène supérieur.

II.4. Conclusion

L'étude géologique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane montre que :

- A l'Ouest du bassin de l'Oued Bordj Sabath, présente des formations raides de faible pente sont constitué principalement de grès et de conglomérats. Elle est généralement perméable,
- Le bassin supérieur, présente des formations tendres, constitué principalement des marnes, grès, marno- calcaires, de quaternaire et des formations superficielles.
- Le bassin inférieur - le plus arrosé - constitué en majeure partie par des roches résistantes à moyennement résistantes: des grès, des argiles, des marnes et des schistes.

Chapitre II :

**Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage
Hammam Debagh**

I.1.Introduction

L'étude des caractéristiques climatiques basée sur les données de précipitation et de température nous permet de donner un bref aperçu sur leur répartition dans le temps et dans l'espace. Ces deux paramètres nous permettent également de déterminer l'évapotranspiration, paramètre essentiel du déficit d'écoulement et de l'alimentation, c'est à dire la lame d'eau précipitée pour pouvoir quantifier le volume d'eau infiltré.

Pour réaliser notre travail nous avons utilisé les données collectées à la station du barrage Hammam Debagh, qui couvre une période de (21) ans ; dont les caractéristiques sont portés dans le Tableau.II.1.

Tableau.II.1: Les caractéristiques de station de mesure Hammam Debagh

Station	Longitude	Latitude	Altitude(m)	Période d'observation
Hammam Debagh	7° 15' E	36° 27' N	350	1995/96-2015/2016

I.2.Type de climat

I.2.1.Le diagramme Ombro-thermique (P=2T)

Le diagramme Ombro-thermique est établi, en combinant les températures et les précipitations moyennes mensuelles pour déterminer les périodes sèches et humides.

D'après ce diagramme (Figure.II.1), on peut déterminer deux périodes bien distinctes :

- Une saison humide et froide qui s'étale du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril.
- Une saison sèche et chaude qui s'étend du début du mois de Mai jusqu'au mois de Novembre.

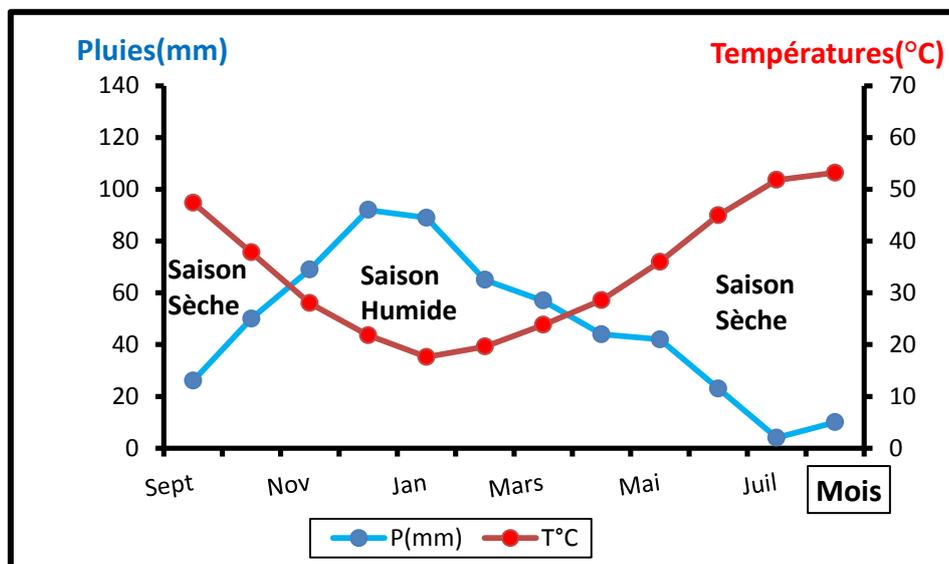


Figure.II.1: Diagramme Ombro-thermique à la Station Hammam Debagh (1995/96-2015/2016)

I.3. Les précipitations

Les précipitations constituent le facteur primordial dans le comportement hydrologique du bassin. Elles sont variables et irrégulières d’une année à une autre et d’une saison à une autre. Les mesures de celles-ci permettent d’évaluer la quantité d’eau tombée et surtout d’estimer la quantité destinée aux écoulements.

I.3.1. Précipitations moyennes mensuelles

Le calcul de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré sur un grand nombre d’années, ou dit précipitation moyenne mensuelle donne un aperçu sur les variations mensuelles pluriannuelles des précipitations.

Les précipitations moyennes mensuelles de la station du barrage Hammam Debagh sont résumées dans le Tableau suivant :

Tableau II.2: Les précipitations moyennes mensuelles (1995/96-2015/16)

Mois \ Station	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Total annuel (mm)
Hammam Debagh	39,6	38,1	70,7	94,9	86,8	68,5	59,9	60,1	53	19,7	4,6	10,1	606,2

Source : DE du barrage Hammam Debagh

La Figure.II.2 montre les variations de la distribution des précipitations d’un mois à un autre, avec un maximum de l’ordre de 94,9 mm au cours du mois de Décembre et un minimum de l’ordre de 4,6 mm au cours du moi de Juillet.

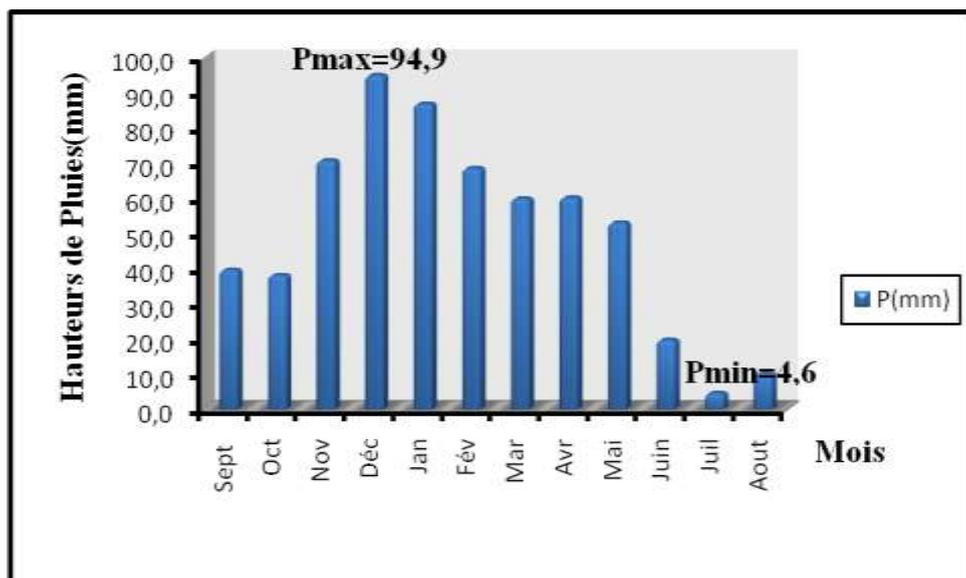


Figure.II.2: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)

I.3.2. Précipitations moyennes saisonnières

L'étude des précipitations saisonnières permet de donner une idée sur la distribution de la lame d'eau précipitée durant une année. Pour notre zone d'étude, on distingue un maximum pluviométrique hivernal (de Décembre à Février), donc la saison la plus arrosée est l'hiver (41,30 %), tandis que l'été représente la saison la plus sèche (5,67 %).

Tableau II.3: Précipitations moyennes saisonnières (1995/96-2015/16)

Mois / Station	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Moyenne annuelle
Hammam Debagh	Automne			Hivers			Printemps			Eté			
	148,5			250,3			173,1			34,4			606,2mm
	24,50			41,30			28,55			5,67			100%

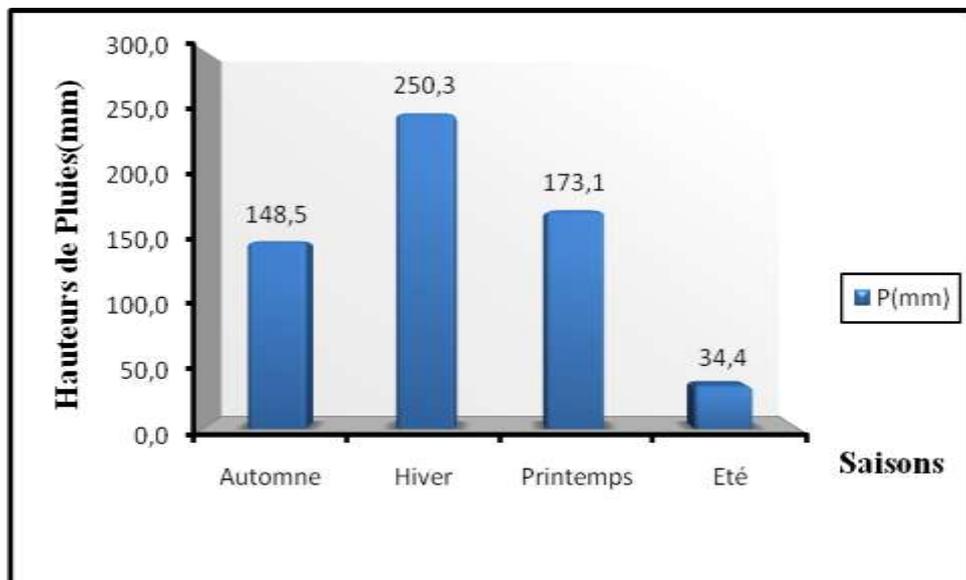


Figure.II.3: Histogramme des précipitations moyennes saisonnières de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)

I.3.3. Variabilité des précipitations annuelles

La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le coefficient pluviométrique (CP), ce paramètre climatique est très important dans la détermination des années excédentaires et les années déficitaires.

Le coefficient pluviométrique est en relation proportionnelle avec la pluviométrie. Il est calculé par le rapport de la pluviométrie de l'année considérée sur la pluviométrie moyenne de la série observée à une station donnée.

Chapitre II | Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage Hammam Debagh

$$CP = \frac{P}{\bar{P}} \dots \dots \dots (5)$$

Avec :

CP : Coefficient pluviométrique

P : Hauteurs des pluies annuelles (mm)

P̄ = Moyenne annuelle pluviométrique (mm)

Nous avons deux cas :

Si : **CP > 1** ➡ on a une année excédentaire **CP < 1** ➡ on a une année déficitaire

Tableau II.4: Précipitations interannuelles (1995/96-2015/16)

Année hydrologique	Station Hammam Debagh	
	CP	Remarque
1995/1996	1,21	An.Exc
1996/1997	1,04	An.Exc
1997/1998	1,2	An.Exc
1998/1999	0,78	An.Déf
1999/2000	1,07	An.Exc
2000/2001	1,2	An.Exc
2001/2002	0,52	An.Déf
2002/2003	1,01	An.Exc
2003/2004	1,06	An.Exc
2004/2005	0,83	An.Déf
2005/2006	0,67	An.Déf
2006/2007	0,56	An.Déf
2007/2008	1,39	An.Exc
2008/2009	1,36	An.Exc
2009/2010	1,14	An.Exc
2010/2011	0,88	An.Déf
2011/2012	0,91	An.Déf
2012/2013	0,8	An.Déf
2013/2014	1,1	An.Exc
2014/2015	0,97	An.Déf
2015/2016	1,2	An.Exc

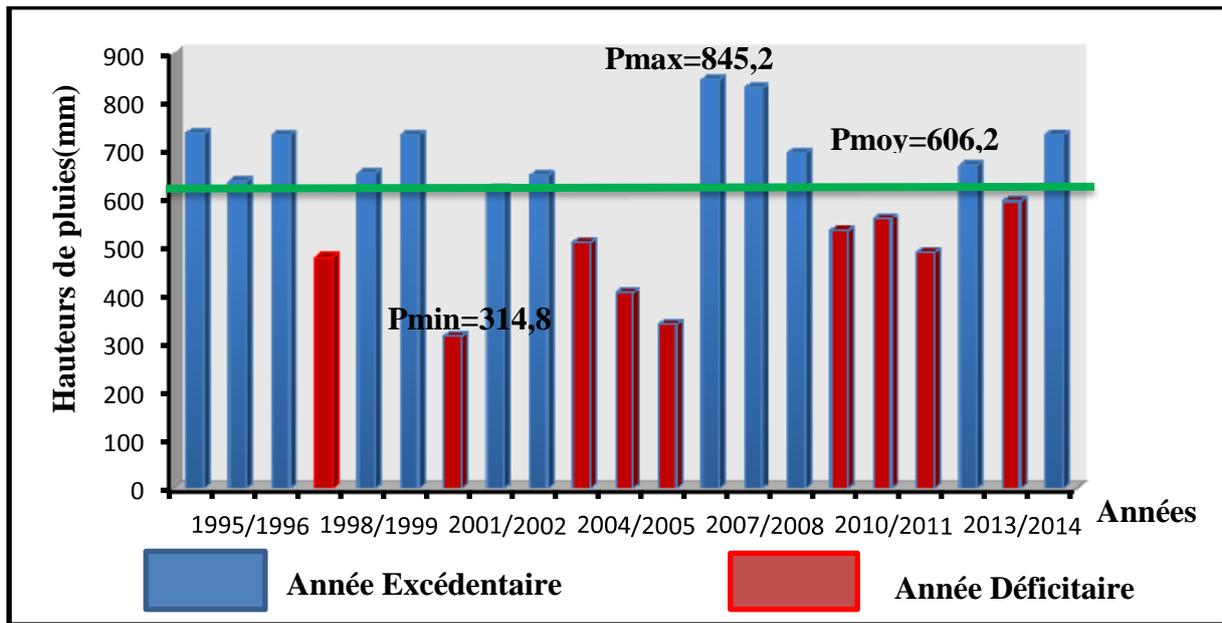


Figure.II.4: Variation annuelle des précipitations de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)

I.4. Les Températures

Les températures moyennes mensuelles et annuelles régissent directement, en interaction avec les autres facteurs météorologiques (précipitations, insolation, hygrométrie...), le phénomène d'évaporation et par la même, le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les températures sont donc l'un des éléments majeurs influençant le climat du barrage.

Les données de température observées pendant une période de 21 ans (1995/96-2015/16), font ressortir que les températures moyennes minimales sont enregistrées durant le mois de Janvier (9°C), tandis que la température moyenne maximale s'observe durant le mois de Juillet avec une valeur de l'ordre de 29,7°C (Tableau II.5).

Tableau II.5: Moyennes mensuelles des températures (1995/96-2015/16)

Mois Station	T°C	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Moy
	Hammam Debagh	Min	20	15,2	9,3	5,4	4	4,7	8,2	11,9	16,5	21,1	23,7	23,6
	Moy	24,9	20,3	14,1	10	9	9,8	13,2	16,4	21,2	26,1	29,7	29,5	18,6
	Max	29,9	25,5	18,9	14,6	14	15	18,3	20,9	25,9	31,1	35,8	35,4	23,7

Source : DE du barrage Hammam Debagh

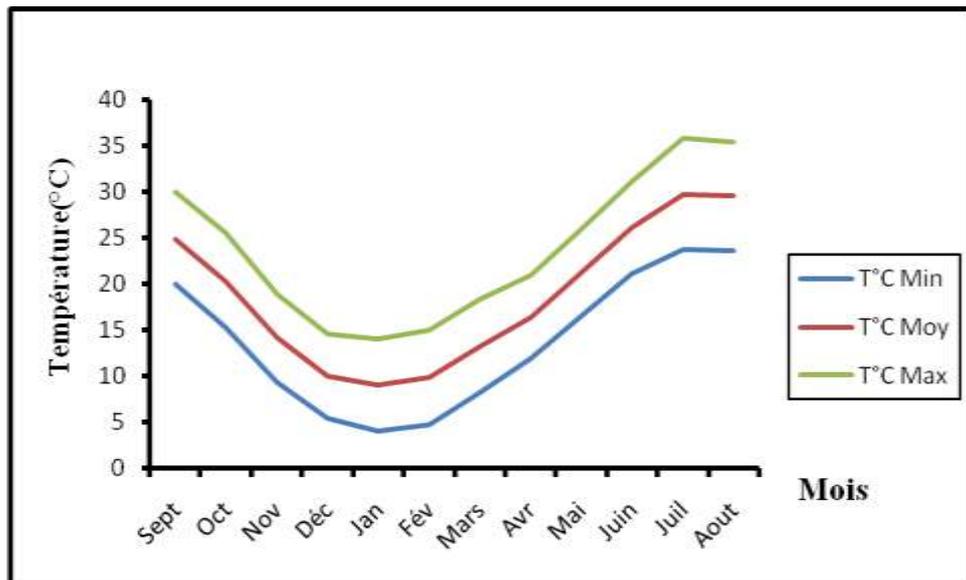


Figure.II.5: Variations des températures moyennes mensuelles de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)

I.5.Le bilan d'eau

La tendance à la subhumidité de la zone d'étude peut se confirmer par l'analyse du bilan d'eau. En effet, le but de ce dernier est d'évaluer la répartition des précipitations reçues par le barrage entre les différentes composantes du bilan hydrique, à savoir, l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration (ETP). Ce dernier paramètre étant le plus important, car il conditionne l'abondance ou l'absence de l'écoulement.

I.5.1.Calcul de l'ETP par la méthode de C.W.Thornthwaite

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon C.W. Thornthwaite tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle. Vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule est applicable dans le barrage Hammam Debagh. La méthode de Thornthwaite permet à partir des données de base (précipitations (mm), température (°C), le coefficient thermique mensuel (k), et l'indice thermique mensuel (I) de calculer l'évapotranspiration potentielle (ETP) selon la relation suivante:

$$ETP (mm) = 16 (10 T/I)^a .K \dots\dots\dots (6)$$

Avec:

$$I = \sum I \qquad i = (T/5)^{1.51} \qquad a = (1, 61/100).I + 0.5$$

T: Température moyenne du mois considéré °C K : Coefficients d'ajustement mensuel

ETP: Evapotranspiration potentielle du mois considérée mm I : Indice Thermique

Chapitre II | Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage Hammam Debagh

Cette méthode est basée sur la notion de réserve facilement utilisable (RFU), et nous admettons que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (RFU) qui pourrait être reprise par l'ETP. (RFU max = 100 mm).

Nous établirons un bilan à l'échelle mensuelle, seulement pour la station de Hammam Debagh, représentant la totalité du barrage. Les résultats obtenus sont reportés sur le Tableau.II.6.

Tableau II.6: Bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)

Mois \ Paramètres	T°C	I	K	ETP mm	P mm	RFU	ETR mm	Def	Exc
Sept	24,9	11,4	1,03	116,3	39,6	0,0	39,6	76,7	0,0
Oct	20,3	8,3	0,97	72,9	38,1	0,0	38,1	34,8	0,0
Nov	14,1	4,8	0,86	31,2	70,7	39,5	31,2	0,0	0,0
Déc	10	2,9	0,81	14,8	94,9	100,0	14,8	0,0	19,6
Jan	9	2,4	0,87	12,9	86,8	100,0	12,9	0,0	73,9
Fév	9,8	2,8	0,85	14,9	68,5	100,0	14,9	0,0	53,6
Mars	13,2	4,3	1,03	32,7	59,9	100,0	32,7	0,0	27,2
Avr	16,4	6,0	1,10	54,0	60,1	100,0	54,0	0,0	6,1
Mai	21,2	8,9	1,21	99,1	53	53,9	99,1	0,0	0,0
Juin	26,1	12,2	1,22	151,4	19,7	0,0	73,6	77,8	0,0
Juill	29,7	14,8	1,24	199,2	4,6	0,0	4,6	194,6	0,0
Aout	29,5	14,7	1,16	183,8	10,1	0,0	10,1	173,7	0,0
Annuel	18,6	93,6		983,2	606,2		425,5	557,7	180,5

Afin de visualiser les résultats obtenus du bilan d'eau à la station de Hammam Debagh, la représentation graphique des données sur la Figure.II.6 illustre bien la situation.

La représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite de la station de Hammam Debagh montre que l'évapotranspiration maximale a été observée pendant le mois de Juillet pour une valeur de 199,2 mm, ce qui produit un déficit agricole de 194,6 mm, nécessitant une irrigation pour les zones de culture. Cependant, durant les mois de Novembre jusqu'au mois de Mars, on remarque une recharge de la nappe. Lorsque celle-ci dépasse la RFU, le surplus d'eau va partir vers le ruissellement superficiel.

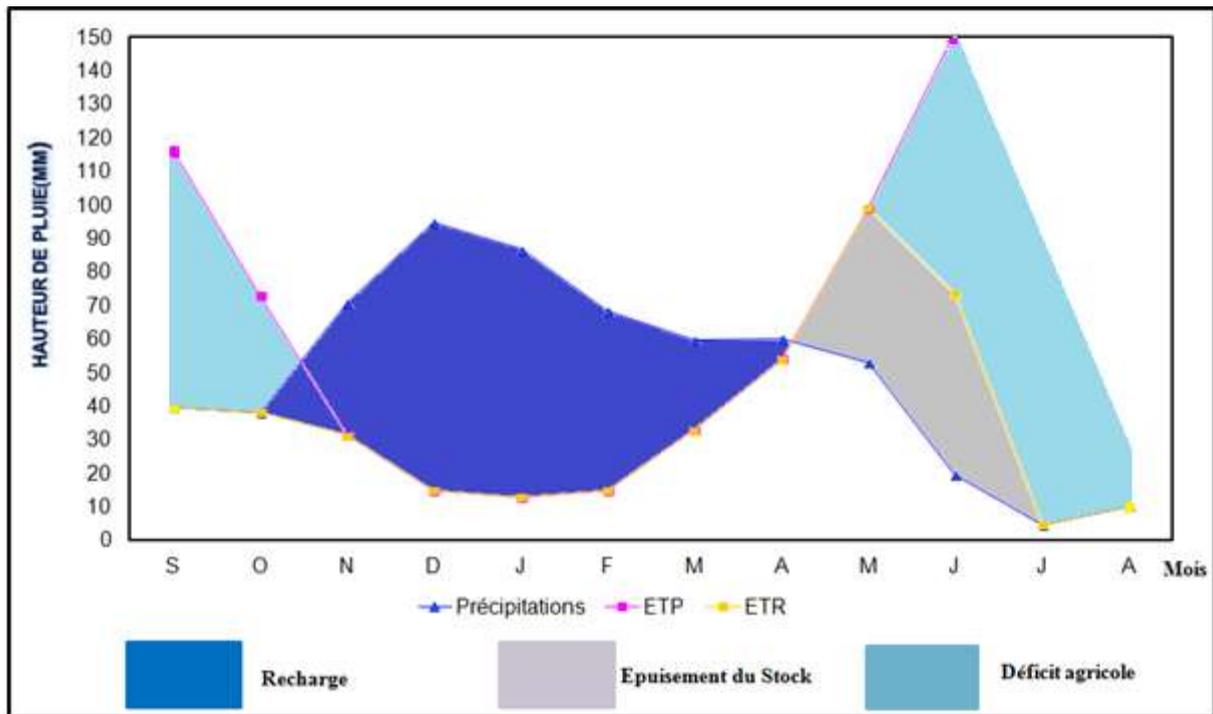


Figure.II.6: Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station Hammam Debagh (1995/96-2015/16)

I.5.2. Calcul de l'ETR par la méthode de Turc

La formule de Turc permet d'évaluer directement l'évapotranspiration réelle annuelle (ETR) annuelle à partir de la hauteur moyenne annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle, selon la formule :

$$ETR = P / (0.9 + P^2/L^2)^{1/2} \dots\dots\dots (7) \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3 \dots\dots\dots (8)$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm **P** : Précipitation moyenne annuelle en mm

T : Température moyenne annuelle en °C **L** : Pouvoir évaporant.

Les résultats sont portés dans le Tableau suivant :

Tableau II.7 : Evapotranspiration réelle annuelle selon la méthode de Turc

Station \ Paramètres	P (mm)	T °C	L	ETR (mm/an)
Hammam Debagh	606,2	18,6	1086,74	505,82

I.5.3. Calcul du Ruissellement (R)

On entend par ruissellement, l'écoulement par gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain et dans le réseau hydrographique des eaux météoriques. Une infime partie de cette eau

I.6. Conclusion

Le barrage Hammam Debagh est soumise à un climat méditerranéen, appartenant au domaine humide à sub-humide. Il est caractérisé par des irrégularités mensuelles et annuelles des précipitations. La température moyenne annuelle modérée dans le barrage est de l'ordre de 18,6°C. Les résultats de température et de précipitations définissent deux saisons typiques du climat méditerranéen, avec une saison sèche et une autre humide.

L'évapotranspiration réelle moyenne est estimée à 505,82 mm/an, représentant 83,44 % de la totalité des précipitations. Le déficit agricole appréciable est estimé à 557,7 mm/an, réparti du mois de Juin jusqu'à Octobre. Le surplus d'eau va partir sous forme de ruissellement, qui est calculé à 76,81 mm/an, ce qui présente plus de 12,67 % des précipitations. Le reste va déloger sous forme d'infiltration, qui correspond à 23,57 mm/an, soit 3,88 % de la totalité des précipitations. La réserve facilement utilisable (RFU) n'est pleine que de Décembre à Avril, quant à son épuisement, il dure sept mois.

La représentation graphique du bilan hydrique, nous laisse dire que la recharge des nappes débute du mois d'Octobre jusqu'à la mi-Avril, avec un maximum durant le mois de Décembre. Concernant l'épuisement du stock, il débute à la fin d'Avril jusqu'à la fin Juin, où le déficit agricole commence et se prolonge jusqu'à la fin du mois de Septembre.

Chapitre III :

**Les caractéristiques hydrologiques et diagnostique
quantitatif des ressources en eau du barrage Hammam**

Debagh

*I. Les caractéristiques Hydrologiques du barrage
Hammam Debagh*

I.1.Introduction

L'Algérie orientale représente la région la plus arrosée du pays et détient, de ce fait, la part la plus importante des ressources en eau de surface. Avec un écoulement annuel moyen pouvant dépasser les 200-300 mm sur les bassins telliens. Cependant le caractère montagneux du Tell et l'abondance des précipitations facilitent aux cours d'eau un débouché vers la mer Méditerranée, en raison de la topographie en cuvettes et de la semi-aridité dominante. La protection des eaux de surface est d'autant plus nécessaire que celles-ci sont aujourd'hui largement sollicitées par l'aménagement, en réseaux de barrages-réservoirs en cours d'implantation. L'envasement relativement rapide des barrages constitue la menace la plus importante à cause essentiellement des problèmes de gestion.

I.2.Pluviométrie

La pluie annuelle moyenne sur le bassin versant de l'Oued Bouhamdane a été estimée à 652 mm, (les données de quatre postes pluviométriques du bassin : Guelma, Medjez Ammar II, Oued Zenati et Ain Abid) tandis qu'à l'endroit du barrage Hammam Debagh, elle est de l'ordre de 606,2 mm/an. La distribution mensuelle des précipitations en année moyenne est la suivante :

Tableau III.1: La distribution mensuelle des précipitations du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (2013)

Mois	Pluie (mm)	%
Septembre	36	5,5
Octobre	52	7,9
Novembre	65	10
Décembre	95	14,6
janvier	95	14,6
Février	75	11,5
Mars	75	11,5
Avril	61	9,3
Mai	52	8
Juin	26	4
Juillet	7	1,1
Aout	13	2
Total	652	100

Source ANBT 2013

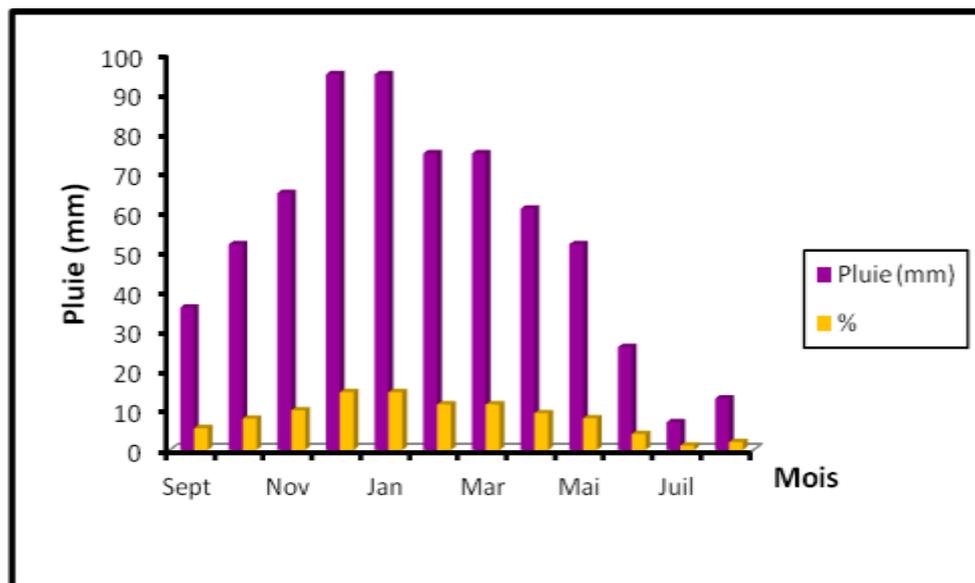


Figure.III.1: La distribution mensuelle des précipitations du bassin versant de l'Oued Bouhamdane(2013)

Le caractère saisonnier des pluies est ainsi très prononcé : les mois de juillet et Aout reçoivent des précipitations insignifiantes (< 10 mm). Tandis que d'Octobre à Mai les précipitations restent supérieures à 70 mm en moyenne et atteignent 95 mm en Décembre et Janvier.

I.3.Apports

I.3.1.Apport interannuel

La prise en compte de ces observations, reconstituant une série de vingt trois (23) années, a conduit à réviser à la baisse l'estimation des apports.

Le ruissellement moyen annuel est ainsi évalué entre 59 et 61 mm (d'après ANBT), l'apport moyen interannuel correspondant est 96,93 hm³ (d'après ANBT).

La variabilité des apports d'une année à l'autre est énorme, puisque le coefficient de variation (Cv)¹ est de l'ordre 0,85 (d'après ANBT). Le contraste entre les années dites humides et les années dites sèches est particulièrement fort. Ainsi les apports se classent-ils d'après leur fréquence :

¹ : Cv : Paramètre adimensionnel fréquemment utilisé en hydrologie pour mesurer la dispersion d'un échantillon.

$$C_v = \frac{\sigma}{X}$$

σ : L'écart type d'un échantillon est la racine carrée de la variance.
X : Moyenne arithmétique

Tableau III.2: Classement des apports d'après leurs fréquences

Fréquence	Ruissellement (mm)	Apport (hm ³)
0,01	5,3	5,7
0,10	13,4	14,3
0,50	41,8	44,7
0,90	130	139
0,99	320	342

Source ANBT

Près du site du barrage Hammam Debagh, il y a une zone avec des sources thermales vives. L'eau des sources vient des grandes profondeurs avec un débit total de 80-100 l/s.

Supposant un débit constant de 100 l/s, les sources contribuent à 3 hm³ /an, soit environ 3% de l'apport annuel moyen de Medjez Ammar II (ANBT, 2013).

L'apport moyen interannuel au barrage Hammam Debagh est égal à 93,93 hm³, c'est-à-dire l'apport du bassin versant de l'Oued Bouhamdane est 96,93 hm³ desquels il convient de retrancher 3 hm³ absorbés par les sources régionales.

I.3.2. Distribution mensuelle des apports

On dispose de la distribution des apports du bassin versant de l'Oued Bouhamdane pour vingt trois (23) années hydrologiques (1990/1991 à 2012/2013).

La distribution mensuelle des apports telle qu'elle résulte de la série se présente comme suit :

Tableau III.3: La distribution mensuelle des apports du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (1990/1991 à 2012/2013)

Mois	Volume (hm ³)	%
Septembre	0,3	1,3
Octobre	0,8	2,1
Novembre	7,25	6,2
Décembre	9,09	11,7
Janvier	21,95	22,8
Février	26,11	24,6
Mars	16,05	16,4
Avril	11,98	9,2
Mai	2,64	3,2
Juin	0,60	1,3
Juillet	0,09	0,7
Aout	0,07	0,6
Total	96,93	100

Source ANBT 2013

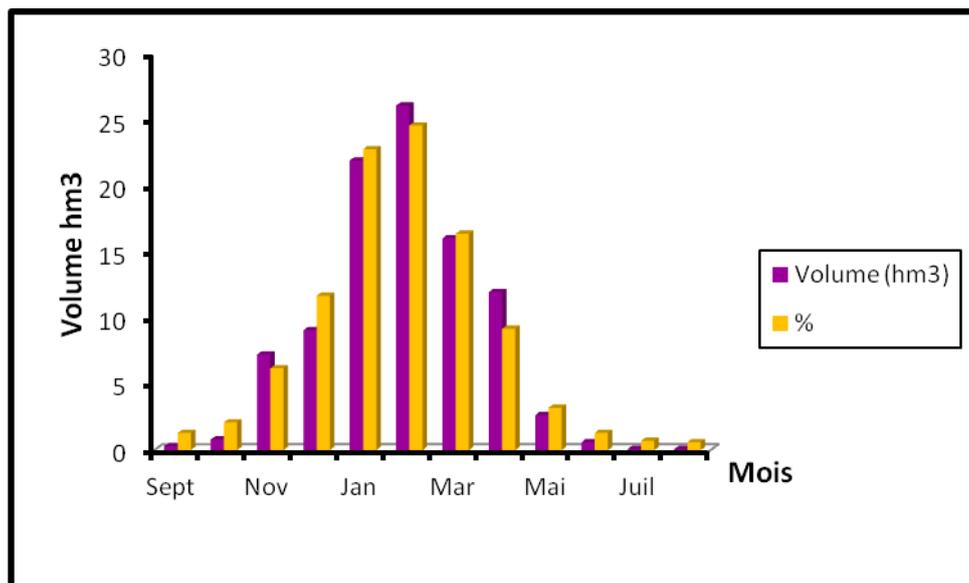


Figure III.2: La distribution mensuelle des apports du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (1990/1991 à 2012/2013)

On retrouve encore une fois un caractère saisonnier très accentué, calculé sur celui des pluies. Il faut constater l'importance des trois mois de Janvier à Mars qui fournissent plus que la moitié du total des apports.

I.3.3. Les crues

Les crues rares, telles que définies par J.O. Krook et Stucky-Tractionnel, ont une durée de vingt huit (28) heures et un hydrogramme de forme creuse. Les débits de pointe et les volumes totaux² sont mentionnés dans le Tableau suivant :

Tableau III.4: Les débits de pointe et les volumes totaux

Période de retour (année)	Débit de pointe (m ³ /s)	Volume total (m ³)
10	765	39
50	1460	74
100	1770	89
1000	2800	141
5000	3500	176
10000	3810	192

Source ANBT 2013

² Le débit de pointe Q_{max} (en m³/s) : valeur maximale du débit entrant dans une retenue pendant la durée de la crue ;

Le volume de la crue (en m³) : volume d'eau entrant dans une retenue pendant un épisode de crue.

$$Q(T) = a S^b$$

Q(T) est le débit (m³/s) de pointe relatif à la période de retour T ;

S est la superficie du bassin versant (km²) ;

a et b sont des coefficients fonction de la période de retour

Pour la crue des travaux déterminant le dimensionnement des ouvrages de dérivation et des batardeaux amont et aval, on a envisagé la crue cinquantennale ayant un débit de pointe de $1460 \text{ m}^3/\text{s}$ (d'après ANBT).

I.4. L'envasement du barrage Hammam Debagh

I.4.1. Le bassin versant de l'Oued Bouhamdane

L'Oued Bouhamdane fait partie du bassin de la Seybouse, l'une des grandes artères hydrographiques de l'Algérie orientale tributaires de la mer Méditerranée (Mebarki. 2011). Il draine une surface de 1105 km^2 à la station hydrométrique de Medjez Ammar II et de 1070 km^2 au droit du barrage Hammam Debagh. IL est formé par deux principales artères (Figure.III.3), l'Oued Zenati et l'Oued Bordj Sabath qui drainent respectivement une zone semi aride des Hautes Plaines (pluie moyenne : $450\text{-}550 \text{ mm}$) et une zone sub-humide du Tell méridional (pluie moyenne $550\text{-}650 \text{ mm}$).

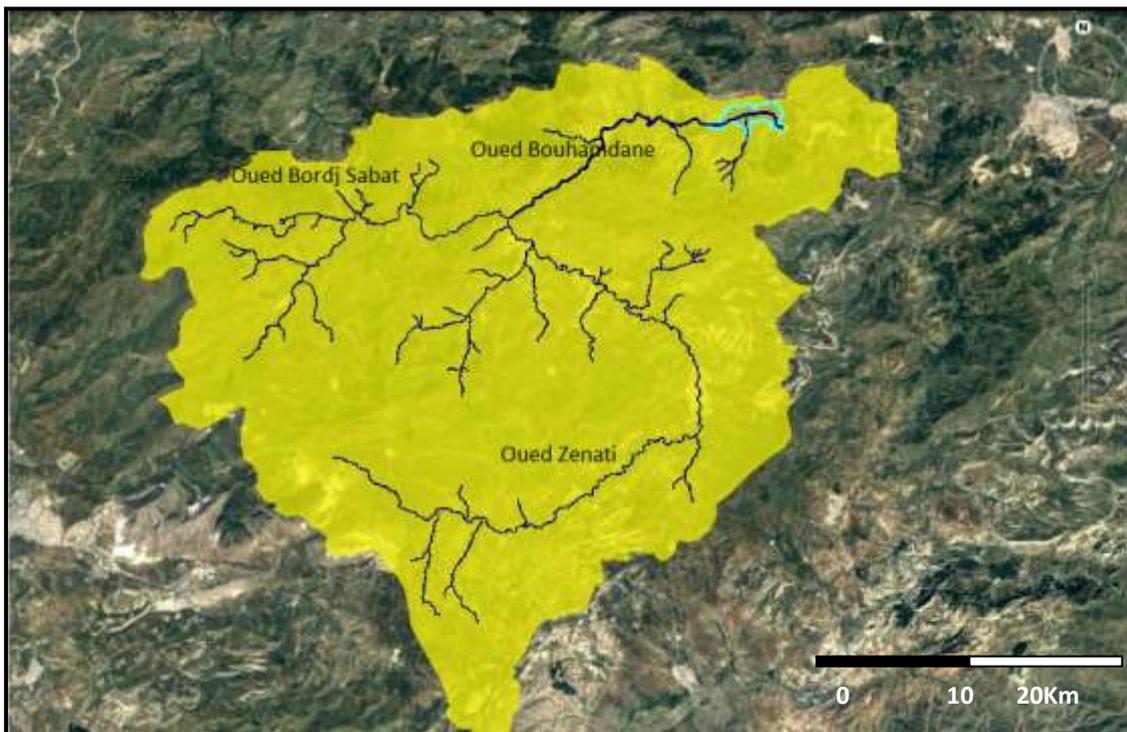


Figure.III.3 : Confluence des Oueds Bordj Sabath et Zenati donnant l'Oued Bouhamdane
(Google Earth, 2018) (N.ZEGHABA, 2018)

Le bassin versant de Bouhamdane présente un relief de moyenne montagne dont l'altitude moyenne est de 787.5 m ($285 - 1289 \text{ m}$), la longueur du talweg principal est de 90 km (Z.Monsouri, 2009), avec une pente moyenne de 0.8% (A.N.R.H. 2008). La lithologie est variée, constituée de formations superficielles (32.4%), grès, conglomérats, marno-calcaires et

marnes schisteuses (40.5%), argiles et marnes (23.1%) et calcaires (4.0%).

L'Oued Bouhamdane suit l'axe d'un grand graben qui délimite au Sud la chaîne numidique. Celle-ci d'orientation générale, SW-NE, s'étend sur les bassins de l'Oued Bouhamdane, la Moyenne Seybouse.

La région connaît une forte activité agricole, essentiellement la céréaliculture qui occupe 58.1 % de la surface du bassin et l'olivier autour de 10 %, avec un couvert végétal naturel (chêne liège, maquis, reboisement) couvrent 31.7 % de la surface du bassin dont 19.5 % sont exploités comme terrains de parcours.

I.4.2. Le barrage Hammam Debagh

Il est destiné principalement à l'irrigation du périmètre de la vallée de Guelma – Bouchegouf (13000 ha) et à l'alimentation en eau potable de la ville de Guelma, située à 20 km à l'aval du barrage. La digue, d'une hauteur totale de 95 m, est construite en terre avec un noyau central argileux vertical. Sa longueur en crête est de 430 m et sa largeur de 9 m (Figure.III.4).

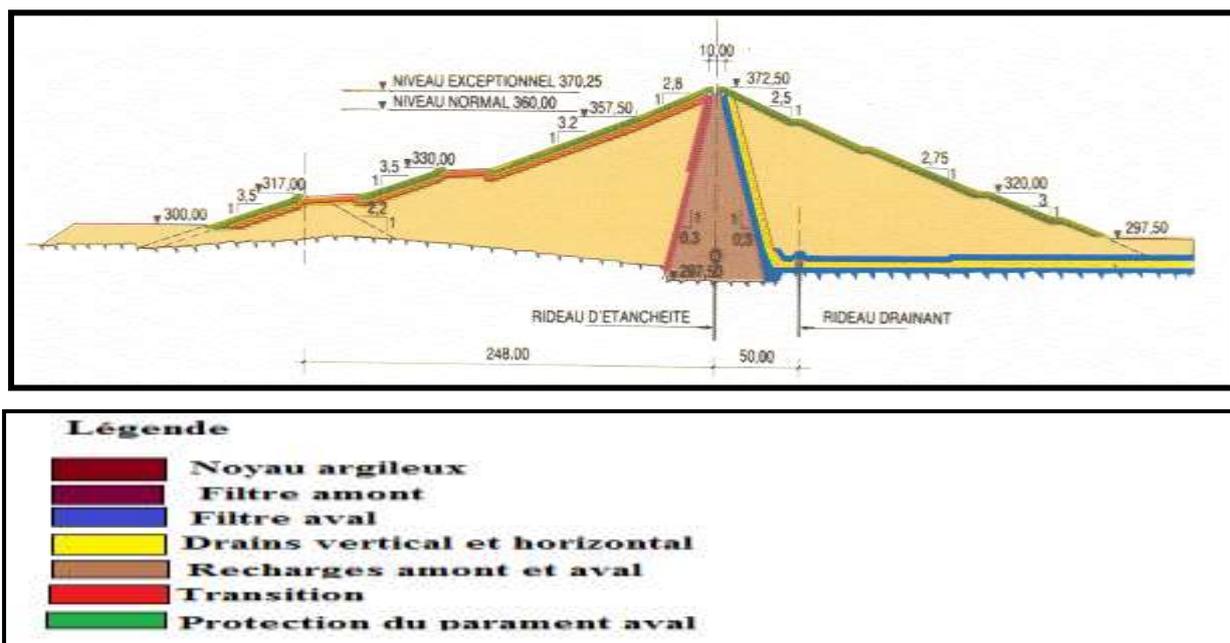


Figure.III.4 : Coupe en travers du barrage Hammam Debagh (Source ANBT, 1990)

Le barrage est équipé de deux évacuateurs de crue en puits de section circulaire, d'une vidange de fond et d'une tour de prise verticale (Photo.III.1).

Le lac de retenue a une capacité initiale de 220 hm³ correspondant à une cote de Retenue Normale de 360 m. Le plan d'eau à la Retenue Normale s'étend sur une superficie de 6.43 km², ce qui donne une profondeur moyenne du lac de 31 m.

Pour un apport interannuel de l'Oued de 69 hm^3 , le volume régularisé retenu par l'étude d'Avant Projet Détaillé (APD) du barrage est de $55 \text{ hm}^3/\text{an}$. La crue maximale est estimée à $3500 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le taux d'érosion modéré du bassin s'explique principalement par la lithologie (présence de formations gréseuses et faible surface occupée par les marnes), et également le couvert végétal (forêt, maquis, cultures annuelles) qui assure une protection relativement efficace des sols et des versants.



Photo.III.1: Barrage Hammam Debagh : évacuateur de crues en puits de section circulaire et protection sur la rive gauche (vue à partir de la digue) (mai 2012)

I.4.3. Pertes de capacité du barrage Hammam Debagh

La perte de capacité du barrage représente 7.8 % de la capacité initiale (2004), soit près de 0.5 % par an. Le barrage Hammam Debagh sur l'Oued Bouhamdane peut être donc classé dans la catégorie des retenues de faible envasement. Cette valeur correspond à la limite inférieure des valeurs citées par Benmammou (2007) pour la Tunisie, où les barrages perdent chaque année entre 0.5 et 1% de leur capacité à cause de l'envasement. Elle est également faible par rapport aux valeurs citées par Badraoui et Hadji (2001) et Lahlou (2005) pour le Maroc: entre 0.05 % pour le barrage d'Abdelmoumen et 5.71 % pour le barrage de Sidi Driss, la moyenne étant de 1.09 %.

I.5. La demande

Les besoins sont de deux types :

- Alimentation en eau potable (AEP)
- Irrigation

Pour chaque niveau de retenue plusieurs valeurs de la demande ont été envisagées de manière à pouvoir décrire de manière suffisamment précise l'évolution des différents paramètres intervenant dans la régularisation.

Des valeurs de la demande ont été envisagées dans le Tableau.III.5.

Tableau.III.5: Evolution annuelle de la demande en eau du barrage Hammam Debagh

Année	Irrigation (hm ³)	Alimentation en eau potable A.E.P (hm ³)
1995/1996	7,069	1,435
1996/1997	9,854	1,460
1997/1998	8,290	1,460
1998/1999	20,324	1,460
1999/2000	24,178	1,464
2000/2001	31,115	1,460
2001/2002	28,900	3,279
2002/2003	31,334	8,492
2003/2004	10,786	13,454
2004/2005	11,982	14,232
2005/2006	40,376	14,889
2006/2007	34,251	14,145
2007/2008	38,074	15,175
2008/2009	26,806	16,435
2009/2010	33,711	16,405
2010/2011	7,22	9,503

Source DRE Guelma 2012

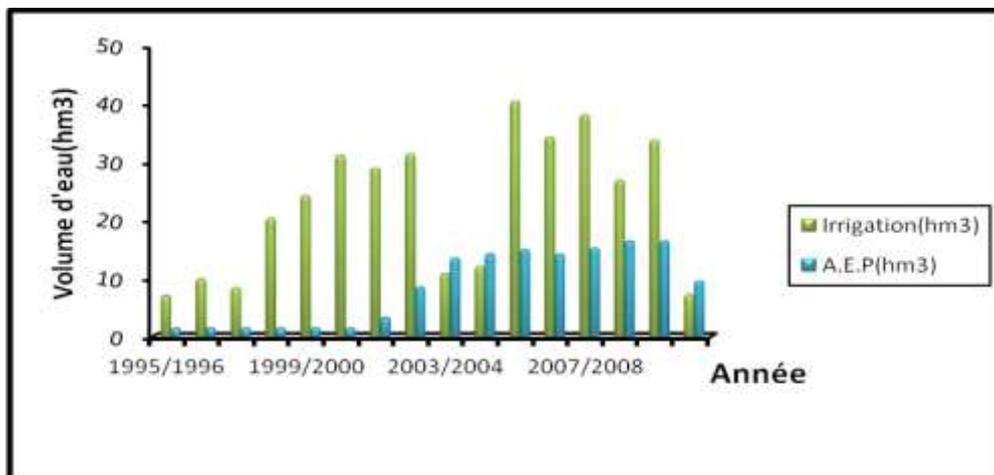


Figure.III.5: Evolution annuelle de la demande en eau du barrage Hammam Debagh

Les volumes des besoins en eau d'irrigation et d'AEP du barrage Hammam Debagh à partir de 1995/1996 à 2010/2011, sont variables d'une année à une autre (Tableau.III.5). On note que durant l'année 2005/2006, on a le plus grand volume d'eau d'irrigation (40,376 hm³), alors que les plus importants volumes d'eau d'AEP (16,435 hm³) correspondant à l'année 2008/2009.

I.6. Conclusion

A partir de la situation et la présentation de la région d'étude, on note en premier lieu que les caractéristiques du milieu prévoient l'existence d'une érosion plus ou moins remarquable.

Les caractéristiques lithologiques du bassin marquant l'existence des marnes et il faut noter que les marnes sont des roches friables, donc un facteur favorable à la dégradation.

Les caractéristiques biogéographiques montrent une insuffisance de la végétation forestière et les surfaces souvent soumises à la pâture. Concernant les conditions climatiques, on voit que notre région est située dans une région semi aride à sub- humide avec une précipitation moyenne de 606,2 mm (station barrage Hammam Debagh).

L'envasement des retenues est un risque sérieux pour la durée de vie de ces derniers, diminuant d'une façon accrue leur rentabilité. En comparaison avec les bassins-versants algériens, le bassin étudié se range dans la catégorie faible d'envasement.

L'appréciation de la dynamique des milieux naturels en fonction de leur plus ou moins grande activité doit déterminer le type d'aménagement à apporter. Cette approche permet d'apprécier la susceptibilité de ces milieux vis-à-vis des interventions humaines.

Nécessité d'une protection intégrée du bassin versant :

- Reboisements ;
- Correction torrentielle ;
- Techniques de défense et de restauration des sols ;
- Vidange de fonds du barrage Hammam Debagh.

*II. Diagnostique quantitatif des ressources en eau du
bassin versant de l'Oued Bouhamdane*

II.1.Introduction

Bien gérer la problématique de l'eau, implique une connaissance aussi parfaite que possible de la disponibilité de la ressource et de sa variabilité dans le temps et dans l'espace.

Les ressources hydriques du bassin versant de l'Oued Bouhamdane sont plus ou moins limitées, cette limitation est d'abord naturelle, mais elle est accentuée par les besoins toujours croissants du développement démographique et socio-économique, par le gaspillage, ainsi par les différents types de pollutions menaçant le bassin.

Cette situation, paraît angoissante, nécessite un diagnostic quantitatif des potentialités hydriques dans le bassin, pour faire face à toute situation de crise probable.

II.2.Les eaux de surface

II.2.1. Barrage et retenues collinaires

Le bassin versant de l'Oued Bouhamdane compte un barrage en exploitation d'une capacité totale de 220 hm³ avec un volume régularisable (Vr) total de l'ordre 55 hm³/an pour l'AEP et 66 hm³/an pour l'irrigation (ABHSCM, 2016). Et dix (10) retenues collinaires avec une capacité totale de l'ordre 1,56 hm³/an, ces retenues sont essentiellement destinées à satisfaire les besoins en eau d'irrigation (Tableau.III.6) et (Figure.III.6).

Tableau.III.6: Représentation des ressources en eau superficielles du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Barrage				
Commune	Dénomination	Capacité (hm³)	Vr (hm³/an)	Destination
Hammam Debagh	Hammam Debagh	220	55(AEP) +66(IRR)	AEP+ IRR
Retenues collinaires				
Commune	Dénomination	Capacité (m³)	Etat des ouvrages	Destination
Ras El Agba	Oued Eddefla	40000	Moyen	Irrigation
Ras El Agba	Boutouila	30000	Moyen	Irrigation
Oued Zenati	El Aleg	100000	Précaire	Irrigation
Oued Zenati	Ben RabeH	100000	Précaire	Irrigation
Medjez Ammar	Medjez Ammar	70000	Précaire	Irrigation
Khezara	Ben Mabrouk	25000	Bon	Abreuvement
Ain Abid	Touifza	675000	Assez Bon	Irrigation
Ben Badis	Oued Magroune	320000	Mauvais	Irrigation
Ben Badis	Oued Tassenga	170000	Assez Bon	Irrigation
Boumahra Ahmed	Chbbket Laba	30000	Précaire	Irrigation

Source ABHCSM Constantine 2005

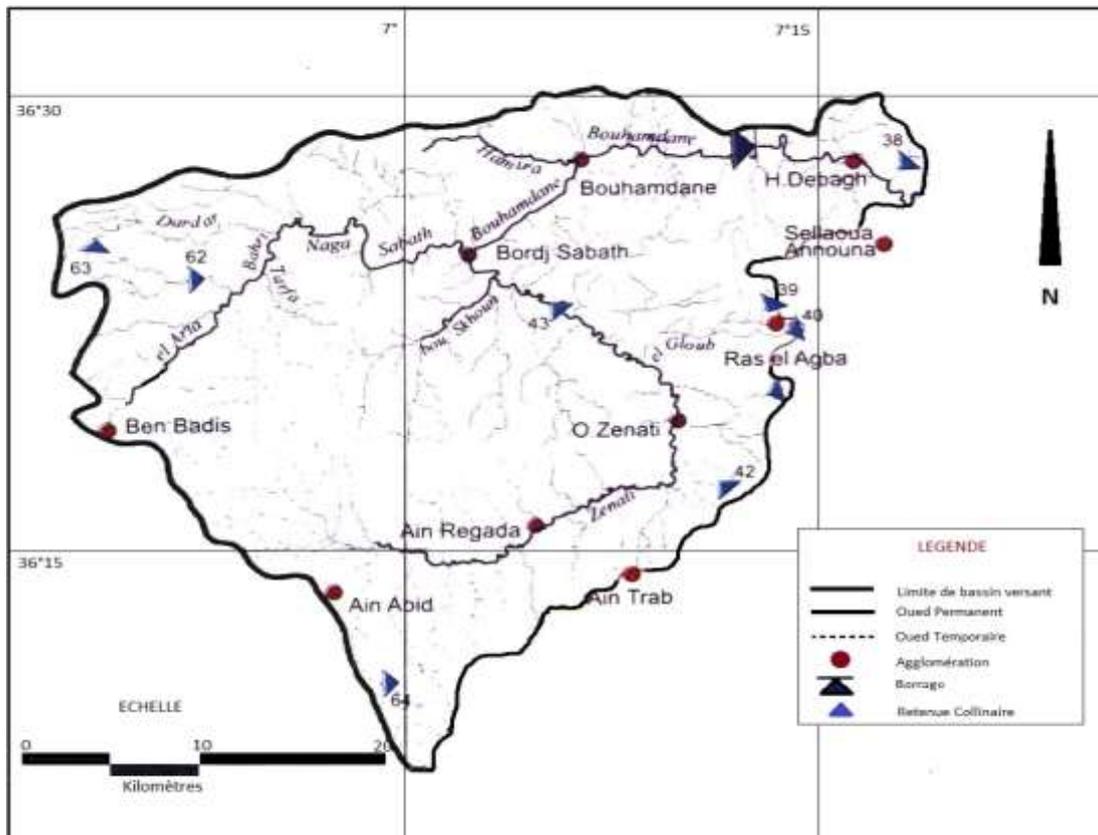


Figure.III.6 : Carte de localisation géographique des retenues collinaires et du barrage dans le bassin versant de l'Oued Bouhamdane (Source ABHCSM Constantine 2005)

II.3. Les eaux souterraines

II.3.1. Les forages

D'après le bilan de l'ABHSCM de Constantine en 2005, on a huit (08) forages sont répartis sur l'ensemble du bassin versant de l'Oued Bouhamdane, quatre (04) forages sont actuellement en service mobilisant un potentiel de l'ordre $1.17 \text{ hm}^3/\text{an}$, ils sont destinés essentiellement à l'alimentation en eau potable et aussi pour l'irrigation (Tableau.III.7).

II.4. Les réservoirs et capacité de stockage

La capacité de stockage des eaux à travers le bassin versant de l'Oued Bouhamdane est estimée de $0,018 \text{ hm}^3$ répartis sur 39 réservoirs (Tableau.III.8).

Tableau.III.7: Représentation des ressources en eau souterraines du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Dénominatio n	Localisation	Coordonnées Lambert (m)			Débit théorique (l/s)	Débit exploité (l/s)	Profondeur (m)	Destination	Observation
		X	Y	Z					
F, Serhani	Ras EL Agba	902,200	352,000	/	8	8	48	Irrigation	en service
F2 BIS (Ain Brinis)	Ras EL Agba	902,600	350,000	/	20	20	130	AEP Ras EL Agba+Sellaoua	en service
F1 (Ain Brinis)	Ras EL Agba	904,100	351,000	743	12	10	216	AEP Ras EL Agba	/
Beloucif	Bouhamdane	899,500	356,000	/	/	5	120	Irrigation	en service
F, Zaidi	Bouhamdane	901,000	365,000	/	/	3	10	Irrigation	en service
F2 (Bordj Sabath)	Bordj Sabath	/	/	/	8	0	90	AEP Bordj Sabath	non exploité
Centre Vol a Voile	Ben Badis	/	/	/	/	6	110	AEP Ben Badis	/
Boulegnefed d 1	Ain Abid	893 650	332 350	910	/	7	200	AEP Boulegnefed	/

Source ABHCSM Constantine 2005

Tableau.III.8 : Représentation des réservoirs du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Agglomération Population>1000 hab	Commune	Stockage/Réservoirs	
		Nombre	Volume (m ³)
Hammam Debagh	Hammam Debagh	3	1150
Tahar Dahmoun	Hammam Debagh	1	300
Ain Trab	Oued Zenati	1	500
Sidi Abid	Oued Zenati	1	500
Oued Zenati	Oued Zenati	5	4300
Ben Yacoub	Ben Badis	1	50
Ben Badis	Ben Badis	3	1200
EL Maamra	Ain Abid	4	3300
Ain Abid	Ain Abid	2	2000
Ras El Aioun	Bordj Sabath	1	200
Bordj-Sabath	Bordj Sabath	5	1200
Ksar El Azeb	Ain Regada	2	380
Ain Regada	Ain Regada	4	1580
Hjar Merakeb	Ain Regada	/	/
Bekouch Ahmed	Ain Regada	/	/
Bouhamdane	Bouhamdane	2	500
Serfani Salah	Medjez Ammar	1	100
Salah Salah Salah	Medjez Ammar	3	400

Source ABHCSM Constantine 2005

II.5. Estimation des besoins en eau par secteurs d'utilisation

Les besoins en eau se rapportent aux quantités nécessaires à utiliser pour assurer une efficacité minimale voulue, l'application des fonctions requises par les divers usages : usage domestique et publique (l'Alimentation en eau potable est prioritaire en Algérie), usage industriel, usage agricole.

L'estimation quantitative des besoins en eau est établie suivant des normes unitaires tenant compte des paramètres, socio-économiques en ce qui concerne l'A E P (degrés de croissance démographie, et niveau de vie des populations), techniques pour ce qui est de l'industrie (type de l'industrie, processus technologique et volume de production) et biophysiques concernant l'irrigation (déficit d'apport d'eau naturelle – précipitation – par rapport aux besoins physiologiques des plantes).

II.5.1. Demande en eau potable

Le bassin versant de Bouhamdane regroupe une population de l'ordre 134314 habitants suivant le recensement de 2008, cette population a une linéaire total de réseaux de distribution de plus de 172.145 m, et disposent d'un potentiel de stockage de 17660 m³.

Pour la totalité de ces agglomérations, le volume produit annuellement est de 3,40 hm³/an, ce qui correspond à une dotation unitaire moyenne de l'ordre 148 l/j/hab.

La dotation en eau des agglomérations est très hétérogène, elle dépend du nombre d'habitants et de la source d'alimentation de chaque agglomération (Tableau.III.9).

Tableau.III.9 : Alimentation en eau potable dans le bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Agglomération Population > 1000 hab	Volume transféré (hm ³ /an)	Volume distribué (hm ³ /an)	Dotation théorique (l/j/hab)
Hammam Debagh	0,766	0,651	156
Tahar Dahmoun	0,108	0,097	146
Bouhamdane	0,248	0,198	328
Ain Trab	/	0,059	90
Oued Zenati	1,788	1,520	164
Ain Regada	0,374	0,318	258
Hjar Merakeb	/	0,028	76
Bekouch Ahmed	/	0,028	75
Bordj Sabath	0,675	0,224	188
Ras El Agba	0,220	0,093	93
Ras El Aioun	0,054	0,054	101
Sidi Abid	/	0,060	154
Ksar El Azeb	/	0,074	98

Source ABHCSM Constantine 2005

II.5.2.Demande en eau d’irrigation

Le bassin versant de l’Oued Bouhamdane d’une vocation essentiellement agricole, avec un potentiel important:

- Surface agricole totale (S.A.T) : de 69514 ha, soit 62.90 % de la superficie totale.
- Surface agricole utile (S.A.U) : de près de 60448 ha soit 54,70 % de la superficie totale de bassin versant et 86.95 % de la S.A.T. Ainsi, le ratio S.A.U est de près de 0,4 ha /habitant (Z. Mansouri, 2009).

Tableau.III.10: Alimentation en eau d’irrigation dans le bassin versant de l’Oued Bouhamdane

Commune	S.A.U (ha)	Culture	Surface irriguée (ha)	Ressources en eau	Dotation (hm ³ /an)	Besoins (hm ³ /an)
Oued Zenati Ras el Agba Bordj Sabath	24230	Céréalière Maraichère	3150	6 retenues collinaires	0,072	0,98
Ain Hassainia Medjez Ammar	8590	Céréalière Maraichère Arboriculture	650	Barrage Hammam Debagh	3,9	4,89
Hammam Debagh	7268	Céréalière Maraichère Arboriculture	2560	Barrage Hammam Debagh	2,6	3,60
Ben Badis	11530	Céréalière Maraichère	980	retenue collinaire	0,021	0,66
Ain Abid	8830	Céréalière Maraichère	250	retenue collinaire	0,055	0,25

Source ABHCSM Constantine 2005

II.6.Conclusion

Le bassin versant de l’Oued Bouhamdane s’étend sur une superficie de 1105 Km² et abrite une population (recensement 2008) de l’ordre 134 314 habitants dont 66,37 % sont concentrés au niveau des communes de wilaya de Guelma. La densité moyenne de cette population est de l’ordre 121, 54 hab/km² (Z. Mansouri, 2009). Les ressources en eau superficielles de ce bassin, un barrage et dix (10) retenues collinaires mobilisent un volume de près 122,56 hm³. S’agissant de la mobilisation des ressources en eau souterraines, huit (08) forages existent dans le bassin et peuvent mobiliser un volume de 1.17hm³/an.

La production d’eau destinée aux agglomérations a été de 3,40 hm³/an, ce qui correspond à une dotation unitaire moyenne de l’ordre 148 l/j/hab (la moyenne nationale est 150 l/j/hab).

La production d’eau destinée à l’irrigation (à partir du barrage et des retenues collinaires) a été près de 68 hm³ pour une superficie irriguée d’environ 7600 ha, ce qui présente une dotation moyenne à l’hectare de 1,33 hm³/an.

2ème Partie :

Chapitre IV :

Hydrochimie et qualité des eaux

IV.1.Introduction

L'étude du chimisme des eaux de surface du bassin versant de l'Oued Bouhamdane consiste à donner un aperçu sur la qualité des eaux brutes de l'Oued Bouhamdane et ses affluents; Oued Bordj Sabat et Oued Zenati et les eaux traitées du barrage Hammam Debagh.

Et, en raison de l'utilisation multiple de ces eaux (AEP et irrigation), cette étude a été menée afin de contrôler l'état actuel de la chimie de ces eaux, son évolution dans le temps, dans l'espace et en fonction de la variation des paramètres physico-chimiques et biologiques de l'eau.

Un plan de travail a été adopté pour atteindre ces buts, il consiste au début à réaliser un suivi des deux types d'eaux:

3. L'eau brute de l'Oued Bouhamdane et ses affluents pendant deux périodes; l'une pour les hautes eaux (22 Mars 2013, 16 Mars 2015) et l'autre concernant les basses eaux (13 Juin 2013).
4. L'eau traitée: C'est l'eau du barrage Hammam Debagh analysé sur une série d'onze (11) années (2005/2015) donné par l'ANBT (Agence National des Barrages et Transferts/Algérie).

1. Les caractéristiques hydrochimiques des eaux brutes de l'Oued Bouhamdane et ses affluents

I.1 Méthodes et stratégie de travail

I.1.1. Prélèvements

La présente étude consiste à la réalisation de trois (3) campagnes de prélèvement d'échantillons d'eau au niveau du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (Tableau.IV.1).

Ces prélèvements ont été effectués selon une répartition et une fréquence différente d'un site à un autre, qui dépend de la nature des eaux, de type des formations géologiques, des implantations industrielles, agricoles et domestiques et de la disponibilité des ouvrages (Photos IV.1.2.3).

Les différentes campagnes ont été effectuées comme suit:

- 1ère campagne: 22 mars 2013. (Hautes eaux).
- 2ème campagne: 13 juin 2013. (Basses eaux).
- 3ème campagne: 16 mars 2015. (Hautes eaux).



Photo.IV.1. Rejet domestique (mars 2015)



Photo.IV.2. Rejet agricole, lessivage (mars 2015)

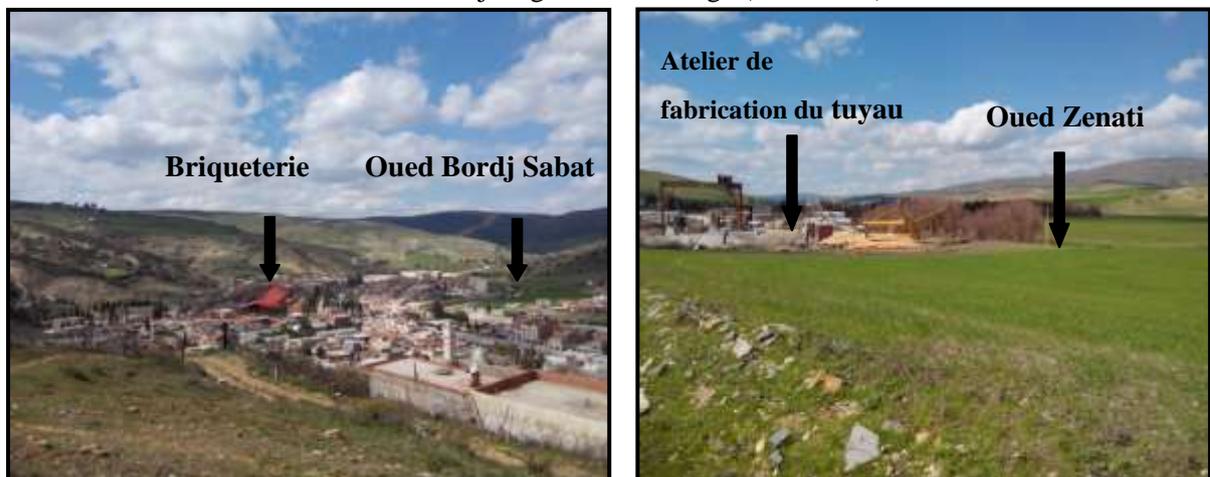


Photo.IV.3. Rejet industriel (mars 2015)

Une analyse complète des éléments chimiques a été effectuée pour cette étude : ces éléments chimiques ont été réalisés au niveau du laboratoire de L'ANRH de Constantine pour l'année 2013 (Mars et Juin) et pour l'année 2015 au niveau du laboratoire LRAE de l'école nationale d'ingénieurs de Sfax/Tunisie, qui sont :

- les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-),
- le cycle de l'azote (NO_3^- , NO_2^- et NH_4^+),
- les éléments mineurs en traces (PO_4^{3-}),
- les métaux lourds (Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} et Pb^{2+});
- les éléments de pollution (DBO_5 et DCO).

Tableau.IV.1: Description des points de prélèvements des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

P	Latitude	Longitude	Localisation	Type de rejet
1ère campagne : 22 mars 2013				
1	36°20'52.98"N	7° 9'11.29"E	Oued Zenati	domestique et agricole
2	36°28'16.93"N	7° 7'58.38"E	Aval Bouhamdane (village Marmoura)	domestique
3	36°25'9.22"N	7° 1'22.83"E	Bordj Sabat et Ayoun Edehan	domestique et agricole
4	36°24'25.14"N	7° 2'38.87"E	Bordj Sabat Aval	domestique et industriel (Briqueterie)
5	36°26'36.43"N	7° 5'43.19"E	Oued Bouhamdane (sous Gueltat Zerga)	domestique et agricole
6	36°21'59.05"N	7° 7'58.70"E	Affluent Oued Zenati	agricole
7	36°26'48.96"N	7°12'24.11"E	Affluent Oued Bouhamdane	domestique
8	36°27'41.19"N	7° 9'43.47"E	Affluent Oued Bouhamdane	agricole
9	36°22'1.54"N	7° 5'42.76"E	Affluent Oued Zenati	agricole
2ème campagne : 13 juin 2013				
1	36°22'17.96"N	7° 8'4.89"E	Affluent Oued Zenati	agricole
2	36°22'37.84"N	7° 1'41.14"E	Aval de Ras El Ayoun	domestique
3	36°26'20.95"N	7° 5'17.08"E	Oued Bouhamdane	domestique et agricole
4	36°27'17.83"N	7° 6'37.38"E	Amont Oued Bouhamdane	domestique et agricole
5	36°28'10.63"N	7° 7'18.84"E	Aval Oued Bouhamdane	domestique
6	36°26'10.99"N	7° 9'42.42"E	Affluent Oued Bouhamdane	agricole
7	36°23'29.04"N	6°53'55.25"E	Aval de Ben Yacoub	domestique et agricole
8	36°27'48.00"N	7° 4'46.62"E	Affluent Oued Bouhamdane	domestique et agricole
9	36°25'27.76"N	6°53'37.29"E	Affluent Oued Bordj Sabat	agricole
10	36°26'44.33"N	7°12'14.90"E	Affluent Oued Bouhamdane	domestique
11	36°21'41.9"N	7° 5'24.69"E	Affluent Oued Zenati	agricole
3ème campagne : 16 mars 2015				
1	36°24'44.23"N	6°58'48.17"E	Entre Bordj Sabat et Ayoun Edehan	domestique et agricole
2	36°24'57.18"N	7° 2'24.57"E	Bordj Sabat Aval	domestique et industriel (Briqueterie)
3	36°23'25.20"N	7° 4'8.82"E	Entre Bordj Sabat et Oued Zenati (Près de l'atelier de fabrication des tuyaux en béton)	domestique, agricole et industriel
4	36°19'47.14"N	7° 9'45.35"E	Oued Zenati Aval	domestique et agricole
5	36°14'40.32"N	6°58'41.59"E	Ain Abid Aval	domestique et agricole
6	36°15'26.67"N	7° 4'38.29"E	Ain Regada (Entre Ain Abid et Bekkouche Ahmed)	domestique
7	36°16'24.39"N	7° 6'43.90"E	Bekkouche Ahmed	domestique

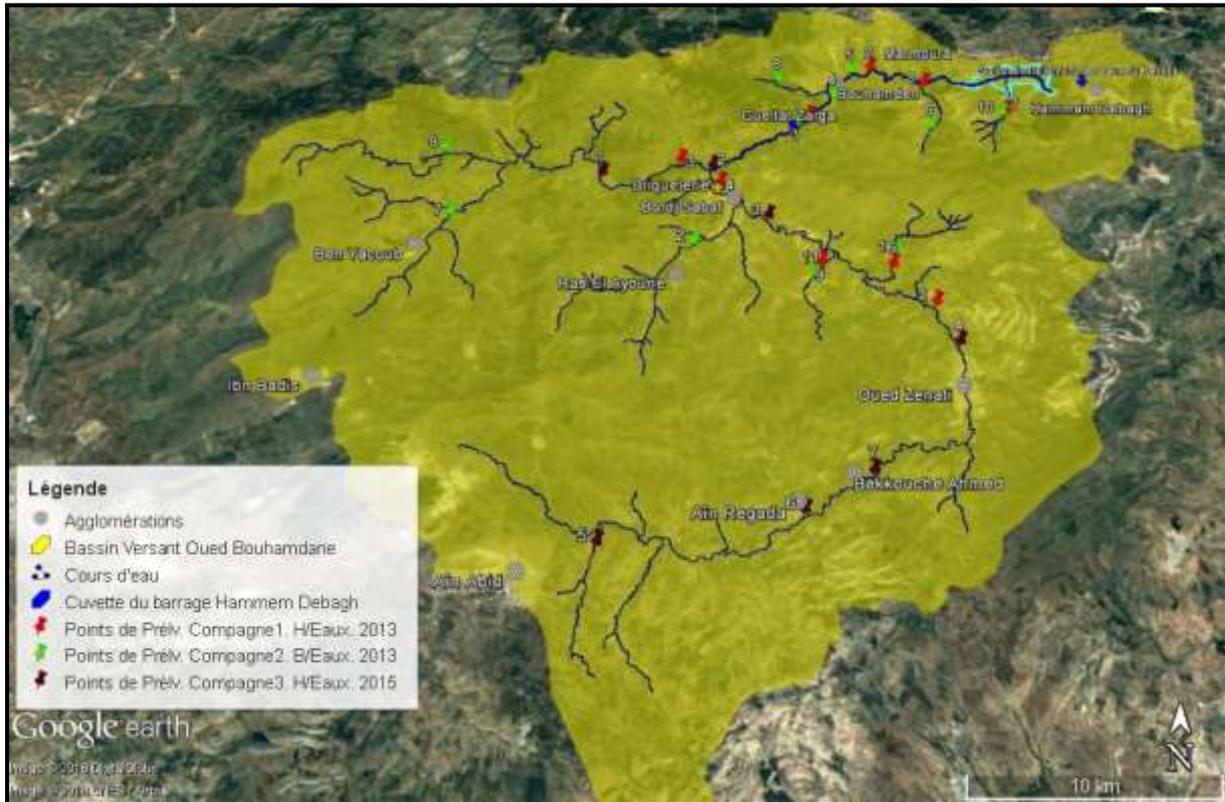


Figure.IV.1: Carte de désignation des points de prélèvements des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (N. ZEGHABA, 2018)

I.1.2. Mesures in situ

Trois paramètres physico-chimiques (Température, potentiel d'Hydrogène, conductivité électrique) ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un appareil multiparamètres (Type: WTW pH/ Cond 340i/SET).

I.1.2.1. Température

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques. Elle agit sur la densité, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes.

Dans la zone d'étude, les températures enregistrées (Figure.IV.2) oscillent entre 12,7°C, 15°C en période haute eau (mars 2013 et mars 2015), et 22°C en période basse eau (juin 2013). Ces variations de température suivent celles du climat de la région.

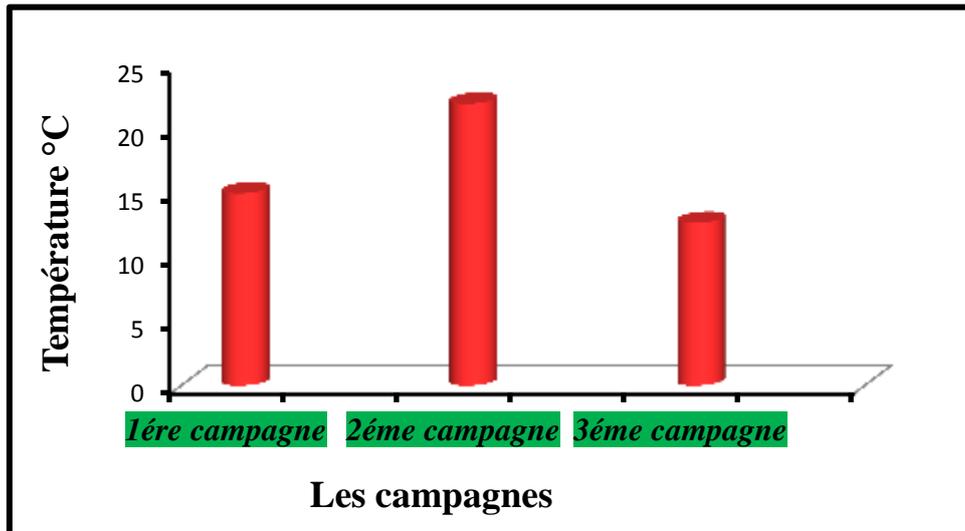


Figure.IV.2: Variation de la température dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

I.1.2.2. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates. Les valeurs observées révèlent que le pH est légèrement neutre à alcalin dans toutes les campagnes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane, aussi bien en période de pluie qu'en période sèche. En effet, le pH varie entre 7,56 (deuxième campagne) et 8,29 (première campagne). Ceci est dû à la présence de bicarbonates qui permettent de tamponner les eaux qui s'écoulent vers l'Oued Bouhamdane (Figure.IV.3).

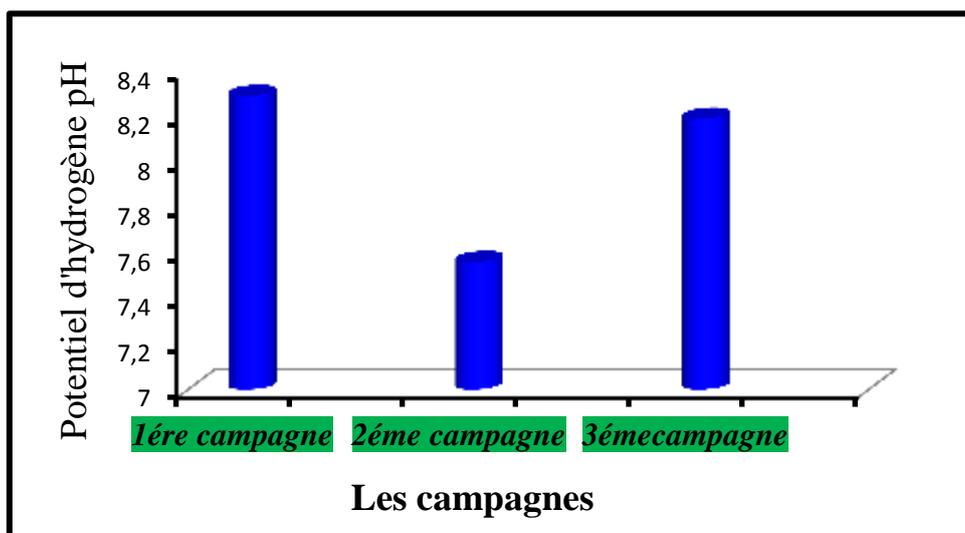


Figure.IV.3: Variation du pH dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

I.1.2.3. Conductivité électrique (CE)

La mesure de la conductivité électrique constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique. Les valeurs moyennes enregistrées, montrent des variations entre 966 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (haute eau) et 1317 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (basse eau). L'explication de cette diminution réside dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales (Figure.IV.4).

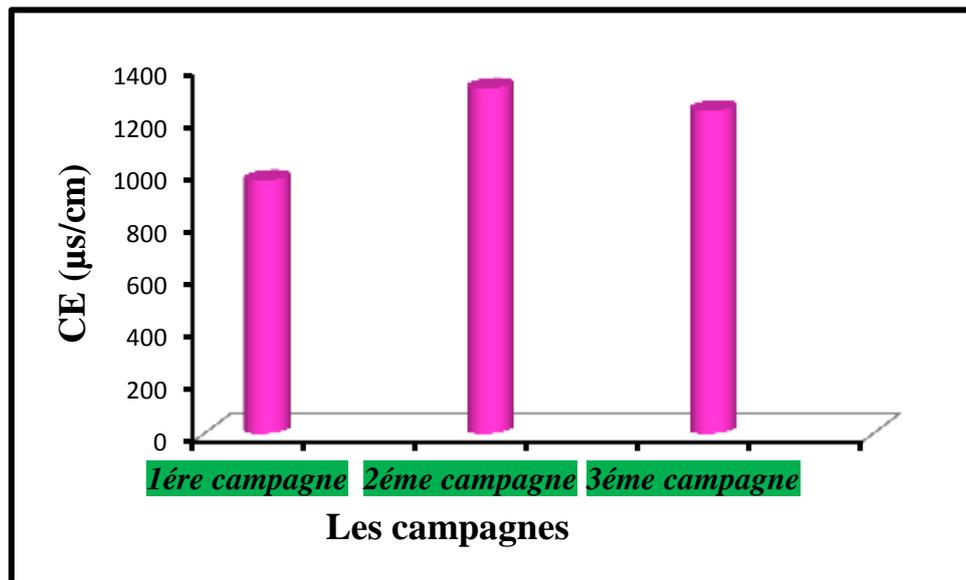


Figure.IV.4: Variation de la CE dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

I.1.3. Analyses aux laboratoires

On a procédé à une analyse complète de tous les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-). Les métaux lourds en traces (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} et Pb^{2+}) ont fait l'objet d'analyse pour les trois campagnes. Les polluants résultants des activités agricoles ont été l'objet d'un suivi particulier (NO_3^- , NO_2^- et NH_4^+) ainsi que les phosphates, la demande biologique en oxygène (DBO_5) et la demande chimique en oxygène (DCO).

I.1.3.1. Eléments majeurs

a. Calcium (Ca^{2+})

Il est le composant majeur de la dureté de l'eau, et l'élément dominant des eaux naturelles. La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium. La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit la dissolution des formations carbonatées ($\text{CaCO}_3 = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$), soit à la dissolution des formations gypseuses [$\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O}) = \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2(\text{H}_2\text{O})$]. Une teneur faible en calcium fait penser à un échange de base contre le sodium ou à

l'absence de minéraux riches en calcium faiblement altérables. Par contre une teneur élevée en calcium provient de la mise en solution du gypse ou de l'anhydrite.

On remarque que les teneurs en calcium varient entre 90,17mg/l enregistrée en deuxième campagne (13 juin 2013), et 130 mg/l enregistrée en première campagne (22 mars 2013) (Figure.IV.5).

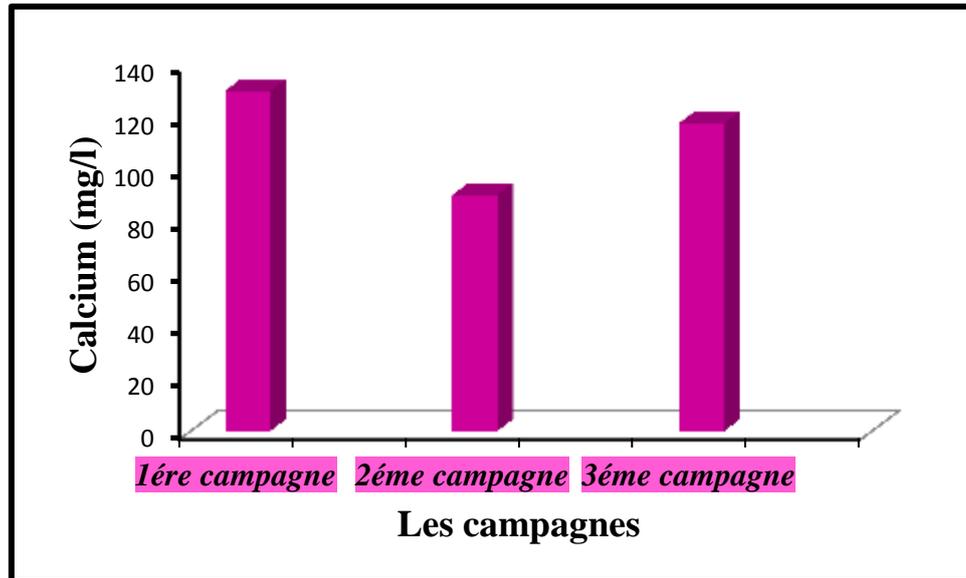


Figure.IV.5: Concentrations du calcium dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

b. Magnésium (Mg^{2+})

C'est un élément dominant dans l'eau, les principales sources du magnésium contenu dans les eaux sont les minéraux ferromagnésiens des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires (George et Harrap, 1963). Il constitue un élément significatif de sa dureté, sa teneur dépend du terrain traversé, il dépasse rarement 15 mg/l dans les eaux naturelles, par contre dans les eaux minérales il peut largement dépasser cette valeur. Dans les régions riches en roches magnésiques, l'eau peut contenir des concentrations de 10 à 50 mg/l de cet élément. Les sulfates et les chlorures de magnésium sont très solubles, et l'eau en contact avec leurs gisements peut contenir plusieurs centaines de milligrammes de magnésium par litre (Becker et Durfor, 1972).

On remarque que les teneurs en magnésium varient entre 40,3 mg/l enregistrée en troisième campagne (16 mars 2015) et 56,5 mg/l enregistrée en 22 mars 2013 (première campagne) (Figure.IV.6).

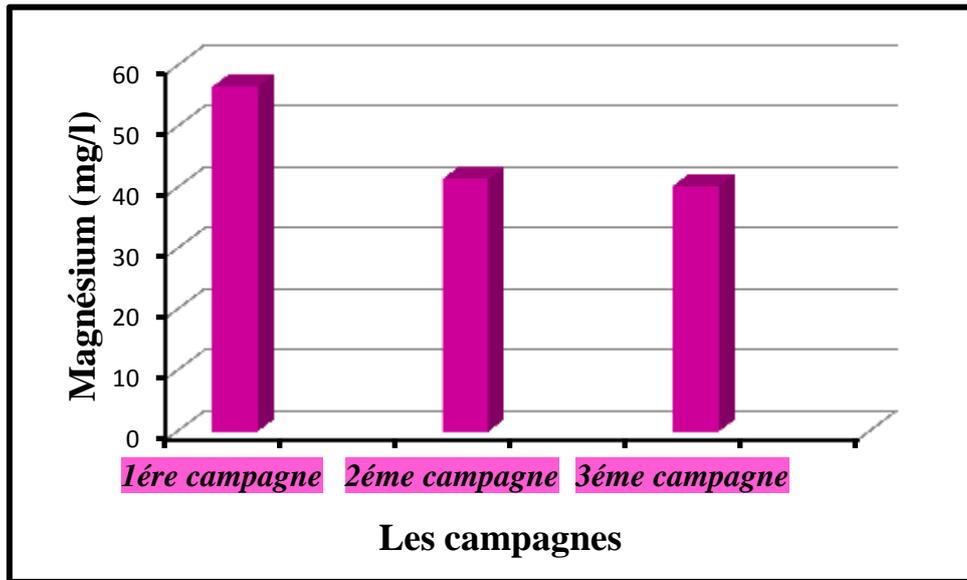


Figure.IV.6: Concentrations du magnésium dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

c. Sodium (Na^+)

C'est un élément qui existe dans la totalité des eaux car la solubilité des ses sels est très élevée. En agriculture, le composé du sodium le plus important est le chlorure de sodium.

La Figure.IV.7 montre que les teneurs du sodium varient entre 86,64 mg/l enregistrée en deuxième campagne et 229 mg/l enregistrée en première campagne.

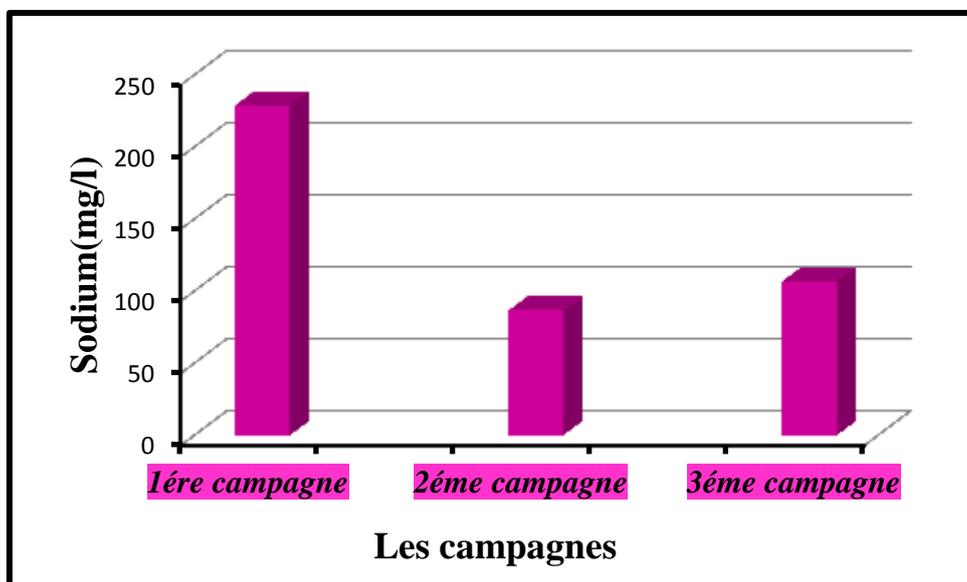


Figure.IV.7: Concentrations du sodium dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

d. Chlorures (Cl^-)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la

faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux (Makhoukh et al, 2011). Le chlore existe dans toutes les eaux à des concentrations très variables. L'origine peut être naturelle, percolation à travers des terrains salés, ou anthropique, de l'activité humaine.

Selon la Figure.IV.8, les teneurs en chlorures varient entre 108,1 mg/l enregistrée en juin 2013 et 136,8 mg/l enregistrée en mars 2013.

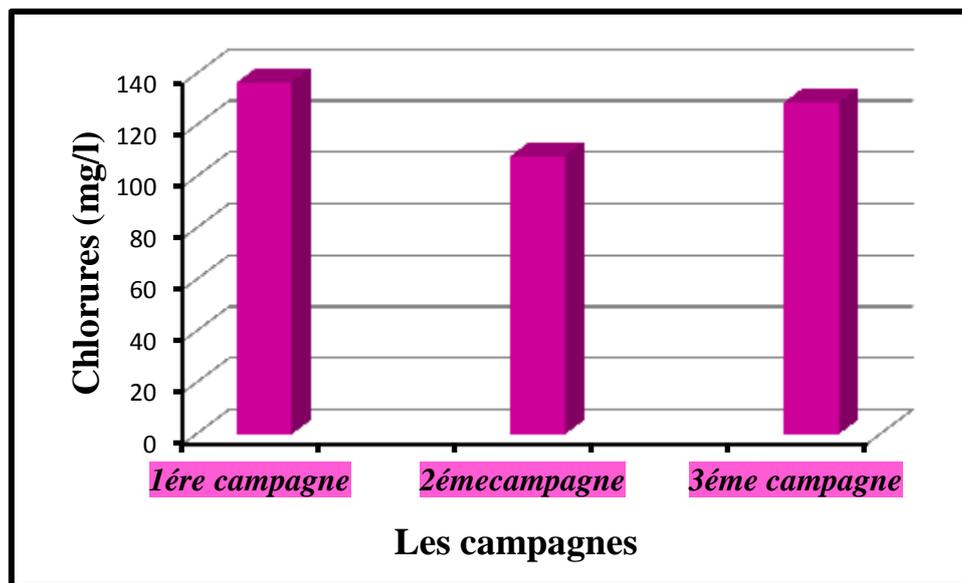


Figure.IV.8: Concentrations des chlorures dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

e. Bicarbonates (HCO_3^-)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire, dolomie...) par des eaux chargées en gaz carbonique (CO_2) (Belhadj, 2006). Pendant la période d'étude on remarque que les teneurs en bicarbonate varient entre 245,7 mg/l enregistrées en juin 2013 et 198,6 mg/l en mars 2013 comme valeur minimale. On constate que les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane le long de la période d'étude sont chargées en cet élément (Figure.IV.9).

f. Sulfates (SO_4^{2-})

La concentration des sulfates est très faible, dans la plupart des eaux douces. Elle peut atteindre 30 à 50 mg/l dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de minéraux sulfatés. La teneur en sulfates dans l'eau est élevée dans les zones contenant du gypse.

La valeur minimale des sulfates des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane est 186 mg/l, enregistrée en deuxième campagne (juin 2013), alors que la valeur maximale est 291,29 mg/l, enregistrée en troisième campagne (mars 2015) (Figure.IV.10).

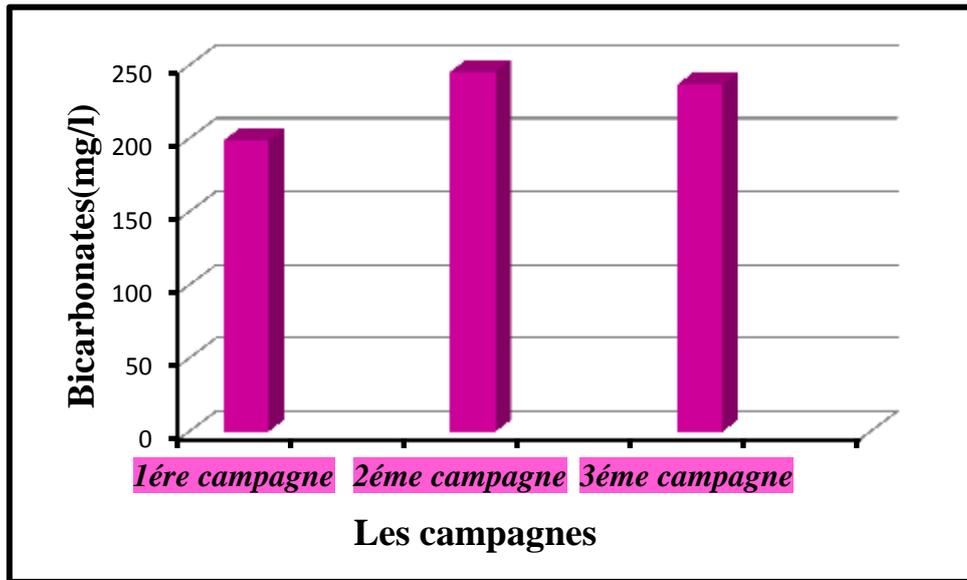


Figure.IV.9: Concentrations des bicarbonates dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

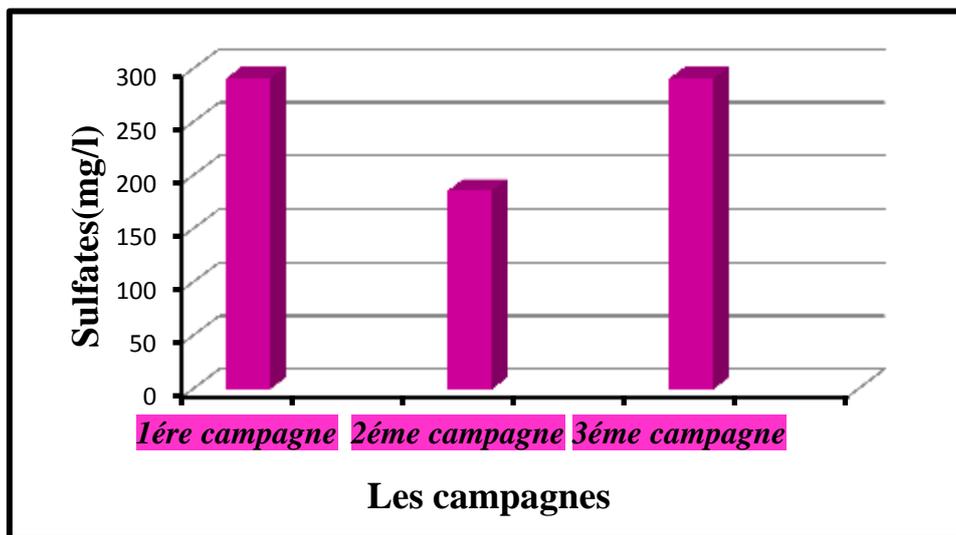


Figure.IV.10: Concentrations des sulfates dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

I.1.3.2 Le cycle d'azote

a. Nitrates (NO_3^-)

Les ions nitrites et nitrates se rencontrent dans la nature où ils font partie du cycle de l'azote. L'ion (NO_3^-) est la forme la plus stable de l'azote dans les composés contenant du dioxygène ; bien que chimiquement inerte, il peut être réduit par certains micro-organismes. La présence des nitrates dans l'eau est un indice de pollution d'origine agricole (engrais), urbaine (dysfonctionnement des réseaux d'assainissement) ou industrielle (Ahonon, 2011). Dans les régions industrielles, la teneur en nitrates de l'eau de pluie peut atteindre 5 mg/l. Dans les régions rurales, les teneurs sont un peu plus faibles. Normalement la teneur en nitrates des

eaux de surface est faible (0-18 mg/l). Cette teneur varie souvent avec la saison et peut augmenter lorsque les rivières sont alimentées par des aquifères riches en nitrates.

On remarque que la teneur maximale des nitrates est enregistrée en troisième campagne (22,32 mg/l), comme la valeur minimale (2,3 mg/l) est enregistrée en première campagne. (Figure.IV.11).

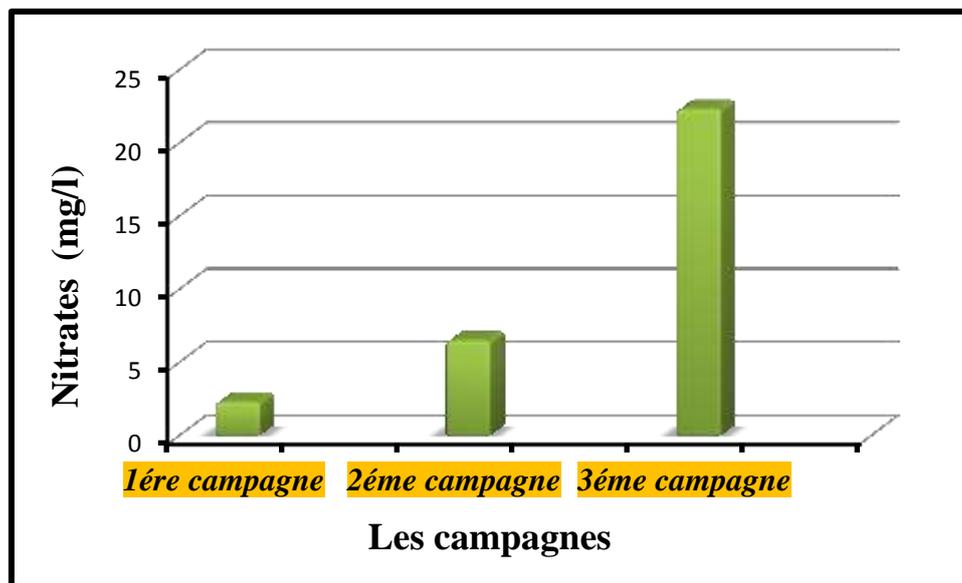


Figure.IV.11: Concentrations des nitrates dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

b. Ammonium (NH_4^+)

L'azote ammoniacal constitue un des maillons du cycle complexe de l'azote dans son état primitif. C'est un gaz soluble dans l'eau. Il existe en faible proportion, inférieure à 0,1 mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles. Il constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains. Dans les eaux superficielles, il provient de la matière organique azotée et des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère (Chapman et kimstach, 1996). Le transfert de la forme ammonium vers les nitrites et les nitrates se fait par oxydation. Cette réaction est rapide en présence de l'oxygène. La forte teneur en CO_2 et la faible teneur en oxygène accroissent la concentration en ammonium dans l'eau (Belhadj, 2006).

On remarque que les valeurs d'ammonium mesurées au niveau des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane varient entre (0,36 mg/l et 1,42 mg/l) (Figure.IV.12).

I.1.3.3. Les éléments mineurs en traces

a. Phosphates (PO_4^{3-})

Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol, leur présence dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique (Beaudry et Henry, 1984). Le phosphore est un élément essentiel à la vie aquatique

et les fortes concentrations en phosphates rencontrées dans l'estuaire témoignant d'un enrichissement d'origine domestique et agricole de l'activité industrielle. L'excès en phosphate entraîne l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques. Des teneurs supérieures à 0,5 mg/l doivent constituer un indice de pollution. Les phosphates peuvent se trouver sous différentes formes oxydées, méta HPO_3 , pyro $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ et ortho H_3PO_4 . En milieu aqueux, les formes méta et pyro tendant vers la forme ortho pour des pH de 5 à 8. Les réactions chimiques entre les différentes formes de phosphate sont données par la réaction suivante (Beaudry et Henry, 1984):



On remarque que les teneurs en phosphates varient entre 0 mg/l et 3,3 mg/l. La valeur maximale a été enregistrée en 22 mars 2013, première campagne (Figure.IV.13).

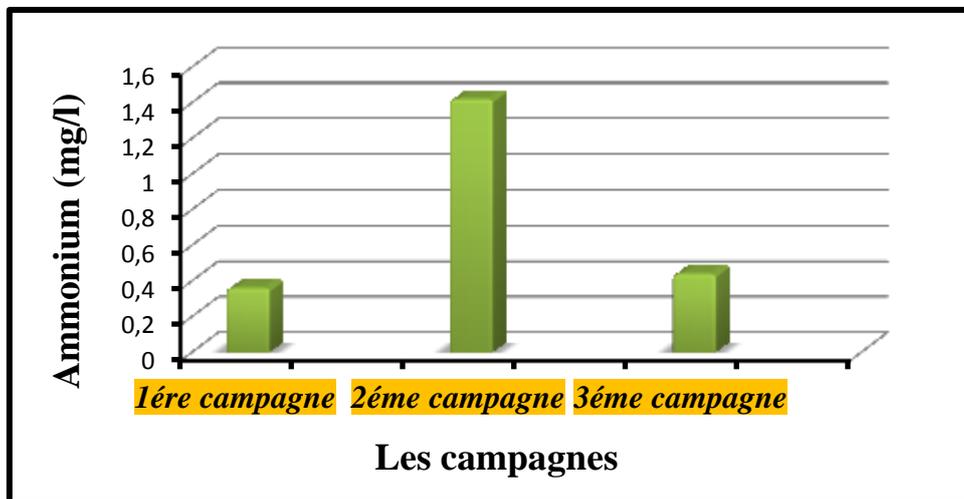


Figure.IV.12: Concentrations d'ammonium dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

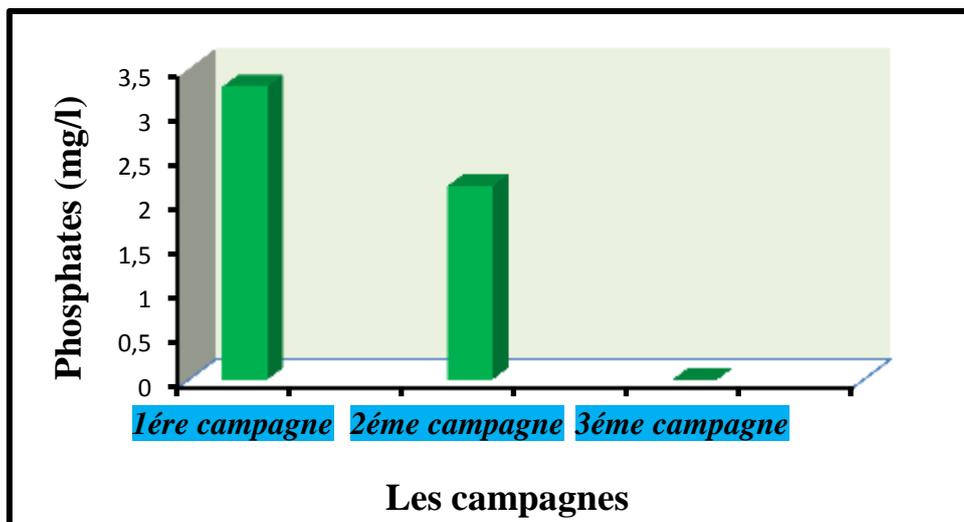


Figure.IV.13: Concentrations des phosphates dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

I.1.3.4. Les métaux lourds**a. Fer (Fe^{2+})**

La plus forte concentration pour cet élément est enregistrée durant la troisième campagne (1,5 mg/l) et la valeur minimale est enregistrée durant la première campagne (1 mg/l) (Figure.IV.14).

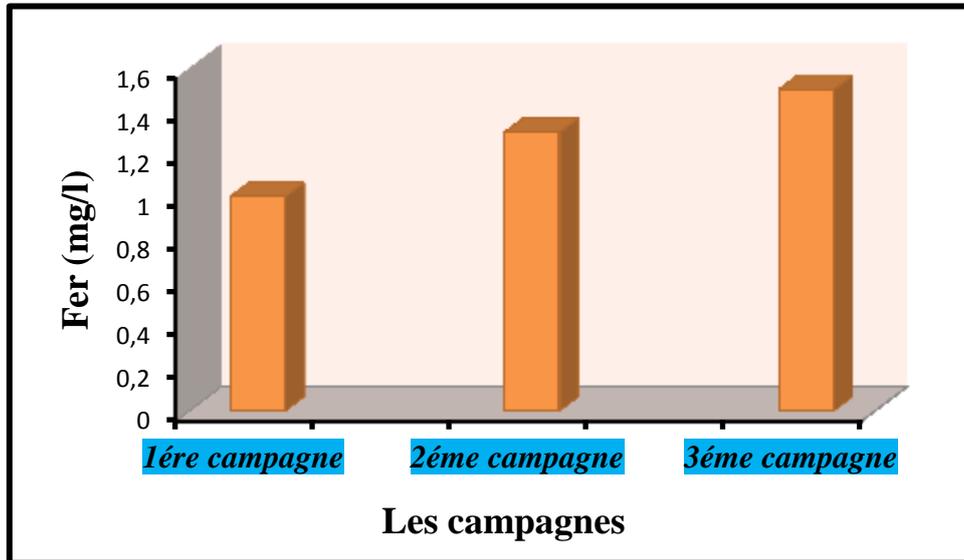


Figure.IV.14: Concentrations du Fer dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

b. Manganèse (Mn^{2+})

La concentration du manganèse dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane est variable avec le temps (Figure.IV.15), la plus forte concentration (3,1 mg/l) est enregistrée en en juin 2013 et la concentration minimale (2 mg/l) est enregistrée en mars 2013 durant la période des hautes eaux.

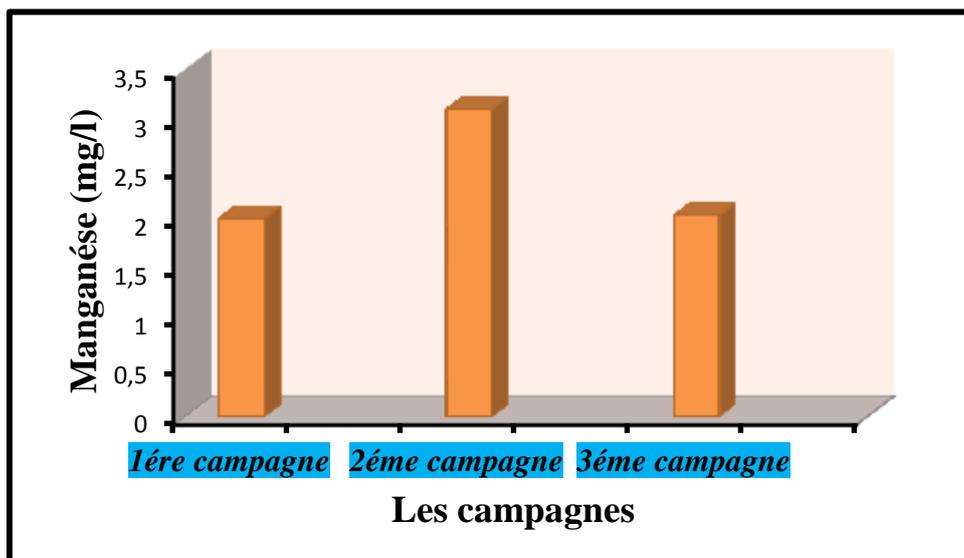


Figure.IV.15: Concentrations du Manganèse dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

c. Zinc (Zn^{2+})

La Figure.IV.16 montre que les concentrations du Zinc varient entre 3,7 mg/l enregistrée durant la première campagne, et 4,9 mg/l enregistrée en troisième campagne.

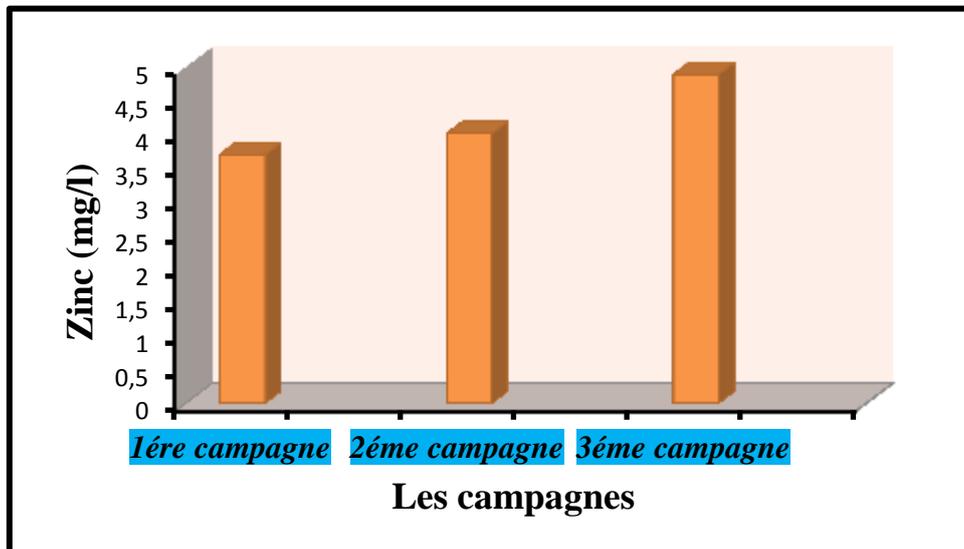


Figure.IV.16: Concentrations du Zinc dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

I.1.3.5. Les éléments de pollution**a. La demande biologique en oxygène (DBO_5)**

La demande biologique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée dans des conditions d'essais spécifiques (incubation pendant 5 jours, à 20° dans l'obscurité) par les micro-organismes présents dans l'eau, pour assurer la dégradation de la matière organique par voie biologique. La DBO_5 représente plus particulièrement une mesure de la charge polluante d'origine carbonée (pollution organique biodégradable). Elle fournit donc une des indications importantes permettant de juger de la qualité d'une eau et de son degré de pollution. Par contre, c'est un test reconnu trop peu précis pour qualifier les eaux naturelles mais très utilisé pour surveiller l'efficacité des stations d'épuration.

Les valeurs de la DBO_5 mesurées pendant la période d'observation varient entre (11,4 mg/l et 41,4 mg/l). On remarque que la valeur maximale de la DBO_5 est enregistrée en 13 juin 2013 et la valeur minimale a été enregistrée en 22 mars 2013 (Figure.IV.17).

b. La demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par la matière oxydable dans des conditions de l'essai. Contrairement à la DBO_5 où l'oxydation se fait lentement par l'activité des microorganismes, l'oxydation, pour la mesure de la DCO, est provoqué à l'aide d'un oxydant puissant (bichromate de potassium) en milieu acide fort (H_2SO_4). La DCO permet de mesurer la majeure partie de la matière organique biodégradable.

Elle donne une image de la matière organique présente même si le développement de micro-organismes est impossible (présence d'un toxique par exemple). C'est pourquoi les valeurs de DCO sont nécessairement supérieures aux valeurs de DBO₅ (Marcel, 1995).

Les valeurs de la DCO mesurées pendant la période d'observation varient entre (0,22 mg/l et 0,9 mg/l). On remarque que la valeur maximale de la DCO est enregistrée en deuxième campagne, et la valeur minimale est enregistrée en première campagne (Figure.IV.18).

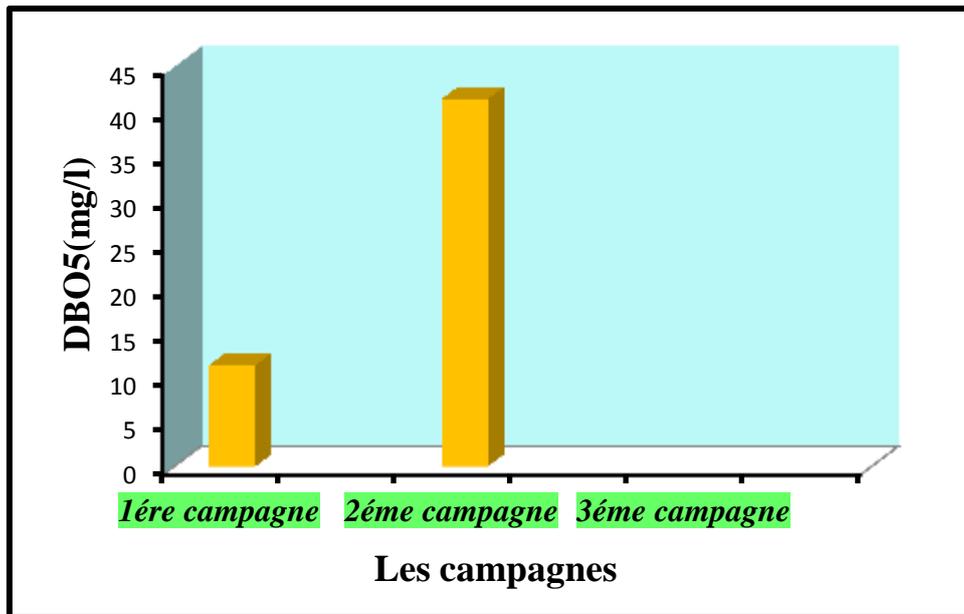


Figure.IV.17: Concentrations de la DBO₅ dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

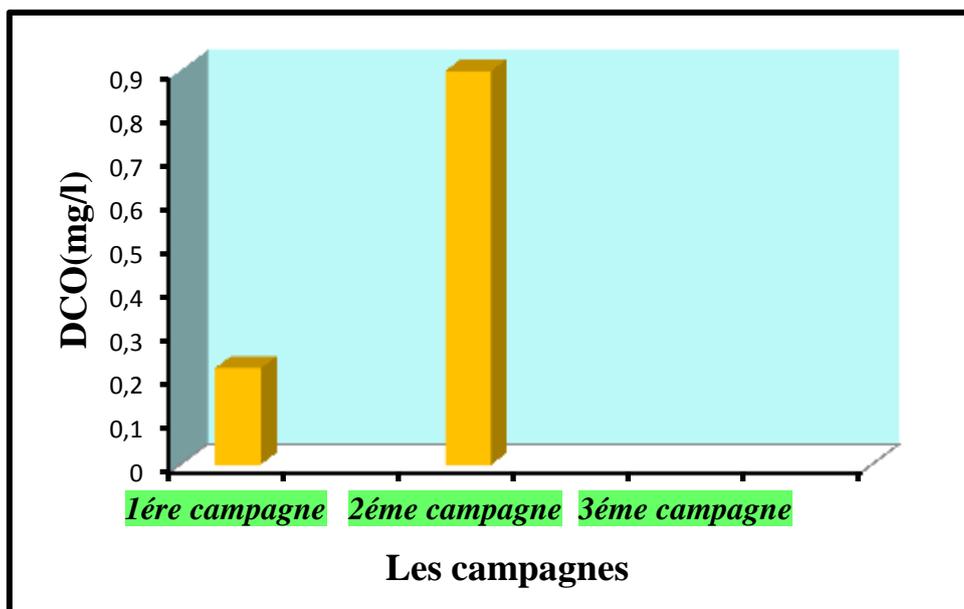


Figure.IV.18: Concentrations de la DCO dans les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

I.2. Résultats des analyses chimiques

I.2.1. Composition chimique

Pour avoir une idée sur la chimie des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane, nous avons réalisé un diagramme radial (Figure.IV.19) à partir des moyennes des éléments majeurs analysés en mg/l. Ce diagramme montre que ces eaux ont des teneurs :

- Elevées en : Bicarbonates, Sulfates, Chlorures;
- Moyennes en : Calcium et sodium;
- Faibles en : Potassium et Magnésium.

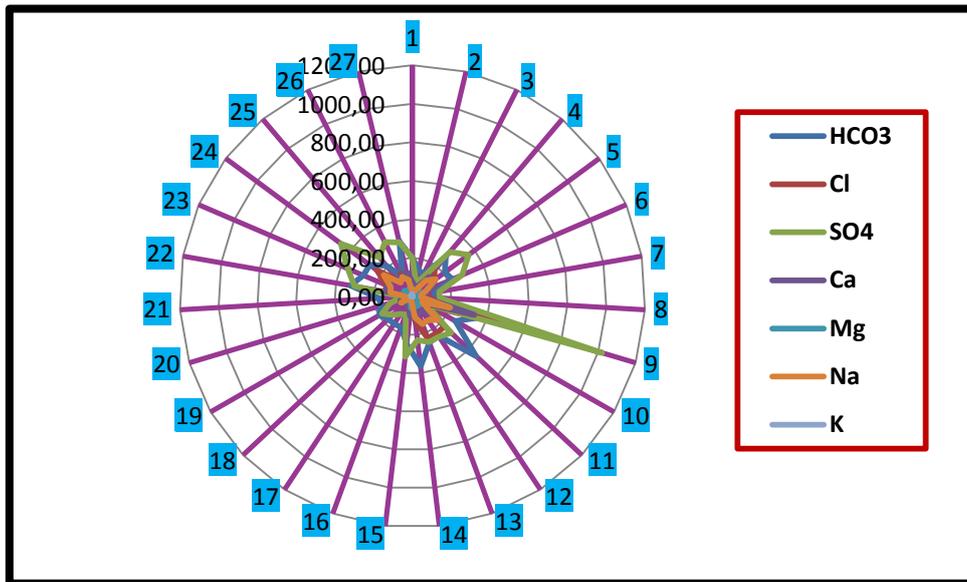


Figure.IV.19: Composition chimique des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

I.2.2. Faciès chimique

Afin de vérifier la fiabilité des analyses, on a vérifié les résultats obtenus en établissant la balance ionique pour chaque analyse, nous avons établi la formule ionique et cela en classant par ordre décroissant de gauche à droite les anions puis les cations.

A partir de ces formules ioniques, découle le faciès chimique spécifique pour les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (Tableau.IV.2).

Les eaux étudiées ont été classé en trois (03) faciès chimiques dominants, le sulfaté-calcique représentant 51,85 %, le bicarbonaté - calcique 29,63% et le chloruré-sodique 7,40%.

On note que le faciès chimique le plus dominant pour les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane est le sulfaté-calcique.

Tableau IV.2: Résultats des analyses et faciès chimiques

N°	Formule ionique	Faciès chimique
1	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+ > rK^+$	sulfaté-calcique
2	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+ > rK^+$	bicarbonaté-calcique
3	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+ > rK^+$	bicarbonaté-calcique
4	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- - rCa^{2+} > rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+$	sulfaté-calcique
5	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- - rCa^{2+} > rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+$	sulfaté-calcique
6	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+ > rK^+$	sulfaté-calcique
7	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- - rCa^{2+} > rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+$	sulfaté-calcique
8	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+ > rK^+$	sulfaté-calcique
9	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- - rMg^{2+} > rCa^{2+} > rNa^+ > rK^+$	sulfaté-magnésien
10	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} - rCa^{2+} > rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+$	bicarbonaté-calcique
11	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} - rNa^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+} > rK^+$	bicarbonaté-sodique
12	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- - rNa^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+} > rK^+$	chloruré-sodique
13	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- - rNa^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+} > rK^+$	chloruré-sodique
14	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^- - rCa^{2+} > rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+$	bicarbonaté-calcique
15	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+ > rK^+$	sulfaté-calcique
16	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+ > rK^+$	bicarbonaté-calcique
17	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+ > rK^+$	bicarbonaté-calcique
18	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+ > rK^+$	sulfaté-calcique
19	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+$	sulfaté-calcique
20	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+ > rK^+$	bicarbonaté-calcique
21	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} - rCa^{2+} > rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+$	bicarbonaté-calcique
22	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+$	sulfaté-calcique
23	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+$	sulfaté-calcique
24	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- - rNa^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+} > rK^+$	sulfaté-sodique
25	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+$	sulfaté-calcique
26	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- - rCa^{2+} > rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+$	sulfaté-calcique
27	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+ > rK^+$	sulfaté-calcique

I.2.3.Représentation graphique des analyses chimiques

Pour une bonne visualisation des résultats, on a représenté ces derniers sur les diagrammes de Stabler, Stiff, Piper et Schoeller-Berkaloff.

I.2.3.1. Diagramme de Stabler

L'interprétation des résultats des analyses chimiques des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane révèle un faciès dominant de type sulfaté-calcique (51,85%) pour quatorze (14) point d'eau et bicarbonaté-calcique (29,63%) pour huit point d'eau, à l'exception des restes des points d'eau, on a les faciès chloruré-sodique (7,40%) et les carbonaté-sodique, sulfaté-sodique et sulfaté-magnésien (3,70%) (Figure.IV.20).



Figure.IV.20: Représentation graphique des faciès chimiques des eaux brutes du bassin versant de l’Oued Bouhamdane sur le diagramme de Stabler

I.2.3.2. Diagramme de Stiff

Le diagramme de Stiff donne une interprétation claire sur les faciès chimiques cités dans le Tableau.IV.2. En plus cette représentation permet un archivage graphique des analyses chimiques.

Par ailleurs on aperçoit une forte extension des ions (SO_4^{2-}), (Cl^-), (Ca^{2+}), (HCO_3^-) et (Na^+) du polygone représentant les analyses des points 2,4, 14, 15, 19, 21,22 et 23.

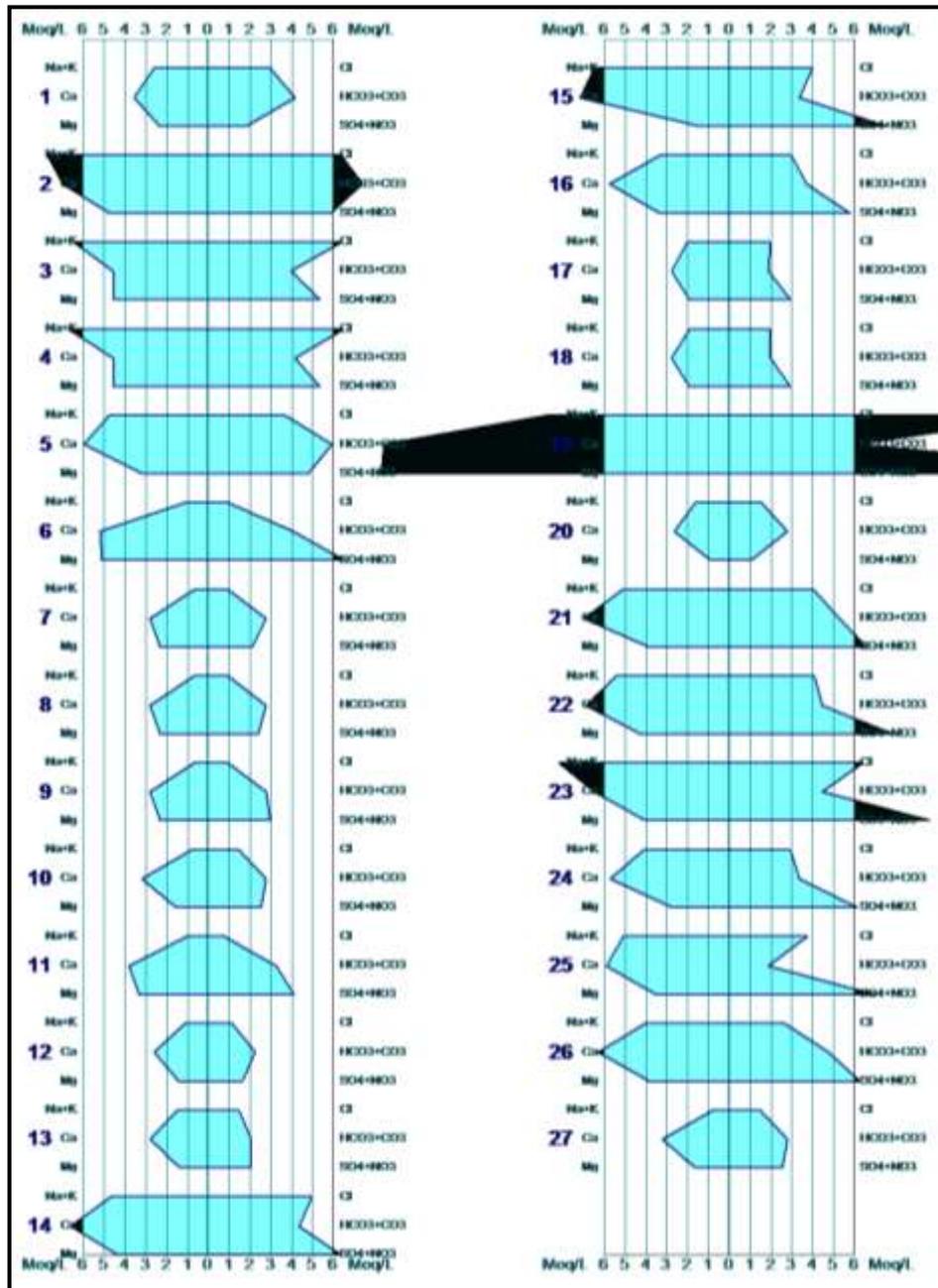


Figure.IV.21: Représentation graphique des faciès chimiques des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane sur le diagramme de Stiff

I.2.3.3. Diagramme de Piper

Pour une bonne interprétation de cette représentation, on est obligé de bien expliquer la répartition des éléments sur les deux triangles, celui des cations et celui des anions, qui expliquent le losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs (Figure.IV.22).

a. Triangle des cations

- *Pôle calcique* : Tous les points indiquant une forte concentration en Ca^{2+} .
- *Pôle magnésien* : La majorité des points se concentrent entre 10% et 40%.

- *Pôle sodique* : Teneurs variant entre 10 et 50%.

b. Triangle des anions

- *Pôle chloruré* : On constate que la teneur des chlorures ne dépasse pas les 50%.
- *Pôle bicarbonaté* : On remarque la teneur la plus élevée au point 1 (90%) et les autres points dépassent les 50%.
- *Pôle sulfaté* : Teneurs variant entre 60 et 90% qui indiquant une forte concentration en SO_4^{2-} .

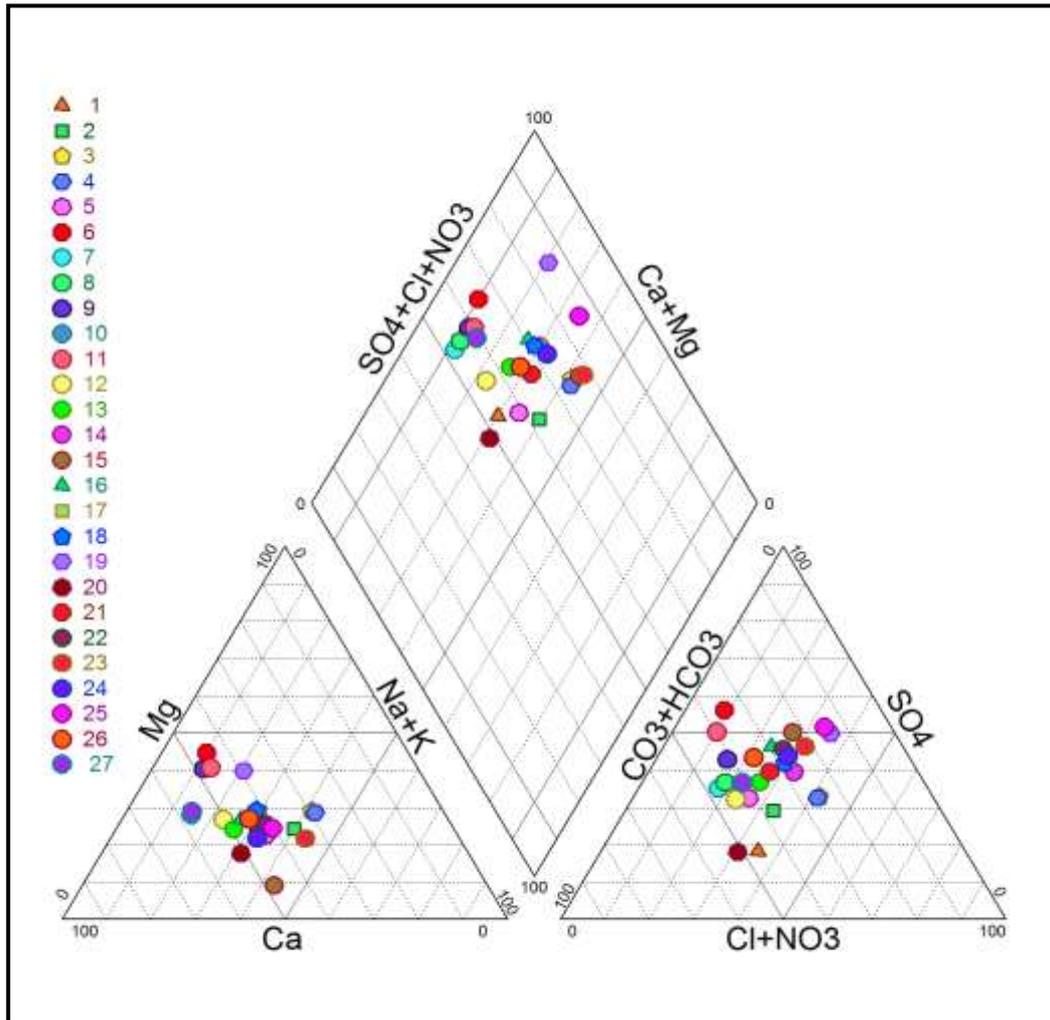


Figure.IV.22: Représentation graphique des faciès chimiques des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane sur le diagramme de Piper

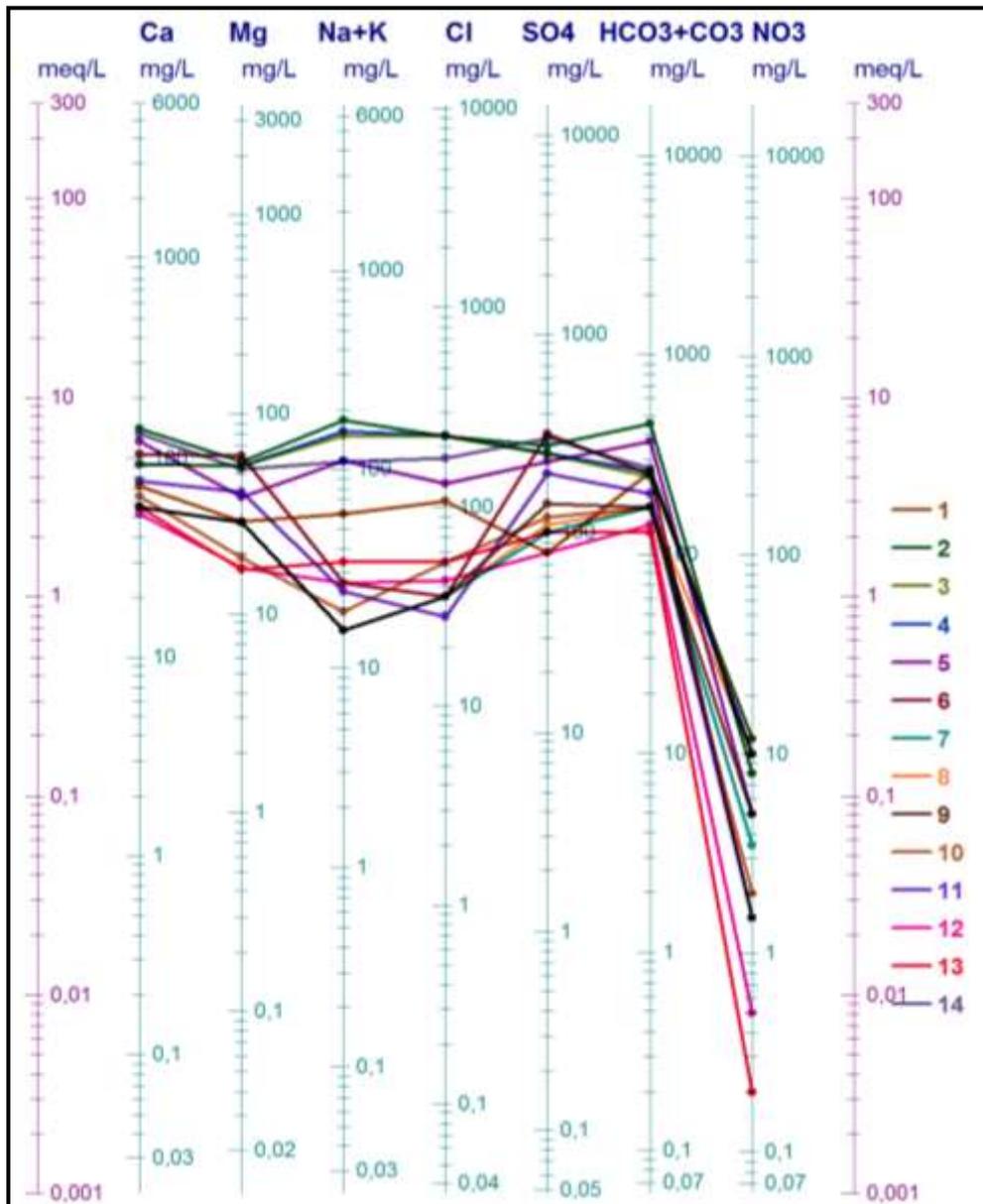
I.2.3.4. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Dans ce diagramme on reporte directement les résultats des analyses chimiques en mg/l (Figure.IV.23).

D'après le diagramme de Schoeller, on remarque que le faciès chimique le plus dominant est le sulfaté - calcique avec le pourcentage de 51,58% (Tableau.IV.4).

Tableau IV.3: Interprétation des diagrammes de Schoeller- Berkaloff

Faciès chimiques	Nombre d'échantillon	Pourcentage
sulfaté-calciq	14	51,58%
bicarbonaté-calciq	8	29,63%
chloruré-sodique	2	7,40%
sulfaté-magnésien	1	3,70%
carbonate-sodique	1	3,70%
sulfaté-sodique	1	3,70%



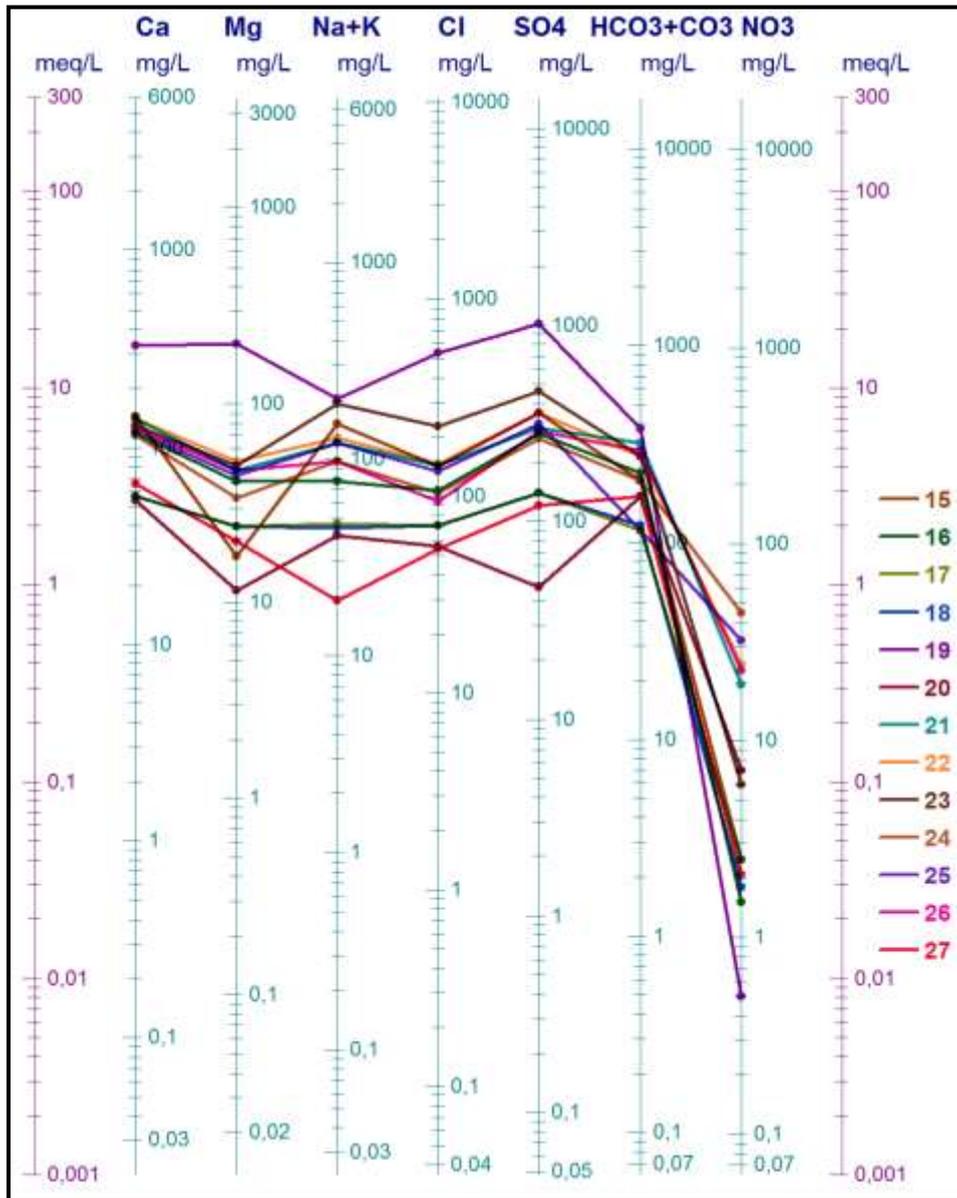


Figure.IV.23 : Représentation graphique des faciès chimiques des eaux brutes du bassin versant de l’Oued Bouhamdane sur le diagramme de Schoeller- Berkaloff

I.3. Aptitude des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane pour l'irrigation

Ces eaux de l'Oued Bouhamdane sont destinées à l'irrigation, c'est pour cela la qualité de l'eau utilisée dans l'agriculture doit présenter les meilleurs paramètres physicochimiques.

Il est connu que les sels minéraux contenus dans l'eau ont des effets sur le sol, les plantes et les êtres humains. Ces sels peuvent perturber le développement physique des plantes par l'absorption, qui agissent sur le processus osmotique, ou chimiquement par les réactions métaboliques telles que celles causées par les constituants toxiques. En plus, les sels causent des changements dans la structure du sol, sur sa perméabilité et sur son aération, affectant directement le développement de la plante. Par conséquent, la consommation de cette dernière peut être à l'origine des maladies chroniques.

Pour mettre en évidence de phénomène nous allons utiliser trois méthodes qui sont :

- La salinité CE ($\mu S/cm$),
- La classification de Richard ou Riverside (S.A.R),
- La classification de Wilcox.

I.3.1. La salinité

Les sels dissous arrivent donc à la zone racinaire des plantes sur lesquelles l'action est directe soit sur l'évolution de la plante soit sur la production. La connaissance des concentrations de ces sels est importante pour la détermination des effets sur la récolte et sur les sols car la présence des sels dessous en forte concentration influe sur la qualité de l'eau qui engendre principalement des problèmes de salinité et de toxicité. Selon la conductivité électrique, l'eau peut être classée en trois catégories (Tableau.IV.4).

Tableau.IV.4: Qualité de l'eau pour l'irrigation selon la conductivité électrique

Restriction pour la salinité	Salinité CE ($\mu S/cm$)	Valeurs des compagnes des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane		
		1 ^{ère} compagne (22 mars 2013)	2 ^{ème} compagne (13 juin 2013)	3 ^{ème} compagne (16 mars 2015)
Aucune	<700	/	/	/
Légère à modéré	700-3000	966	1112,73	1232,29
Forte	>3000	/	/	/

On remarque que l'ensemble des échantillons des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane prélevés pendant les trios compagnes, sont classés dans la classe légère à modérée. Donc ces eaux ne présentent aucun risque pour l'irrigation.

I.3.2. La classification de Richard (S.A.R)

I.3.2.1. Principe du diagramme

Le S.A.R (Sodium Adsorption Ration) est donné par la formule :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{2}}}$$
(13)

Où : Na⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺ sont exprimés en méq/l.

Les valeurs de SAR sont représentées en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau, cette dernière permet une estimation de la minéralisation des eaux, elle est exprimée en *µs / cm*.

Tableau IV.5: Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1 ^{ère}	Excellente	C ₁ -S ₁	Eau à utilisation sans danger pour l'irrigation pour la plupart des sols.
2 ^{ème}	Bonne	C ₂ -S ₁ C ₂ -S ₂	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes en sels.
3 ^{ème}	Admissible	C ₃ -S ₁ C ₄ -S ₂ C ₃ -S ₃	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes en sel, sur des sols bien drainés l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4 ^{ème}	Médiocre	C ₄ -S ₁ C ₄ -S ₂ C ₄ -S ₃	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes en sel sur des sols bien drainés et lessivés.
5 ^{ème}	Mauvaise	C ₄ -S ₁ C ₄ -S ₂ C ₃ -S ₃	Eau ne convenant pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions.

L'application de cette méthode aux eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane, montre qu'elles appartiennent aux classes (C₂-S₁) et (C₃-S₁). (Figure.IV.24et Tableau.IV.6). Ces classes sont qualifiées de qualité bonne à admissible et que l'eau est à utiliser avec précaution dans les sols mal drainés et seulement pour l'irrigation de cultures tolérantes aux sels. Le drainage est nécessaire.

Tableau IV.6: Classe des qualités des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane pour l'irrigation

Classes	Nombre d'échantillon	Qualité (type d'eau)
C ₂ S ₁	6	Bonne
C ₃ S ₁	21	Admissible

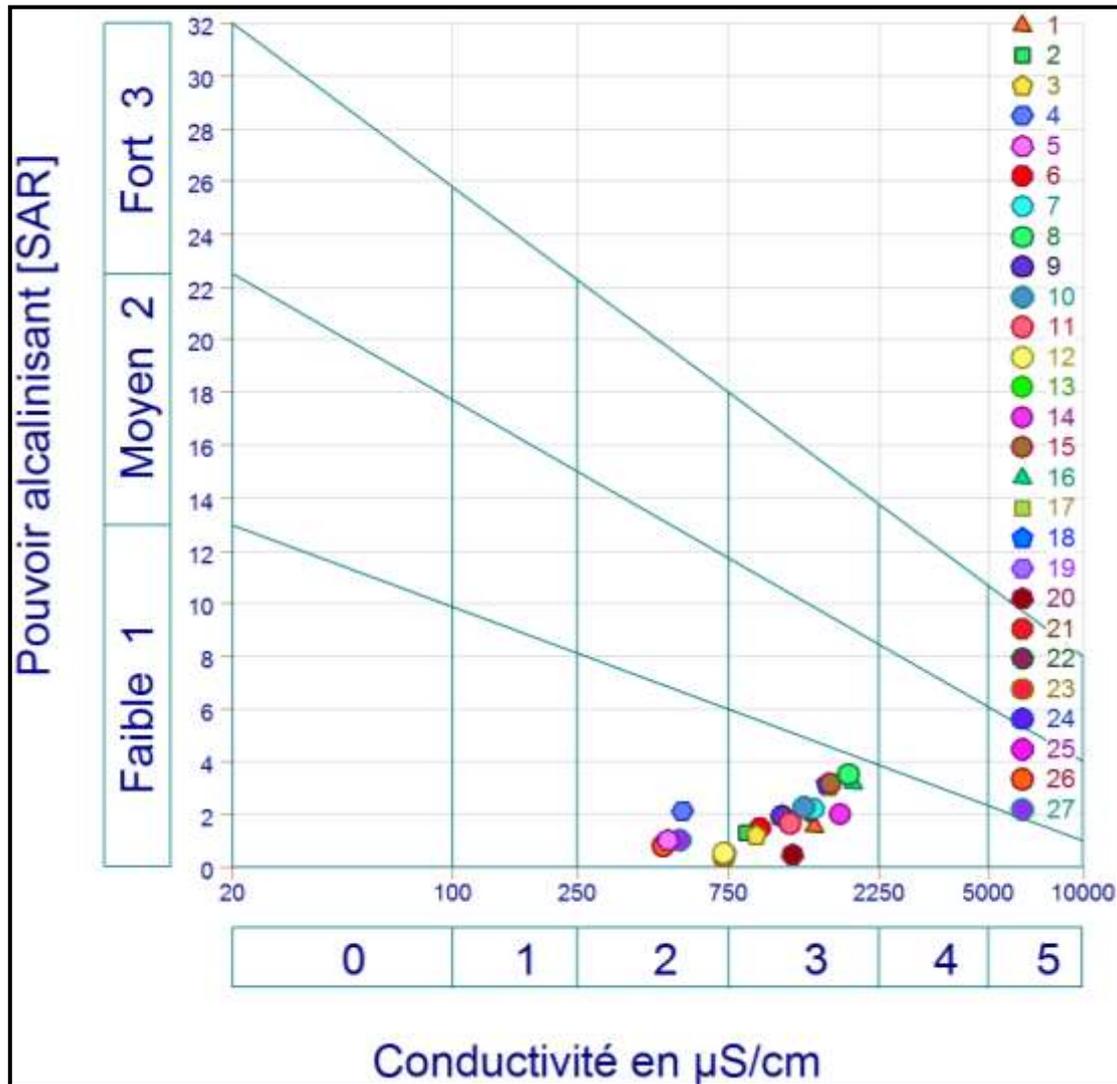


Figure.IV.24: Représentation graphique de l’aptitude des eaux brutes du bassin versant de l’Oued Bouhamdane à l’irrigation selon la méthode de S.A.R

I.3.3. La classification de Wilcox

Le diagramme de Wilcox (1948) est une représentation graphique du pourcentage du sodium (% Na⁺) en fonction de la conductivité électrique, permettant de déterminer le risque de salinité des eaux. La classification définit cinq classes d’eau : excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise. L’augmentation de la charge en Na⁺ influence négativement le développement des plantes. Cette classification est définie par l’équation suivante:

$$\%Na^+ = [Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)] * 100 \dots\dots\dots (14)$$

Le diagramme de Wilcox montre que les eaux brutes du bassin versant de l’Oued Bouhamdane sont classés en deux classes ; excellente et bonne (Figure.IV.25), et que la majorité de ces eaux sont de bonne qualité.

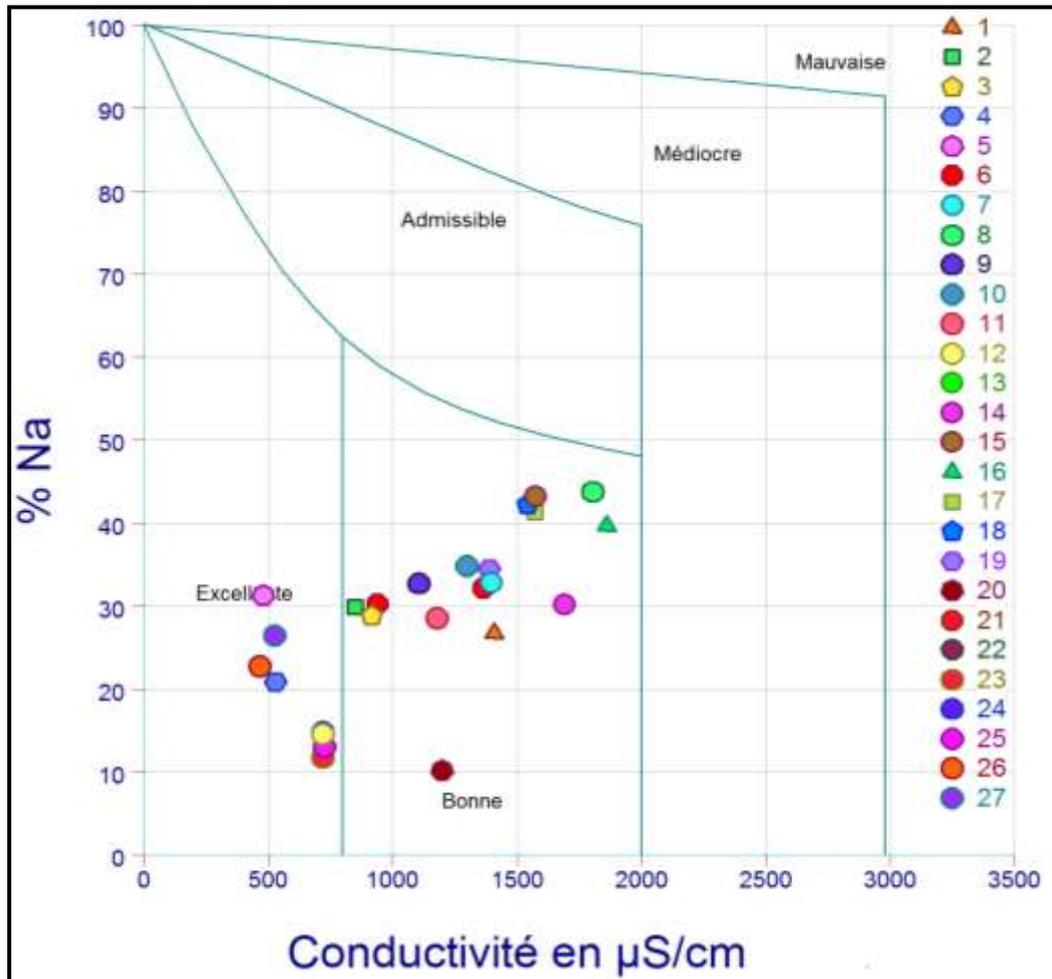


Figure.IV.25: Représentation graphique de l'aptitude des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane à l'irrigation selon la méthode de Wilcox

On constate donc que les trois méthodes semblent donner globalement les mêmes résultats et d'une manière générale, les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane présentent des bonnes qualités pour leur utilisation en irrigation.

I.4. Conclusion

Les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane sont caractérisées par le faciès chimique le plus dominant le sulfaté-calcique.

Les représentations graphiques de Schoeller-Berkaloff, de Piper, de Stiff et de Stabler sur les résultats des analyses chimiques ont données le même résultat.

En tenant compte des considérations de la salinité, de la méthode de S.A.R et du diagramme de Wilcox en fonction de la conductivité électrique, les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane ont une bonne qualité pour l'irrigation.

II. Les caractéristiques hydrochimiques des eaux traitées du barrage Hammam Debagh

II.1. Introduction

Pour avoir une idée sur la variation temporelle de la qualité des eaux traitées du barrage Hammam Debagh, on a jugé utile d'étudier l'évolution de la qualité de ces eaux. On a pris en considération les résultats des analyses chimiques effectuées par l'ANBT / Algérie.

Les données ont porté sur une période d'onze (11) années, s'étendant de 2005 à 2015.

Les concentrations annuelles retenues dans notre étude, représentent les moyennes des valeurs mensuelles enregistrées durant une année (douze prélèvements par année).

L'interprétation des résultats d'analyses chimiques a pour but de déterminer les différents faciès chimiques des différentes analyses et d'effectuer des comparaisons temporelles des différents paramètres de potabilité des eaux du barrage.

II.2. Résultats des analyses chimiques

II.2.1. Composition chimique

Pour mieux avoir une idée sur la chimie des eaux traitées du barrage Hammam Debagh, nous avons réalisé un diagramme radial (Figure.IV.26) à partir des moyennes des éléments majeurs analysés en mg/l. Ce diagramme montre que ces eaux ont des teneurs :

- Elevées en : Sulfates, Bicarbonates et Chlorures ;
- Moyennes en : Magnésium et Calcium;
- Faibles en : Potassium et Sodium.

II.2.2. Faciès chimiques

L'interprétation des résultats des analyses chimiques révèle deux faciès dominants :

- Le premier chloruré – magnésien représentant 27,27%.
- Le second sulfaté - calcique correspondant à 27,27%.

Le tableau suivant donne les résultats des faciès chimiques en fonction des formules ioniques de chaque analyse chimique.

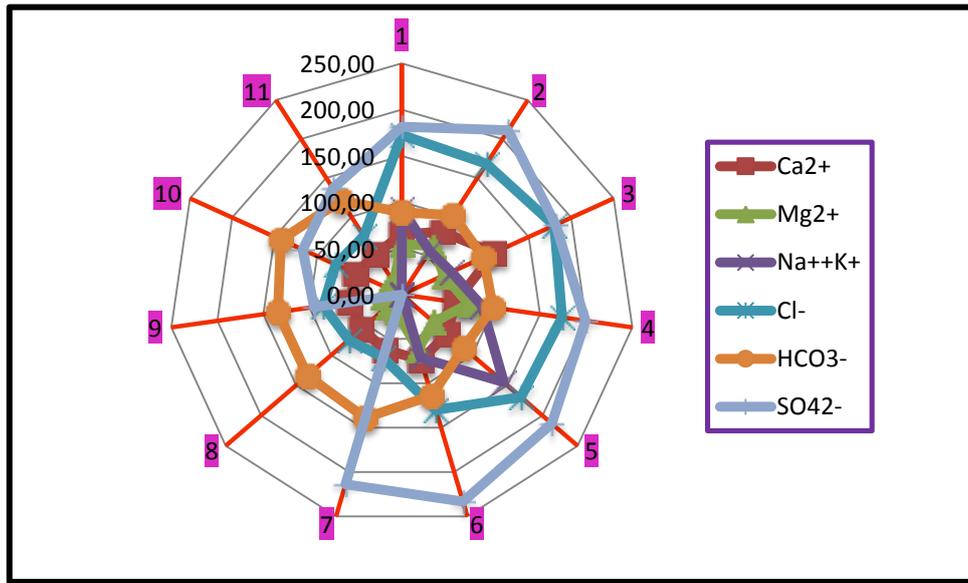


Figure.IV.26: Composition chimique des eaux traitées du barrage Hammam Debagh

Tableau.IV.7: Résultats des analyses et faciès chimiques des eaux traitées du barrage Hammam Debagh

N°	Formule ionique	Faciès chimique
2005	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- - rMg^{2+} > rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	chloruré-magnésien
2006	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- - rMg^{2+} > rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	chloruré-magnésien
2007	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	chloruré-calcique
2008	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- - rMg^{2+} > rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	chloruré-magnésien
2009	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- - r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+} > rCa^{2+}$	chloruré-sodique
2010	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- - rMg^{2+} > rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	sulfaté-magnésien
2011	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	sulfaté- calcique
2012	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} - rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	bicarbonaté- calcique
2013	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} - rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	chloruré-calcique
2014	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	sulfaté- calcique
2015	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	sulfaté- calcique

II.3.Représentation graphique des analyses chimiques

Pour une bonne visualisation des résultats, on a représenté ces derniers sur les diagrammes de Stabler, Stiff, Piper et Schoeller-Berkaloff.

II.3.1. Diagramme de Stabler

L'interprétation des résultats des analyses chimiques des eaux traitées du barrage Hammam Debagh révèle deux faciès dominants ; le premier est le chloruré – magnésien représentant 27,27% (2005, 2006 et 2008) et le second est de type sulfaté-calcique correspond à 27,27% (2011, 2014 et 2015) (Figure.IV.297).

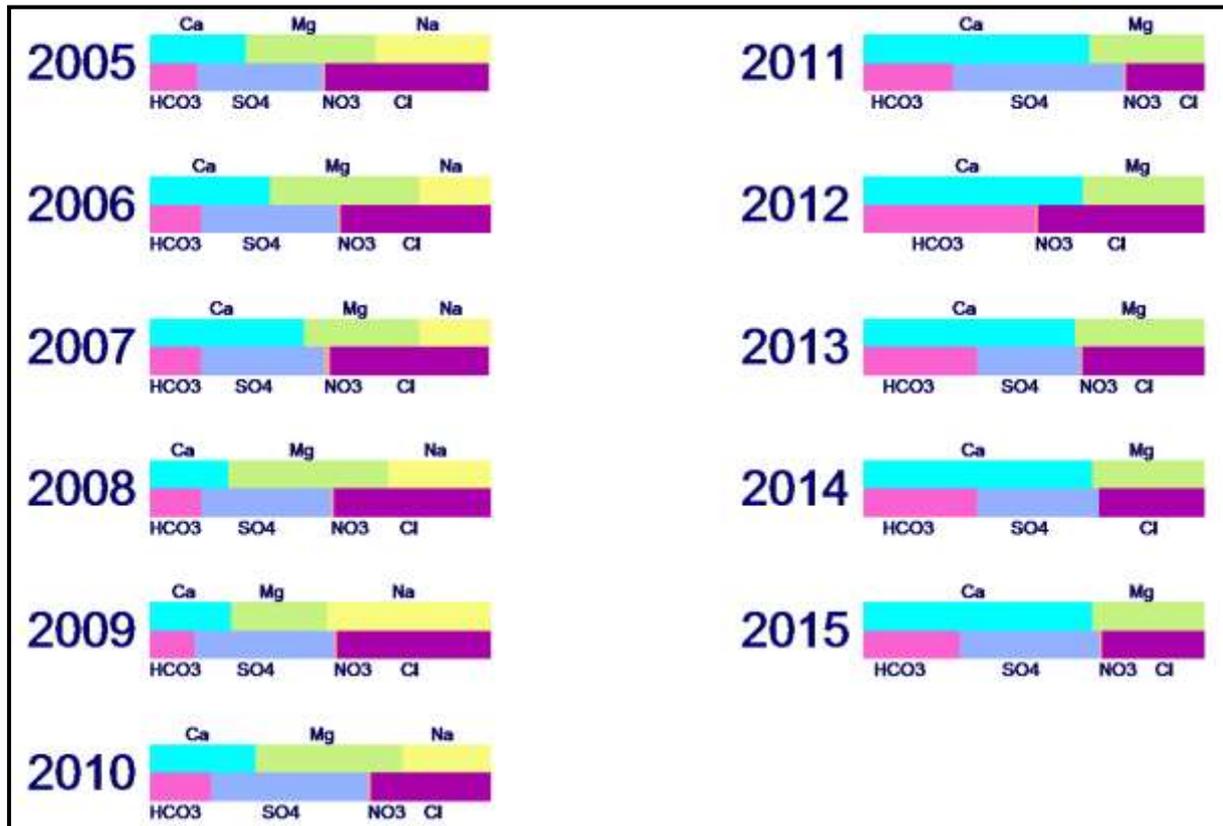


Figure.IV.27: Représentation graphique des faciès chimiques des eaux traitées du barrage Hammam Debagh sur le diagramme de Stabler (2005-2015)

II.3.2. Diagramme de Schoëller-Berkaloff

L'interprétation des diagrammes de Schoëller-Berkaloff montre que les eaux traitées du barrage sont classées en deux faciès chimiques dominants ; chloruré-magnésien et sulfaté-calcique, qui apparaissent dans la Figure.IV.28.

II.3.3. Diagramme de Piper

A partir du diagramme de Piper des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (Figure.IV.31), les points figuratifs des analyses situent les cations dans le domaine calcique (85%) et accessoirement dans le domaine magnésien (15%). Les anions sont plutôt figurés à (71%) dans le domaine Sulfaté et accessoirement dans le domaine chloruré (29%). Ainsi, nous observons deux principaux faciès chimiques :

- Chloruré-magnésien ;
- Sulfaté – calcique.

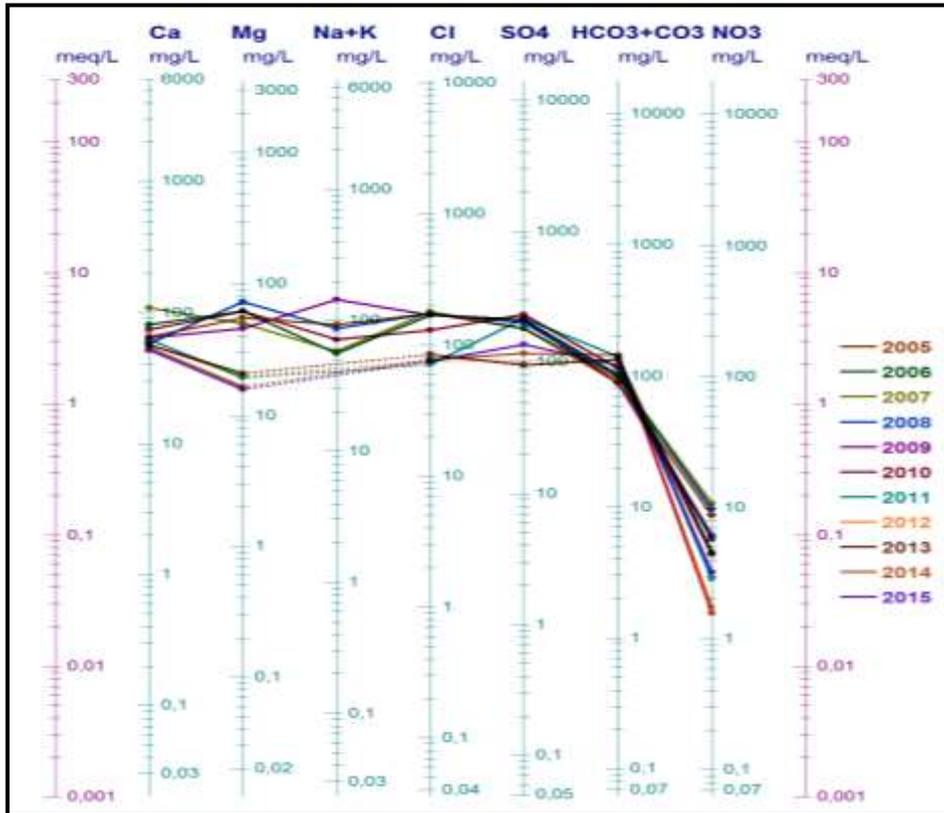


Figure.IV.28: Représentation graphique des faciès chimiques des eaux traitées du barrage Hammam Debagh sur le diagramme de Schoëller-Berkaloff (2005-2015)

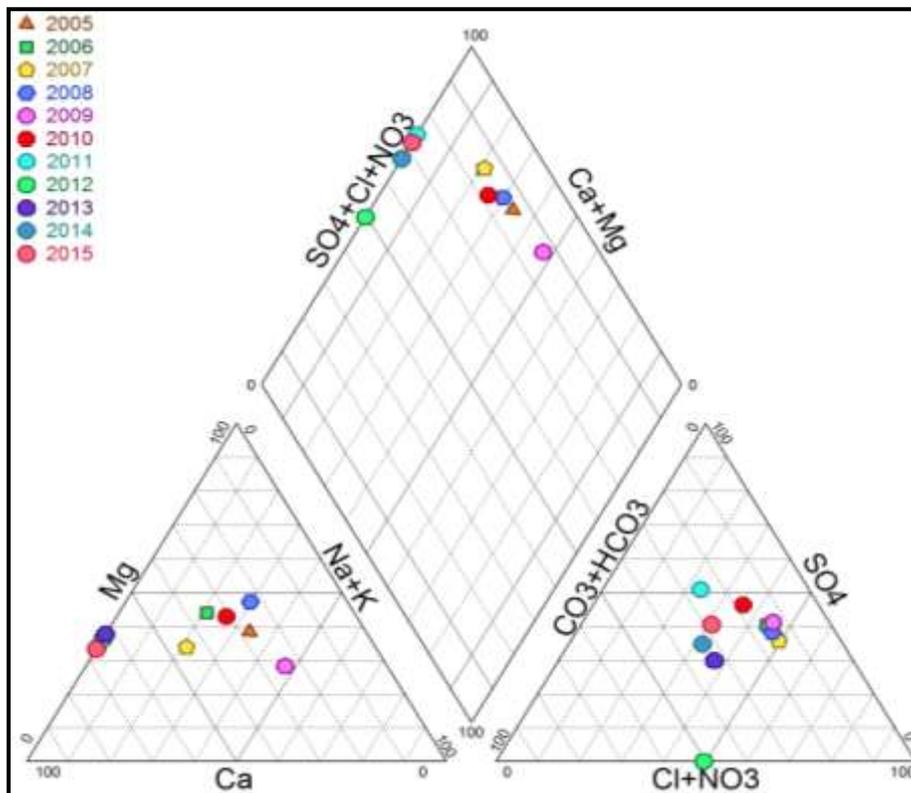


Figure.IV.29: Représentation graphique des faciès chimiques des eaux traitées du barrage Hammam Debagh sur le diagramme de Piper (2005-2015)

II.3.4. Diagramme de Stiff

Le diagramme de Stiff donne une interprétation claire sur les faciès chimiques cités dans le Tableau.IV.7. En plus, cette représentation permet un archivage graphique des analyses chimiques.

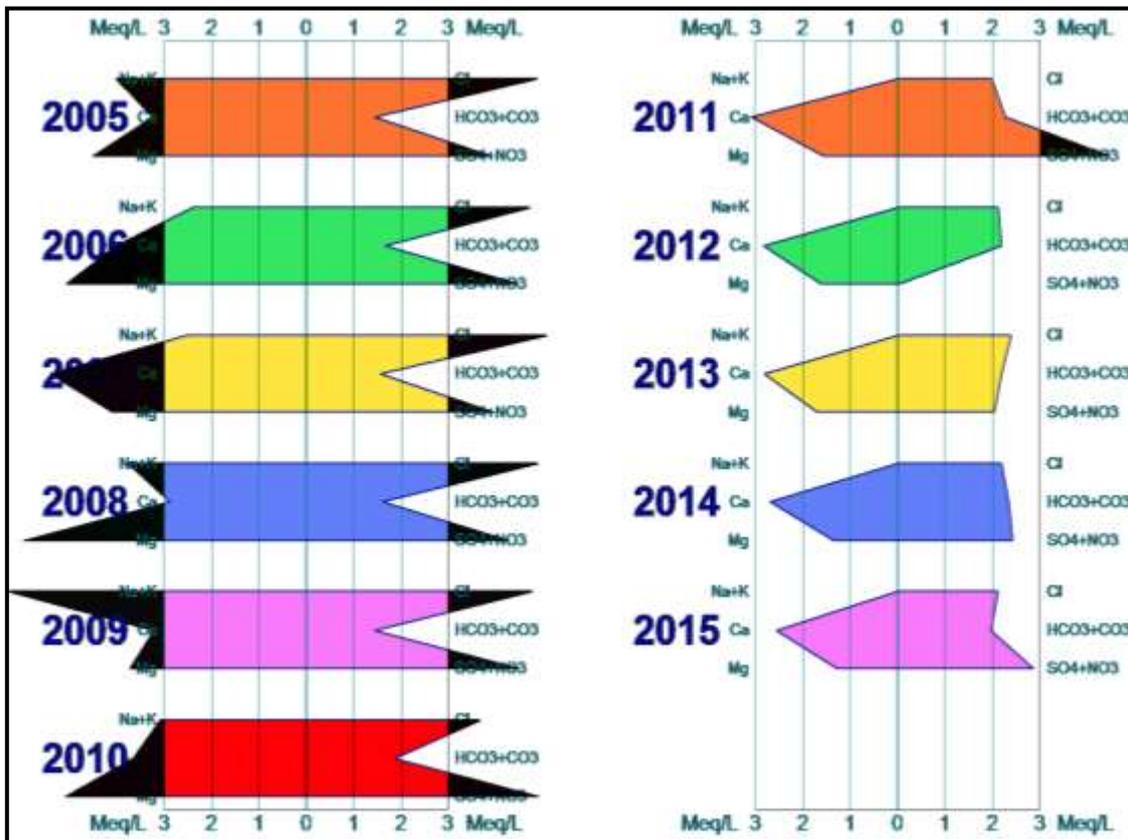


Figure.IV.30: Représentation graphique des faciès chimiques des eaux traitées du barrage Hammam Debagh sur le diagramme de Stiff (2005-2015)

II.4. Aptitude des eaux à l’irrigation

Les eaux traitées du barrage sont destinées aussi à l’irrigation, c’est pour cela que nous sommes obligés de classer ces eaux, en utilisant le diagramme de Richard.

Tableau.IV.8: Classification les eaux traitées par degré d’aptitude à l’irrigation (méthode du S.A.R) du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

Degré	Qualité	Classe	Années	Etat d’utilisation
2ème	Bonne	C2-S1	2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013, 2014,2015	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l’irrigation des plantes moyennement tolérantes en sels.
3ème	Admissible	C3-S1	2011	En général, eau convenant à l’irrigation des cultures tolérantes en sel, sur des sols bien drainés l’évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

Sur le diagramme de Richard (Figure.IV.31), on peut distinguer les classes des eaux étudiées pour les onze (11) années, les résultats sont reportés dans le Tableau.IV.8.

Pour les années allant de 2005 à 2010, et de 2012 à 2015, les conductivités électriques varient entre 250 et 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ceci explique pourquoi les eaux figurent dans la classe bonne qualité. Contrairement à l'année 2011 où la conductivité dépasse les 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (872 $\mu\text{S}/\text{cm}$), les eaux sont donc de qualité admissible.

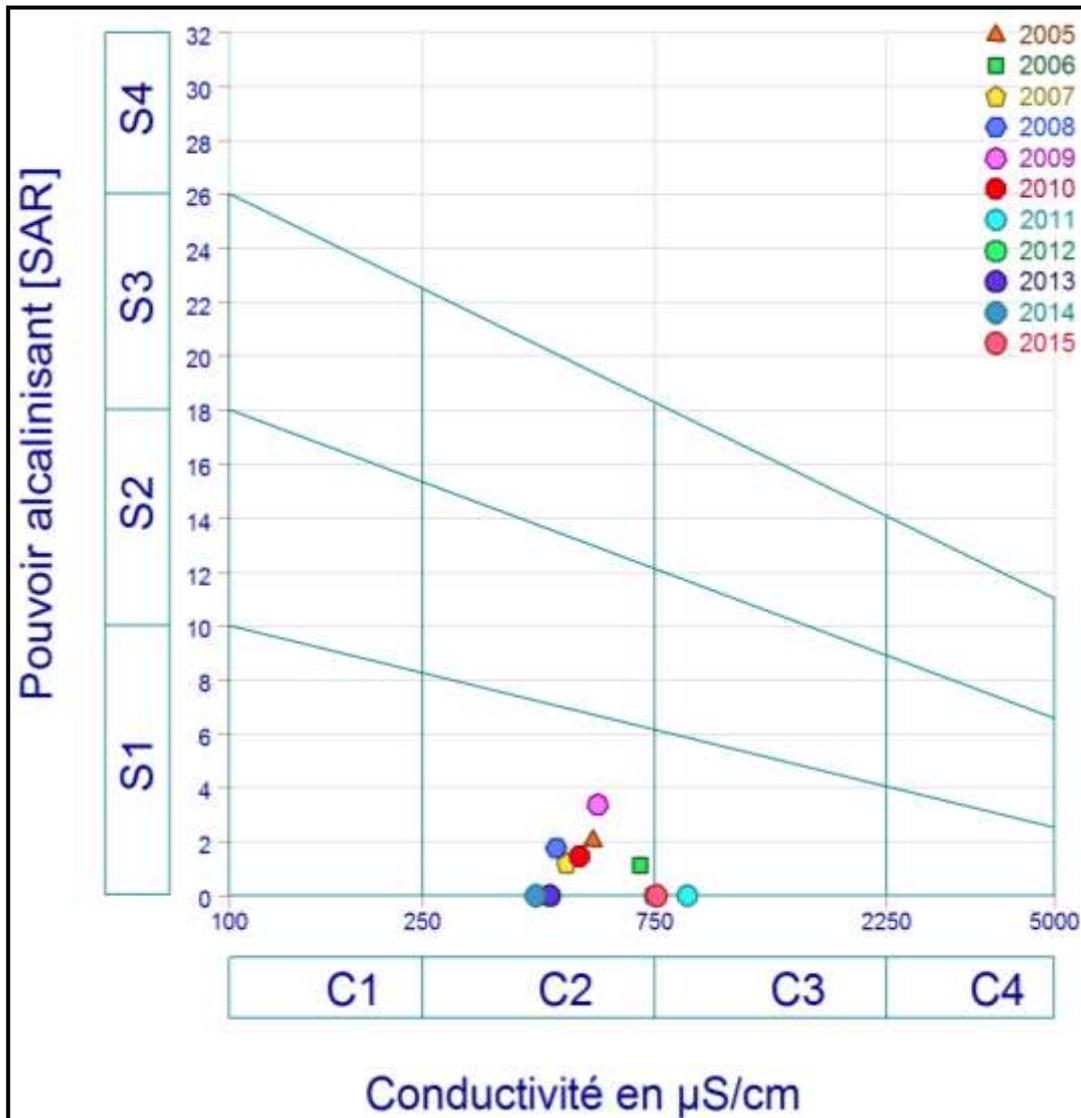


Figure.IV.31: Représentation graphique des eaux traitées du barrage Hammam Debagh sur le diagramme de Richard (2005-2015)

II.5. Evolution des paramètres de qualité des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

La qualité des eaux traitées du barrage et sa dégradation s'évalue à l'aide d'un groupe des paramètres de même nature ou de même effet appelé : altération.

On peut distinguer six types d'altération :

- Altération minéralisation : la conductivité électrique (CE), les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^{-2}) ;
- Altération matières azotées hors nitrates : l'ammonium (NH_4^+) et les nitrites (NO_2^-)
- Altération nitrates : les nitrates (NO_3^-) ;
- Altération matières organiques et oxydables : l'oxygène dissous (O_2d), la demande biochimique en oxygène (DBO_5) et la demande chimique en oxygène (DCO) ;
- Altération phosphates : les phosphates (PO_4^{-3}) ;
- Altération turbidité: la turbidité.

La qualité de l'eau pour la production d'eau potable est définie pour chaque altération dans quatre classes de qualité, ces dernières sont recommandées par le décret présidentiel n° 14-90 du 4 mars 2014, l'ABH de Constantine et l'ANBT d'Algérie (2017) (Tableau.IV.9).

Tableau.IV.9: Les classes d'aptitude à la production d'eau potable

Classe	Signification
Excellente	Eau de qualité optimale pour être consommée
Bonne	Eau de qualité acceptable pour être consommée mais pouvant, le cas échéant, faire l'objet d'un traitement de désinfection
Passable	Eau non potable nécessitant un traitement de potabilisation
Mauvaise	Eau inapte à la production d'eau potable

Source ABHCSM Constantine 2017

II.5.1. Altération Minéralisation

II.5.1.1. La conductivité électrique(CE)

Selon les résultats de la série d'analyses de l'eau traitées du barrage Hammam Debagh, nous avons noté que l'évolution de la conductivité électrique durant la période de 2005 à 2015, nous permet de dire qu'on a une eau de bonne qualité (Figure.IV.32) avec une valeur varie entre 428 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2014) et 872 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2011)

Tableau.IV.10: Grille de qualité des eaux de surface pour l'usage d'eau potable

Altération Minéralisation					
Paramètre	Unité				
Conductivité électrique	μS/cm	≥180 et ≤400	>400 et ≤2500	<180 ou >2500 et ≤4000	>4000
Chlorures	mg/l	25	200	/	>200
Sulfates	mg/l	25	250	/	>250
Altération Matières azotées hors nitrates					
Paramètre	Unité				
Ammonium	mg/l	0,05	0,5	4	>4
Nitrites	mg/l	0,05	0,1	0,7	>0,7
Altération Nitrates					
Paramètre	Unité				
Nitrates	mg/l	25	50	100	>100
Altération Matières organiques et oxydables					
Paramètre	Unité				
Oxygène dissous	%	100	90	50	30
DBO ₅	mg/l	0	5	10	15
DCO	mg/l	0	20	40	50
Altération Phosphates					
Paramètre	Unité				
Phosphates	mg/l	0-0,01	0,01-0,1	0,1-<3	>3
Altération Turbidité					
Paramètre	Unité				
Turbidité	NTU	<2	35	70	>105

Source ABHCSM Constantine 2017

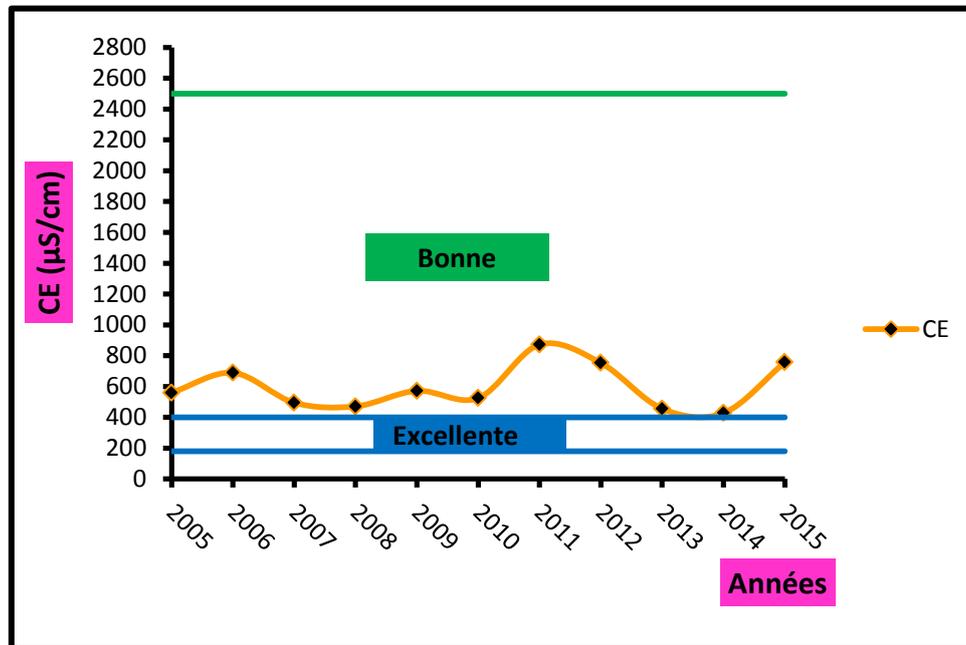


Figure.IV.32 Courbe d'évolution de la conductivité électrique des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

II.5.1.2. Les chlorures (Cl⁻)

Il est noté que les niveaux des chlorures dans l'eau du barrage Hammam Debagh ne dépassent pas la norme (200 mg/l). La concentration maximale est de 179,98 mg/l enregistrée en 2007 alors que la plus faible valeur est de 71 mg/l enregistrée en 2011; Ces résultats sont conformes que ces eaux sont de bonne qualité (Figure.IV.33).

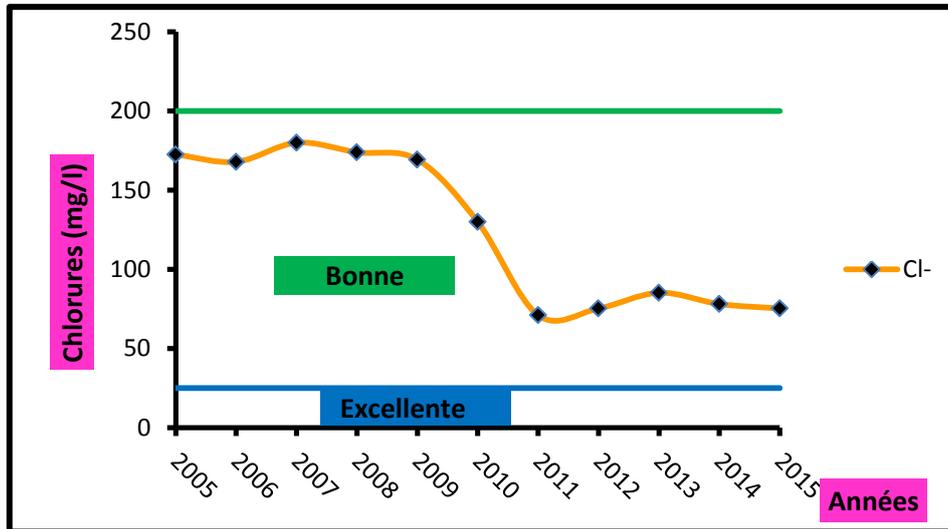


Figure.IV.33: Courbe d'évolution des chlorures des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

II.5.1.3. Les sulfates (SO₄⁻²)

Les concentrations observées dans les eaux traitées du barrage Hammam Debagh indiquent que le contenu moyen des sulfates ne dépasse pas la norme. La valeur maximale est de 233,28 mg/l enregistrée en 2010 tandis que le plus bas est de 95,15 mg/l enregistré en 2013. Les concentrations de nos eaux affichant une bonne qualité (Figure.IV.34).

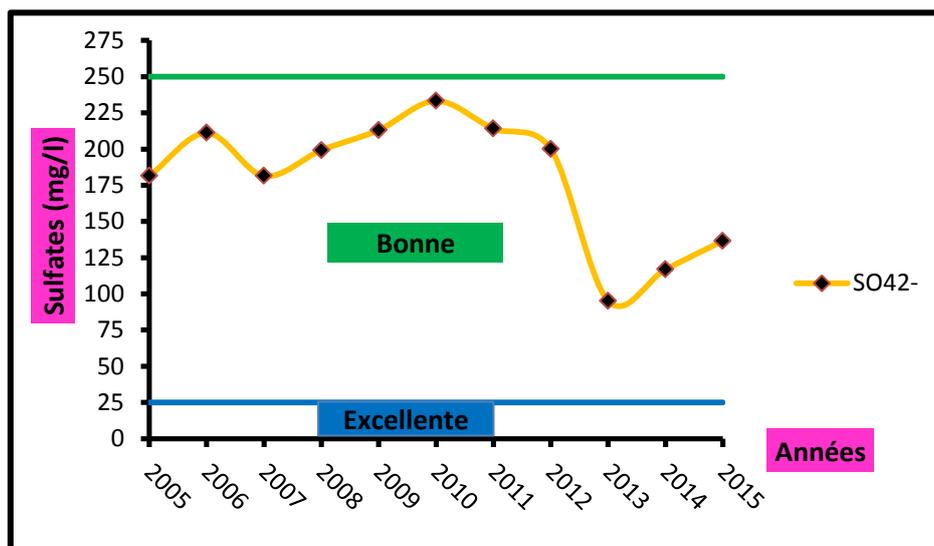


Figure.IV.34: Courbe d'évolution des sulfates des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

II.5.2. Altération matières azotées hors nitrates

II.5.2.1. L'Ammonium (NH_4^+)

Selon la Figure.IV.35, on observe que les eaux traitées du barrage Hammam Debagh sont de qualité excellente pendant les années 2005, 2006, 2007, 2008, 2012, 2013 et 2014. Concernant les années 2009, 2010, 2011 et 2015 ; la qualité de ces eaux est bonne.

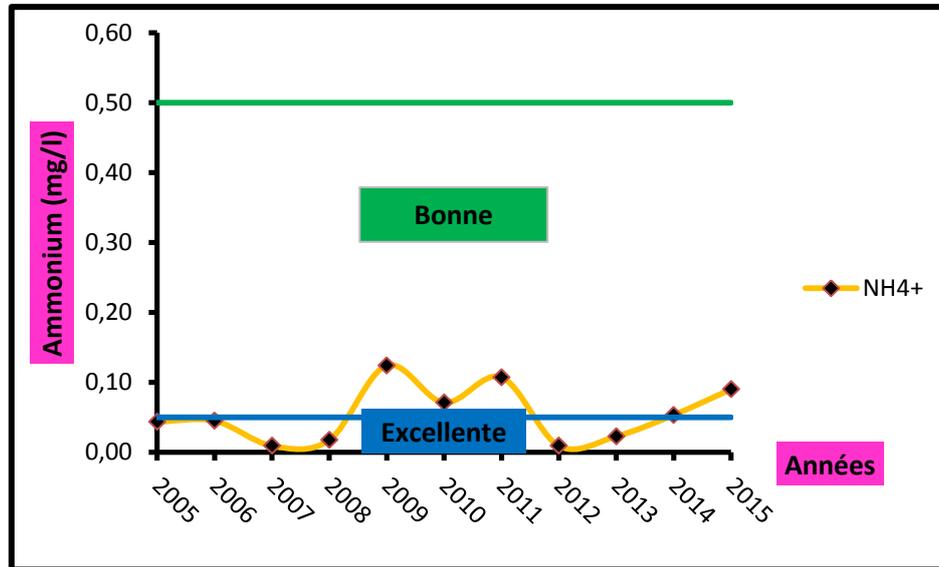


Figure.IV.35: Courbe d'évolution d'ammonium des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

II.5.2.2. Les nitrites (NO_2^-)

En ce qui concerne la qualité excellente, les années significatives sont 2005, 2006, 2008, 2010 et 2011, pour les années ; 2007, 2009, 2012, 2013, 2014 et 2015 dont les eaux sont dégradés en qualité bonne (Figure.IV.36).

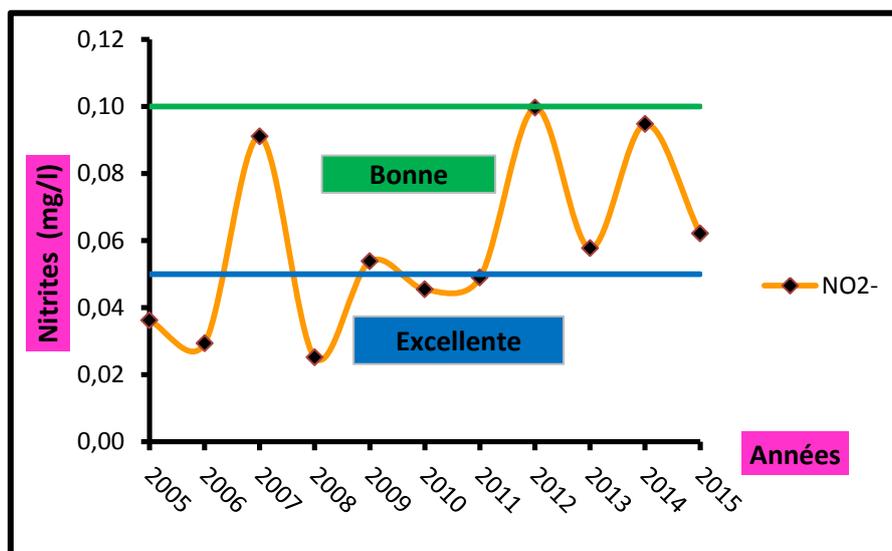


Figure.IV.36: Courbe d'évolution des nitrites des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

II.5.3. Altération Nitrates

II.5.3.1. Les nitrates (NO_3^-)

Toute la série des analyses (2005-2015) des eaux traitées du barrage Hammam Debagh, montre que ces eaux sont de qualité excellente (Figure.IV.37).

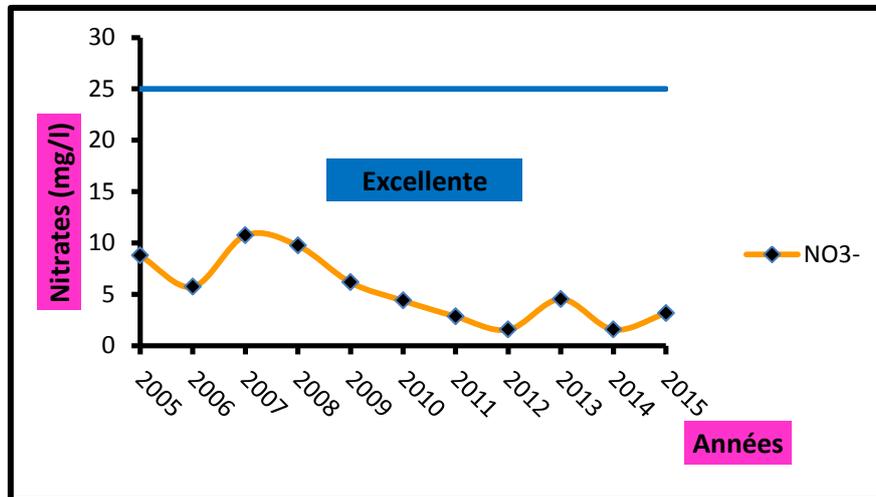


Figure.IV.37: Courbe d'évolution des nitrates des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

II.5.4. Altération Matières organiques et oxydables

II.5.4.1. L'oxygène dissous (O_2d)

Les valeurs obtenues pour l'oxygène dissous pendant la période de l'analyse des eaux traitées du barrage Hammam Debagh, reflétant deux classes de qualité (Figure.IV.38):

- La première classe : la qualité excellente ; chez les années 2007, 2010, 2011, 2013, 2014 et 2015 ;
- La deuxième classe : la qualité bonne : pour les années 2005, 2006, 2008, 2009 et 2012.

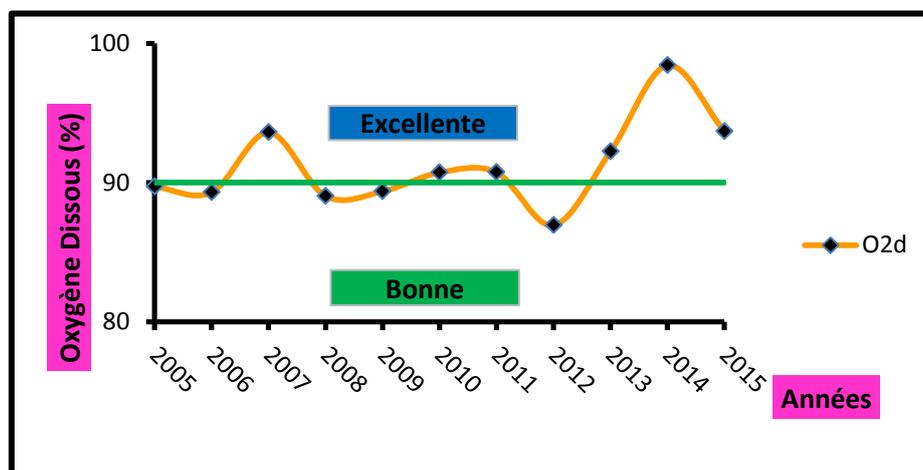


Figure.IV.38: Courbe d'évolution d'oxygène dissous des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

II.5.4.2. La demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La courbe de la DBO₅ (Figure.IV.39) affiche une eau d'excellente qualité durant les années ; 2005, 2008, 2010, 2012,2014 et 2015 ; et une eau de bonne qualité au cours des années ; 2006, 2007,2009, 2011et 2013.

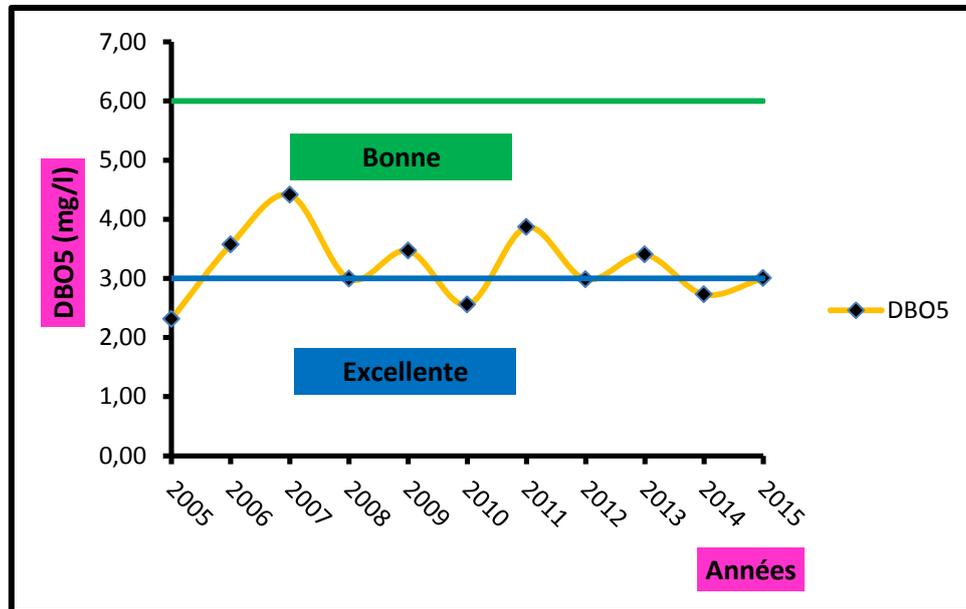


Figure.IV.39: Courbe d'évolution de la DBO₅ des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

II.5.4.3. La demande chimique en oxygène(DCO)

Dans l'ensemble, et à partir de la Figure.IV.40, on observe que toute la période d'observation donne la qualité bonne des eaux traitées du barrage Hammam Debagh, sauf l'année 2014 qui affiche la qualité passable pour ces eaux.

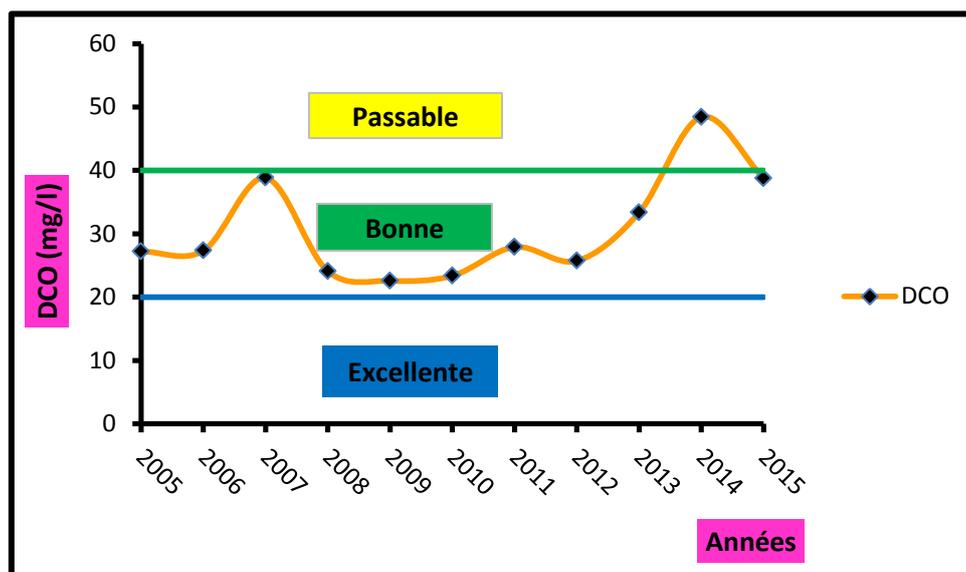


Figure.IV.40: Courbe d'évolution de la DCO des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

II.5.5. Altération Phosphates

II.5.5.1. Les phosphates (PO_4^{3-})

Les valeurs des phosphates des eaux traitées du barrage Hammam Debagh signifiant la dégradation de ces eaux en qualité passable au cours de la série des analyses , et une amélioration en bonne qualité pour les deux dernières années (2014 et 2015) (Figure.IV.41).

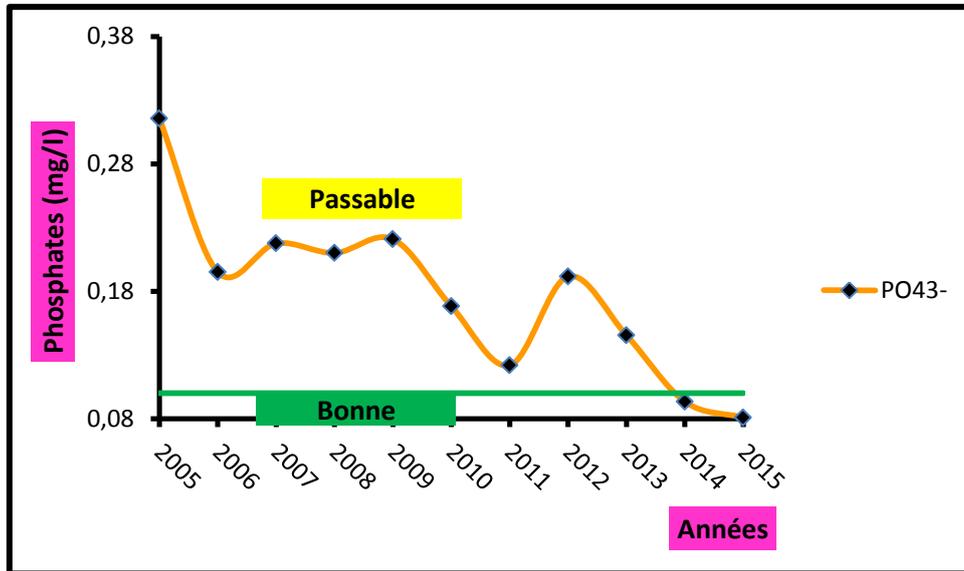


Figure.IV.41: Courbe d'évolution des phosphates des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

II.5.6. Altération Turbidité

II.5.6.1. La turbidité(Turb)

La courbe de la turbidité des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (Figure.IV.42) montre la qualité bonne durant toute la série d'observation.

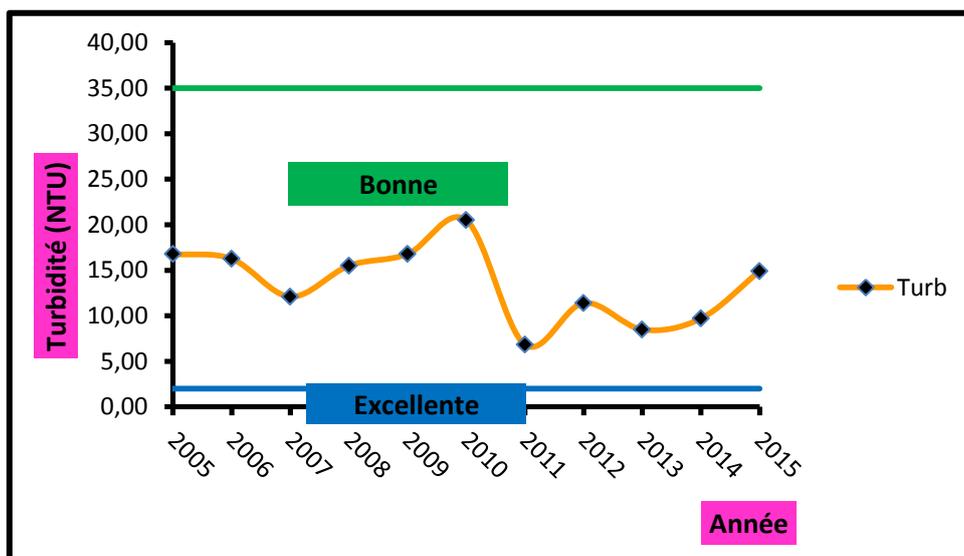


Figure.IV.42: Courbe d'évolution de la turbidité des eaux traitées du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

II.6. Conclusion

Les eaux traitées du barrage Hammam Debagh sont caractérisées par deux faciès chimiques dominant ; le chloruré – magnésien et le sulfaté - calcique.

Les représentations graphiques de Stabler, Schoeller-Berkaloff, Piper et de Stiff sur les résultats des analyses chimiques ont données le même résultat.

Du point de vue chlorures, sulfates, conductivité électrique et turbidité, les eaux traitées du barrage Hammam Debagh correspondent aux bonnes eaux.

Pour les nitrates les normes ont montré que les eaux traitées du barrage Hammam Debagh sont excellentes, alors que pour les nitrites, l'ammonium, l'oxygène dissous et la demande biochimique en oxygène les normes ont montré que ces eaux sont d'excellente à bonne qualité.

Concernant les phosphates et la demande chimique en oxygène, les eaux traitées du barrage Hammam Debagh sont dégradées de bonne à passable qualité.

III. Analyse en Composante Principale (A.C.P)

III.1. Généralité

La statistique multidimensionnelle a pour objet la description simultanée des données volumineuses, fournissant ainsi des informations à des éléments d'interprétation qu'on ne peut obtenir par les traitements classiques.

L'analyse en composante principale (A.C.P) permet une analyse des relations entre les nombreuses variables donnant ainsi des informations sur l'évolution du chimisme des eaux et la détermination des caractères dominants dans le milieu.

L'analyse en composante principale (A.C.P) est une méthode descriptive ayant pour objet la description des données contenues dans un tableau d'individus à caractères numériques (P) caractères sont mesurés sur (n) individus.

Le schéma de l'A.C.P est une méthode de réduction du nombre des caractères permettant une représentation géométrique des individus et des caractères.

Cette réduction ne sera possible que si les (P) caractères initiaux ne soient pas indépendant et ont des coefficients de corrélation non nuls.

L'A.C.P est une méthode factorielle, car la réduction du nombre de caractère ne se fait pas sur une simple sélection de certain d'entre- eux, mais par la construction de nouveaux caractères synthétiques obtenus en combinant les caractères initiaux au moyen des facteurs.

C'est une méthode linéaire car il s'agit de combinaison linéaire. Partant d'un tableau de données sur lequel figurent en colonnes (P) variables et en lignes (n) échantillons, il est possible de représenter chaque échantillon par un point dans un espace à (P) dimension (espace de variable). Egalement chaque variable peut-être représentée dans un espace à n dimensions (espace des échantillons).

On obtient ainsi un nuage de points dont il est impossible de visualiser la structure.

Aussi faut-il avoir recours à une représentation dans un espace à dimensions réduites (deux en général) déterminé à partir des axes principaux du nuage de points.

Chaque axe factoriel et choisi de façon à décrire le maximum de variance du nuage de points. L'association deux à deux de ces axes aux facteurs permet une représentation graphique plane de ce nuage. Généralement le calcul se poursuit jusqu'au facteur qui exprime 90% au moins de la variance totale.

Pour conserver au maximum la forme du nuage, donc son inertie par rapport au centre de gravité, on centre la variable, c'est-à-dire on fait passer les axes principaux de projection par le centre de gravité, il s'agit alors d'une A.C.P centré.

De plus, afin d'éliminer l'influence de la taille des variables dépendant des unités choisies, on considère comme variable dans l'A.C.P réduite le rapport de chaque valeur à son écart-type ; l'A.C.P est alors dite centrée réduite.

III.2. Application de l'A.C.P

Nous avons réalisé deux analyses en composantes principales sur les données traitées précédemment dans la partie hydrochimiques.

La première A.C.P concerne les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane et ces affluents ; Oued Bordj Sabat et Oued Zenati , elle a été effectuée sur vingt sept (27) observations et vingt quatre (24) variables ($T^{\circ}C$,pH, CE, Rsec , TAC, DHT, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , Cl^{-} , HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , NO_3^{-} , NO_2^{-} , NH_4^{+} , PO_4^{3-} , DBO₅, DCO , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} et Pb^{2+}).

La deuxième A.C.P a concerné les eaux traitées du barrage Hammam Debagh, elle a été faite sur onze (11) observations pour dix neuf (19) variables ($T^{\circ}C$, pH, CE, Turb, Rsec, MO, O_{2d}, Ca^{2+} , Mg^{2+} , ($Na^{+}+K^{+}$), Cl^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-} , NO_3^{-} , NO_2^{-} , NH_4^{+} , PO_4^{3-} , DBO₅, DCO,).

III.2.1. A.C.P des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Les données comportent vingt quatre (24) variables et vingt sept (27) individus. Pour l'interprétation nous avons opté pour trois axes qui expriment 76.35 % de l'information (variance cumulée). Le Tableau.IV.11; permet de constater que plus de 30 % de l'information est contenue dans l'axe factoriel F1.

Tableau.IV.11: Inerties totales de l'A.C.P des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

Facteurs	Valeur propre	% Variance	Cumul de valeur propre	% de variance exprimée cumulée
F1	8,35	37,90	8,35	37,90
F2	5,05	24,81	13,4	62,71
F3	3,09	13,64	16,49	76,35

Pour interpréter cette A.C.P, nous nous sommes contenté de deux cercles de corrélations, le premier formé par les axes F1 et F2, qui fournit 62.71 % de l'information (Figure.IV.43 (a)(b)) et le deuxième formé par les axes F1 et F3, qui totalise 51.54 % de la variance cumulée (Figure.IV.44 (c)(d)).

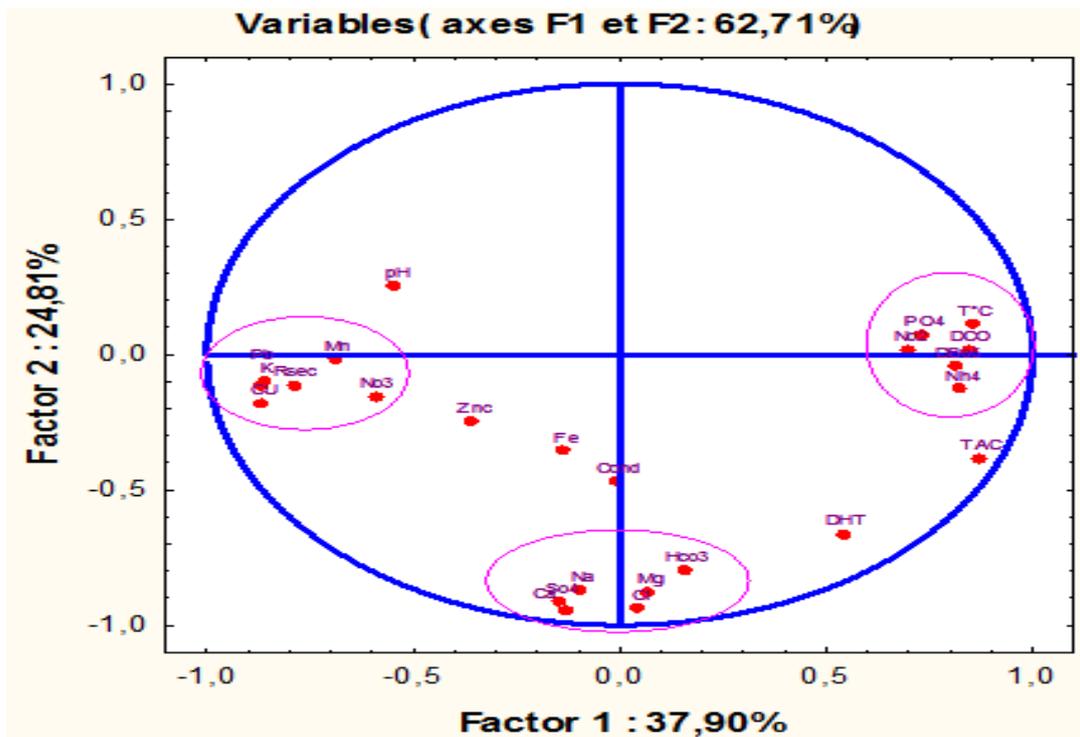
La matrice de corrélation correspondante (Tableau.IV.12), nous indique les éléments ayant des bonnes corrélations entre eux.

La matrice de corrélation montre les variables qui sont bien corrélées entre-elles mentionnées en gras, indiquant probablement l'origine commune des éléments considérés ou évoluant de façon similaire. On cite notamment les corrélations suivantes : (Cl^- - Ca^{+2} - Na^+ - SO_4^{-2} - HCO_3^- - Mg^{2+}), (Cu^{+2} - Pb^{+2} - NO_3^-), (PO_4^{3-} - T°C - NH_4^+ - DBO_5 - DCO), (Pb^{+2} - K^+ - Mn^{+2} - Cu^{+2})

Tableau.IV.12 : Matrice de corrélation de l'A.C.P des eaux brutes du bassin versant de Bouhamdane

	CE	T°C	pH	Rsec	TAC	DHT	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	DBO5	DCO	Fe ⁺²	Zn ⁺²	PO ₄ ⁻³	Cu ⁺²	Mn ⁺²	Pb ⁺²
CE	1,000	0,051	-0,203	0,077	0,143	-0,048	0,541	0,327	0,248	0,287	0,236	0,283	0,060	0,697	0,150	0,266	0,161	0,108	0,361	0,308	0,028	0,257	0,009	0,199
T°C	0,051	1,000	-0,711	-0,565	0,617	0,227	0,136	-0,127	-0,293	-0,347	0,560	-0,279	-0,098	-0,171	-0,591	0,801	0,795	0,875	0,007	-0,242	0,907	-0,635	-0,472	-0,593
pH	-0,203	-0,711	1,000	0,252	-0,474	-0,248	-0,411	-0,223	-0,045	0,104	-0,218	-0,074	-0,157	-0,214	0,229	-0,637	-0,549	-0,617	-0,127	0,028	-0,815	0,229	0,210	0,220
Rsec	0,077	-0,565	0,252	1,000	-0,720	-0,466	-0,008	0,050	0,197	0,537	-0,539	0,159	0,028	0,165	0,686	-0,579	-0,525	-0,544	0,257	0,563	-0,403	0,783	0,475	0,755
TAC	0,143	0,617	-0,474	-0,720	1,000	0,784	0,495	0,375	0,219	-0,517	0,611	0,276	0,391	0,225	-0,751	0,700	0,647	0,656	-0,008	-0,244	0,510	-0,736	-0,589	-0,780
DHT	-0,048	0,227	-0,248	-0,466	0,784	1,000	0,456	0,710	0,677	-0,435	0,298	0,676	0,812	0,381	-0,535	0,318	0,286	0,269	-0,037	-0,204	0,145	-0,527	-0,421	-0,558
HCO ₃ ⁻	0,541	0,136	-0,411	-0,008	0,495	0,456	1,000	0,638	0,558	0,074	0,117	0,673	0,578	0,687	0,083	0,342	0,251	0,222	0,356	0,253	0,174	0,088	0,144	0,049
Cl ⁻	0,327	-0,127	-0,223	0,050	0,375	0,710	0,638	1,000	0,878	0,041	-0,005	0,882	0,873	0,860	0,011	0,108	0,036	-0,039	0,121	0,167	-0,122	0,058	-0,066	0,041
SO ₄ ⁻²	0,248	-0,293	-0,045	0,197	0,219	0,677	0,558	0,878	1,000	0,064	-0,162	0,966	0,917	0,732	0,106	-0,145	-0,205	-0,245	0,218	0,181	-0,270	0,195	0,006	0,144
NO ₃ ⁻	0,287	-0,347	0,104	0,537	-0,517	-0,435	0,074	0,041	0,064	1,000	-0,338	0,132	-0,026	0,234	0,628	-0,236	-0,244	-0,286	0,663	0,275	-0,210	0,779	0,410	0,677
NO ₂ ⁻	0,236	0,560	-0,218	-0,539	0,611	0,298	0,117	-0,005	-0,162	-0,338	1,000	-0,135	-0,085	0,016	-0,603	0,586	0,589	0,548	-0,077	-0,240	0,373	-0,587	-0,470	-0,623
Ca ²⁺	0,283	-0,279	-0,074	0,159	0,276	0,676	0,673	0,882	0,966	0,132	-0,135	1,000	0,893	0,756	0,134	-0,116	-0,175	-0,228	0,295	0,114	-0,256	0,191	0,075	0,158
Mg ²⁺	0,060	-0,098	-0,157	0,028	0,391	0,812	0,578	0,873	0,917	-0,026	-0,085	0,893	1,000	0,587	-0,036	0,047	0,017	-0,018	0,235	0,114	-0,081	-0,002	-0,055	-0,030
Na ⁺	0,697	-0,171	-0,214	0,165	0,225	0,381	0,687	0,860	0,732	0,234	0,016	0,756	0,587	1,000	0,187	0,115	0,002	-0,076	0,229	0,264	-0,166	0,276	0,036	0,239
K ⁺	0,150	-0,591	0,229	0,686	-0,751	-0,535	0,083	0,011	0,106	0,628	-0,603	0,134	-0,036	0,187	1,000	-0,514	-0,526	-0,564	0,274	0,365	-0,436	0,877	0,888	0,945
NH ₄ ⁺	0,266	0,801	-0,637	-0,579	0,700	0,318	0,342	0,108	-0,145	-0,236	0,586	-0,116	0,047	0,115	-0,514	1,000	0,918	0,891	0,193	-0,105	0,812	-0,518	-0,414	-0,549
DBO5	0,161	0,795	-0,549	-0,525	0,647	0,286	0,251	0,036	-0,205	-0,244	0,589	-0,175	0,017	0,002	-0,526	0,918	1,000	0,957	0,151	-0,076	0,769	-0,527	-0,422	-0,559
DCO	0,108	0,875	-0,617	-0,544	0,656	0,269	0,222	-0,039	-0,245	-0,286	0,548	-0,228	-0,018	-0,076	-0,564	0,891	0,957	1,000	0,100	-0,094	0,837	-0,559	-0,447	-0,593
Fe ⁺²	0,361	0,007	-0,127	0,257	-0,008	-0,037	0,356	0,121	0,218	0,663	-0,077	0,295	0,235	0,229	0,274	0,193	0,151	0,100	1,000	0,103	0,151	0,376	0,133	0,313
Zn ⁺²	0,308	-0,242	0,028	0,563	-0,244	-0,204	0,253	0,167	0,181	0,275	-0,240	0,114	0,114	0,264	0,365	-0,105	-0,076	-0,094	0,103	1,000	-0,064	0,591	0,261	0,317
PO ₄ ⁻³	0,028	0,907	-0,815	-0,403	0,510	0,145	0,174	-0,122	-0,270	-0,210	0,373	-0,256	-0,081	-0,166	-0,436	0,812	0,769	0,837	0,151	-0,064	1,000	-0,433	-0,347	-0,460
Cu ⁺²	0,257	-0,635	0,229	0,783	-0,736	-0,527	0,088	0,058	0,195	0,779	-0,587	0,191	-0,002	0,276	0,877	-0,518	-0,527	-0,559	0,376	0,591	-0,433	1,000	0,658	0,881
Mn ⁺²	0,009	-0,472	0,210	0,475	-0,589	-0,421	0,144	-0,066	0,006	0,410	-0,470	0,075	-0,055	0,036	0,888	-0,414	-0,422	-0,447	0,133	0,261	-0,347	0,658	1,000	0,715
Pb ⁺²	0,199	-0,593	0,220	0,755	-0,780	-0,558	0,049	0,041	0,144	0,677	-0,623	0,158	-0,030	0,239	0,945	-0,549	-0,559	-0,593	0,313	0,317	-0,460	0,881	0,715	1,000

(a)



(b)

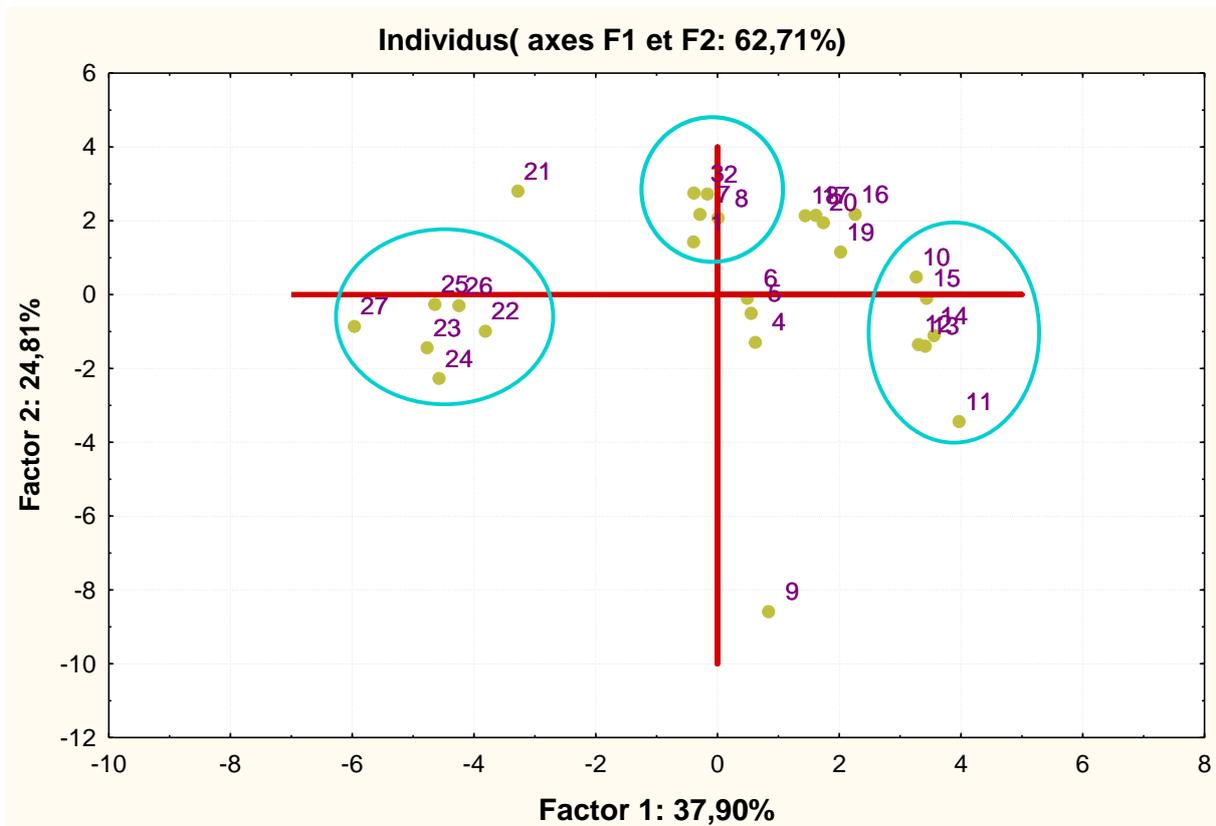


Figure.IV.43(a) (b): Représentation graphique de l'A.C.P des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane selon les axes F1et F2

Le cercle de corrélation F1-F2 (Figure.IV.43(a)) étant le plus représentatif, représentant 62.71 % de la variance cumulée. Le facteur F1 représentant 37.90 % de la variance totale est caractérisé par deux nuages de points.

Le premier nuage de points dans sa partie positive, regroupant les nitrites, la Température, les phosphates, l'ammonium, la demande chimique en oxygène et la demande biologique en oxygène, cependant la partie négative est caractérisée par les nitrates, le potassium, le manganèse, le plomb, le cuivre et le résidu sec et s'oppose au premier nuage de points.

L'axe F1 regroupe donc les nitrites, les phosphates d'un côté et les opposent aux nitrates, plomb, cuivre et manganèse on peut donc dire que c'est un axe représentant les éléments polluants.

Le facteur F2 (Figure.IV.43 (a)) représentant 24.81% de la variance totale montre dans sa partie négative, un nuage de points regroupant les chlorures, le calcium, le magnésium, le sodium, les bicarbonates et les sulfates.

Cet axe regroupe les éléments responsable des faciès chimiques de ces eaux brutes qui sont le sulfaté – calcique et le bicarbonaté - calcique.

On peut donc dire que l'axe F2 est un axe caractérisant la minéralisation, du moment qu'il regroupe tous les éléments responsables de la minéralisation des eaux brutes de l'Oued Bouhamdane et ses affluents.

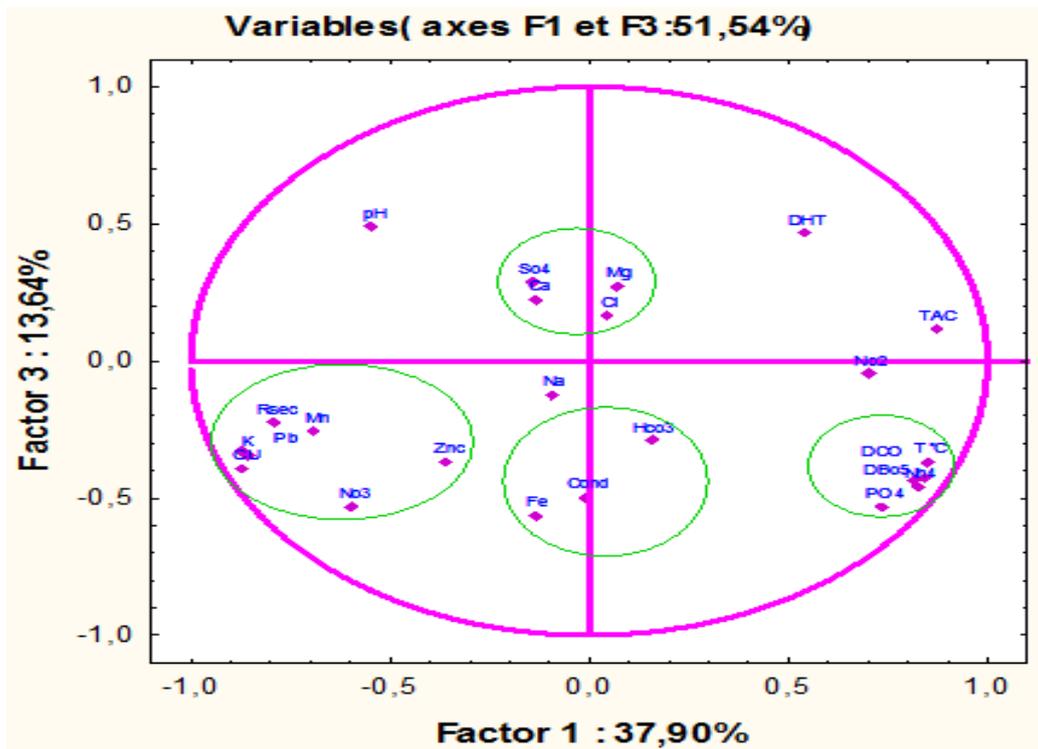
La projection des individus selon le plan F1-F2 (Figure.IV.43 (b)) montre selon l'axe F1 deux nuages de points, l'un dans le sens positif et l'autre dans le sens négatif. Ces deux nuages de points regroupent les individus présentant des teneurs élevés en nitrites, nitrates, phosphates, plomb, cuivre et en manganèse, donc l'axe F1 est un axe de pollution.

L'axe F2 quand à lui regroupe dans son sens positif les individus ayant le faciès chimique semblables.

Ces résultats sont en étroite corrélation avec ce qui était escompté à travers cette ACP, du moment que le but était d'individualiser les individus présentant une origine ou une évolution similaire.

Donc les individus présentant les mêmes faciès chimiques ont été regroupés selon l'axe F2, alors que les individus qui présentent la pollution ont été regroupés selon l'axe F1.

(c)



(d)

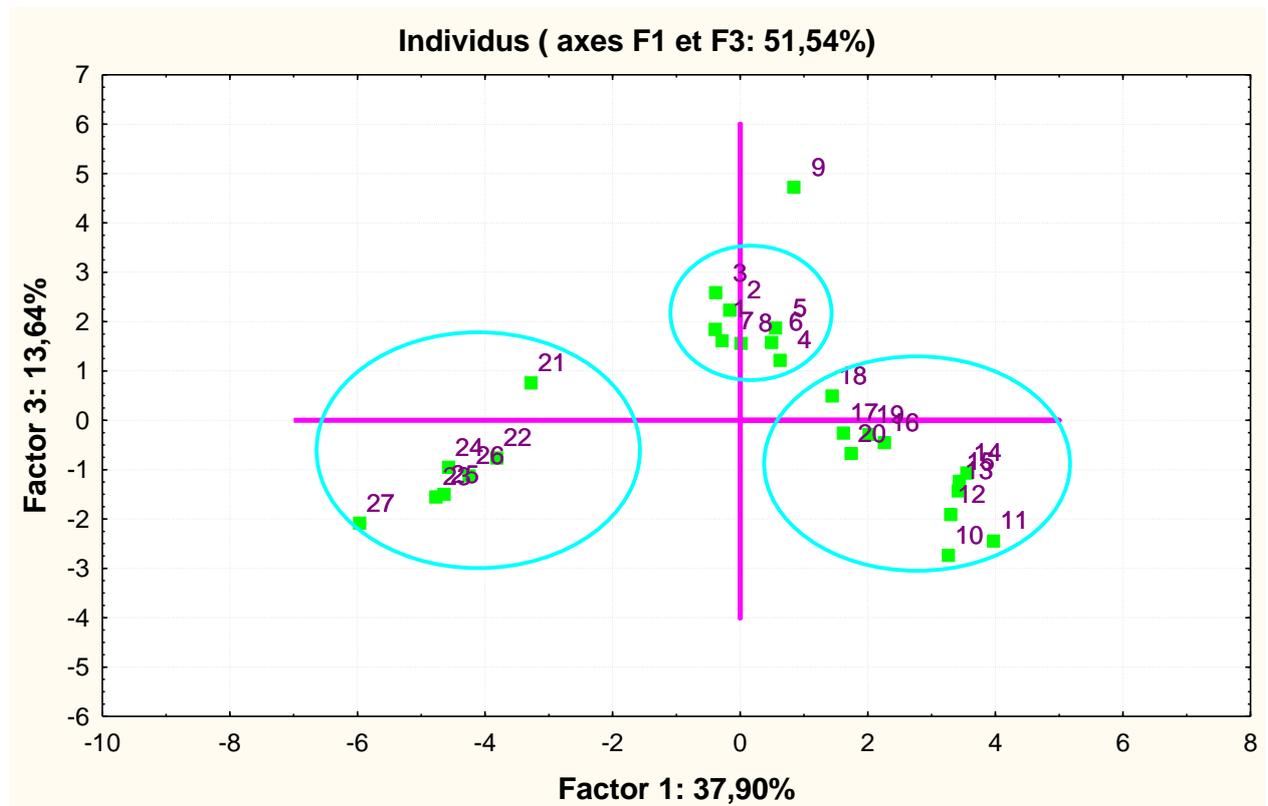


Figure.IV.44 (c)(d): Représentation graphique de l’A.C.P des eaux brutes du bassin versant de l’Oued Bouhamdane selon les axes F1 et F3

Le cercle de corrélation F1-F3 (Figure.IV.44 (c)) totalise 51,54 % de la variance cumulée. Le facteur F3 représentant 13,64 % de la variance totale montre dans sa partie positive et dans sa partie négative, deux nuages de points regroupant la conductivité électrique, les chlorures, les bicarbonates, le calcium, le magnésium et les sulfates.

Cet axe regroupe les éléments responsables des faciès chimiques des eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane qui sont le sulfaté-calcique et le bicarbonaté-calcique, avec l'influence de la conductivité électrique.

Le facteur F1 représentant 37,90 % de la variance totale est caractérisé par deux nuages de points.

Le premier nuage de points dans sa partie négative, regroupant les nitrates, le potassium, le plomb, le zinc, le cuivre, le manganèse et le résidu sec cependant la partie positive est caractérisée par la température, les phosphates, la demande chimique en oxygène, la demande biologique en oxygène et l'ammonium et s'oppose au premier nuage de points. On peut donc dire que l'axe F1 représentant les eaux polluées.

L'axe F1 regroupe donc les phosphates et l'ammonium d'un côté et les s'opposent aux nitrates et métaux lourds, on peut donc dire que c'est un axe représentant les eaux polluées.

La projection des individus selon le plan F1-F3 (Figure.IV.44 (d)) montre selon l'axe F1 dans son sens positif un nuage de points regroupant les individus ayant des teneurs élevées en phosphates, la demande chimique en oxygène, la demande biologique en oxygène et l'ammonium. Dans le sens négatif, il individualise les points présentant des teneurs élevées en nitrates, potassium, plomb, zinc, cuivre et en manganèse.

L'axe F1 a donc regroupé les individus présentant des teneurs élevées en facteurs de pollution telle que les métaux lourds.

L'axe F3 quand à lui regroupe dans son sens positif les individus ayant les faciès chimiques représentatifs des eaux brutes ; le sulfaté-calcique et le bicarbonaté-calcique.

III.2.2. A.C.P des eaux traitées du barrage Hammam Debagh

L'analyse statistique a été faite sur dix neuf (19) variables et onze (11) individus. Pour l'interprétation nous avons opté pour deux axes qui expriment 68,35 % de l'information.

Le Tableau.IV.13; permet de constater que plus de 54 % de l'information est contenue dans l'axe factoriel F1.

Tableau.IV.13: Inerties totale de l'A.C.P des eaux traitées du barrage Hammam Debagh

Facteurs	Valeur propre	% Variance	Cumul de valeur propre	% de variance exprimée cumulée
F1	7,70	54,92	7,70	54,92
F3	3,38	9,92	11,08	64,84

Pour interpréter cette A.C.P, nous allons nous contenter du cercle de corrélation formé par les axes F1 et F3, qui fournit 64,84 % de l'information (Figure.IV.45(e)(f)).

La matrice de corrélation correspondante (Tableau.IV.14), nous indique les éléments ayant des bonnes corrélations entre eux.

La matrice de corrélation montre les variables qui sont bien corrélées entre-elles mentionnées en gras. On cite notamment les corrélations suivantes : (CE-Turb- Ca^{2+} - Mg^{2+} - Na^+ + K^+ - Cl^- - HCO_3^- - SO_4^{2-}), (Ca^{2+} - Cl^- - SO_4^{2-} - HCO_3^-), (Mg^{2+} - Cl^- - SO_4^{2-} - HCO_3^-), (NO_3^- - Ca^{2+} - Cl^-) et (DCO- O_2 d).

On a pris en considération le cercle de corrélation le plus représentatif F1-F3 (Figure.IV.45(e)) représentant 64,84% de la variance cumulée.

Le facteur F1 représentant 54,92 % de la variance totale est caractérisé par deux nuages de points.

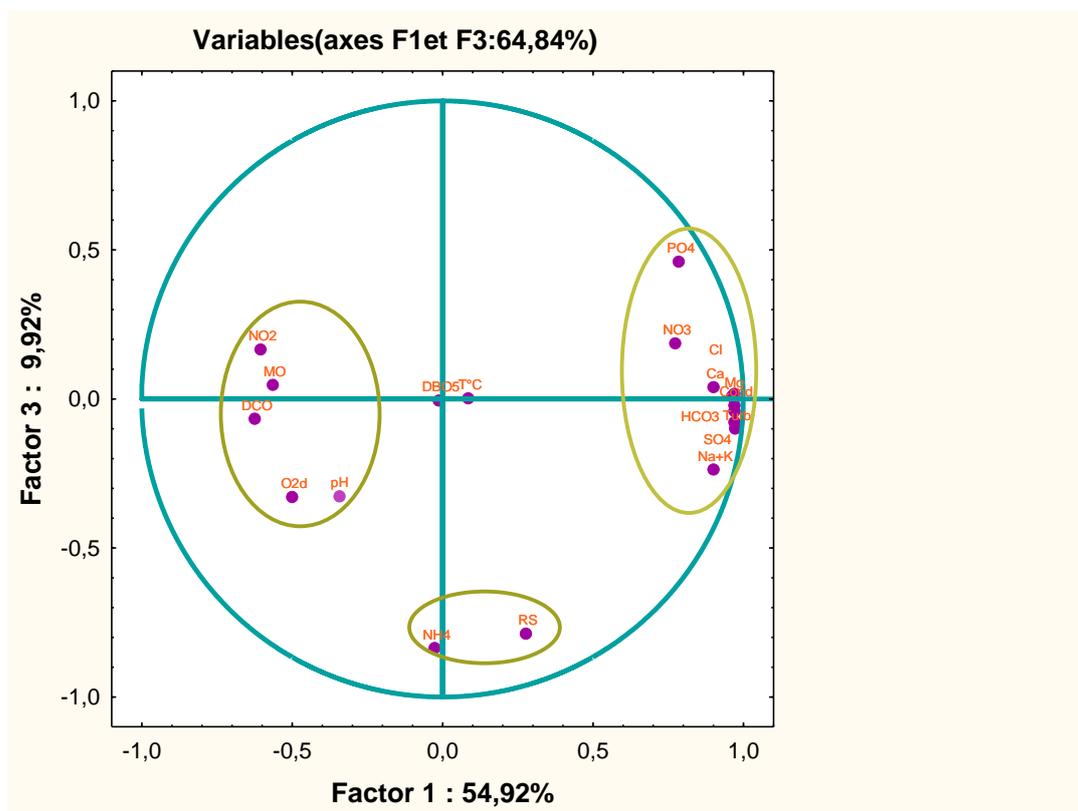
Le premier nuage de points dans sa partie positive, regroupant les chlorures, le calcium, le magnésium, le sodium, les sulfates, la conductivité électrique, les bicarbonates, les phosphates, les nitrates et la turbidité, cependant la partie négative est caractérisée par le regroupement des nitrites, de pH, de la demande chimique en oxygène, de matière organique et d'oxygène dissous, qui s'opposent au premier nuage de points.

Cet axe regroupe les éléments responsables des faciès chimiques des eaux traitées du barrage Hammam Debagh qui sont le chloruré – magnésien, le chloruré - calcique, le bicarbonaté - calcique et le sulfuré- calcique, avec l'influence de conductivité électrique dans un coté et les facteurs de pollution d'origine domestique et agricole dans l'autre coté.

Tableau.IV.14: Matrice de corrélation de l'A.C.P des eaux traitées du barrage Hammam Debagh

Variables	RS	T°C	CE	Turb.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	O ₂ d	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ⁻³	DBO5	MO	DCO	pH
RS	1,000	-0,060	0,233	0,320	0,259	0,296	0,473	0,294	0,320	0,359	0,129	0,233	-0,116	0,428	-0,168	0,080	0,073	-0,069	-0,125
T°C	-0,060	1,000	0,141	0,044	0,117	0,022	-0,079	0,029	0,064	0,069	-0,187	0,008	-0,272	0,025	-0,104	0,324	-0,219	-0,129	-0,029
CE	0,233	0,141	1,000	0,967	0,933	0,951	0,864	0,972	0,973	0,976	-0,375	0,722	-0,547	-0,017	0,724	0,027	-0,504	-0,492	0,233
Turb	0,320	0,044	0,967	1,000	0,887	0,963	0,885	0,938	0,982	0,978	-0,387	0,672	-0,580	0,030	0,695	-0,131	-0,565	-0,563	0,311
Ca ²⁺	0,259	0,117	0,933	0,887	1,000	0,899	0,756	0,948	0,948	0,956	-0,225	0,805	-0,324	-0,158	0,667	0,229	-0,332	-0,312	0,246
Mg ²⁺	0,296	0,022	0,951	0,963	0,899	1,000	0,819	0,957	0,982	0,967	-0,380	0,773	-0,603	-0,141	0,685	-0,060	-0,416	-0,511	0,284
Na ⁺ +K ⁺	0,473	-0,079	0,864	0,885	0,756	0,819	1,000	0,885	0,841	0,872	-0,394	0,667	-0,483	0,209	0,721	-0,065	-0,482	-0,561	0,170
Cl ⁻	0,294	0,029	0,972	0,938	0,948	0,957	0,885	1,000	0,966	0,972	-0,345	0,848	-0,492	-0,102	0,770	0,083	-0,390	-0,443	0,199
HCO ₃ ⁻	0,320	0,064	0,973	0,982	0,948	0,982	0,841	0,966	1,000	0,996	-0,343	0,751	-0,523	-0,079	0,680	0,000	-0,454	-0,488	0,305
SO ₄ ⁻²	0,359	0,069	0,976	0,978	0,956	0,967	0,872	0,972	0,996	1,000	-0,336	0,753	-0,489	-0,037	0,681	0,047	-0,445	-0,484	0,291
O ₂ d	0,129	-0,187	-0,375	-0,387	-0,225	-0,380	-0,394	-0,345	-0,343	-0,336	1,000	-0,197	0,433	0,069	-0,576	0,037	0,644	0,926	-0,764
NO ₃ ⁻	0,233	0,008	0,722	0,672	0,805	0,773	0,667	0,848	0,751	0,753	-0,197	1,000	-0,391	-0,326	0,712	0,245	-0,106	-0,225	0,027
NO ₂ ⁻	-0,116	-0,272	-0,547	-0,580	-0,324	-0,603	-0,483	-0,492	-0,523	-0,489	0,433	-0,391	1,000	-0,243	-0,327	0,183	0,541	0,601	-0,058
NH ₄ ⁺	0,428	0,025	-0,017	0,030	-0,158	-0,141	0,209	-0,102	-0,079	-0,037	0,069	-0,326	-0,243	1,000	-0,290	-0,004	-0,375	-0,147	-0,173
PO ₄ ⁻³	-0,168	-0,104	0,724	0,695	0,667	0,685	0,721	0,770	0,680	0,681	-0,576	0,712	-0,327	-0,290	1,000	-0,109	-0,519	-0,544	0,360
DBO5	0,080	0,324	0,027	-0,131	0,229	-0,060	-0,065	0,083	0,000	0,047	0,037	0,245	0,183	-0,004	-0,109	1,000	0,316	0,108	0,024
MO	0,073	-0,219	-0,504	-0,565	-0,332	-0,416	-0,482	-0,390	-0,454	-0,445	0,644	-0,106	0,541	-0,375	-0,519	0,316	1,000	0,733	-0,499
DCO	-0,069	-0,129	-0,492	-0,563	-0,312	-0,511	-0,561	-0,443	-0,488	-0,484	0,926	-0,225	0,601	-0,147	-0,544	0,108	0,733	1,000	-0,739
pH	-0,125	-0,029	0,233	0,311	0,246	0,284	0,170	0,199	0,305	0,291	-0,764	0,027	-0,058	-0,173	0,360	0,024	-0,499	-0,739	1,000

(e)



(f)

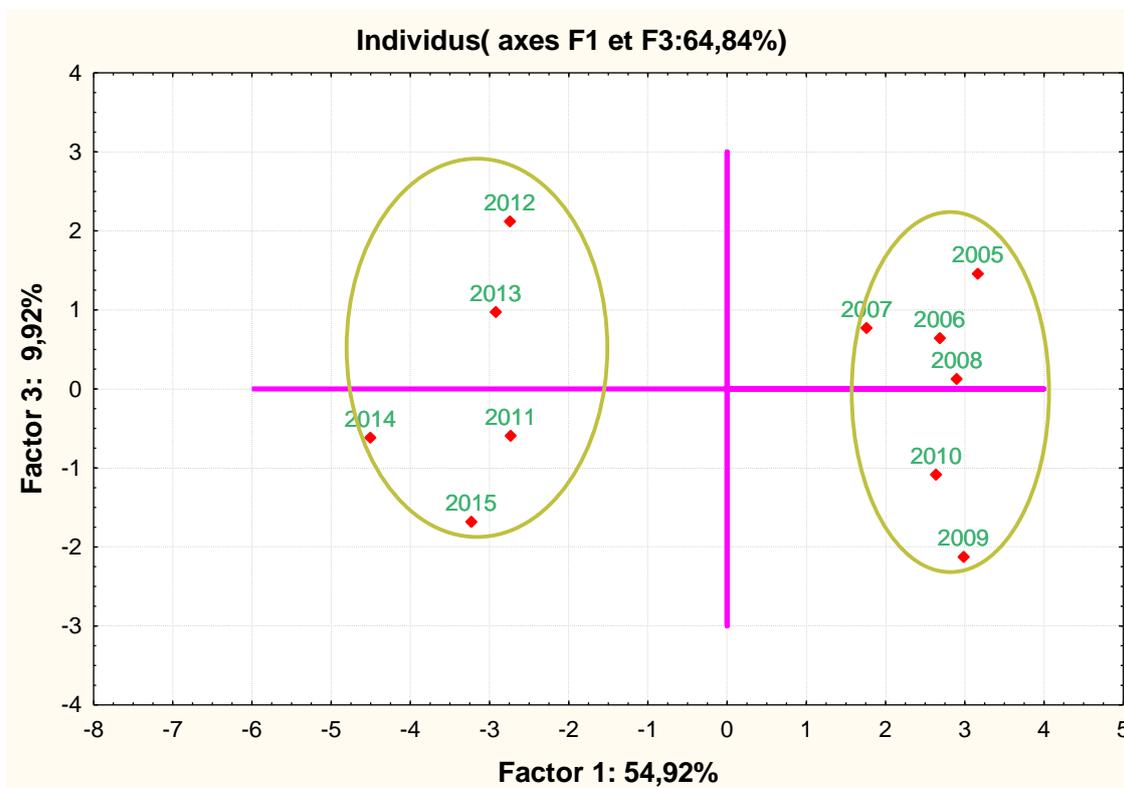


Figure.IV.45(e)(f) : Représentation graphique de l’A.C.P des eaux traitées du barrage Hammam Debagh selon les axes F1 et F3

Le facteur F3 représentant 9,92 % de la variance totale met en évidence dans sa partie négative l'ammonium et le résidu sec.

On peut donc dire que les axes F1 et F3 sont des axes regroupent tous les éléments responsable de la minéralisation et de pollution de ces eaux.

La projection des individus selon le plan F1-F3 (Figure.IV.45(f)) montre selon l'axe F1 dans son sens positif un nuage de points regroupant les individus ayant le faciès chimique chloruré-magnésien et le chloruré-calcique. Dans le sens positif négatif un deuxième nuage de points s'opposant au premier et il est caractérisé par le faciès bicarbonaté – calcique et sulfuré-calcique.

III.3. Conclusion

Les résultats obtenus dans les deux A.C.P réalisées respectivement dans les eaux brutes et les eaux traitées, sont en étroite corrélation avec ce qui était escompté à travers cette étude, du moment que le but était d'individualiser les individus présentant une origine ou une évolution similaire.

En effet à travers les deux A.C.P effectuées on peut dire que les axes principaux exprimaient ou regroupaient des variables présentant des caractères évoluant de la même manière.

Ces variables étaient soit responsables des faciès chimiques, ou présentaient des teneurs excessives en métaux lourds (tel que le Fer, le plomb, le Cuivre, le Manganèse et le Zinc) qui sont responsable de polluer les eaux du bassin versant de l'Oued Bouhamdane.

Les individus présentant les mêmes faciès chimiques ont été regroupés selon un axe précis, alors que les individus qui présentent des teneurs excessives en nitrites et en phosphates ont été regroupés selon l'autre axe.

Conclusion générale et recommandations

Conclusion générale et recommandations

Ce travail avait pour objectif l'étude et suivi de la qualité des eaux du barrage Hammam Debagh (bassin versant de l'Oued Bouhamdane) et son impact sur les eaux d'irrigation de la plaine de Guelma.

La présente étude s'est effectuée sur le sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane (partie amont ; Oued Bouhamdane et ses grandes affluents, partie aval ; barrage Hammam Debagh), qui est situé au Nord- Est de l'Algérie occupant la partie Ouest de la wilaya de Guelma, qui fait partie du grand bassin numéro 14 dénommé la Seybouse, l'Oued Bouhamdane, principal affluent rive gauche de L'Oued Seybouse, coule sensiblement de l'Ouest vers l'Est, entre les massifs du Djebel Taya au Nord, et du Djebel Seba Mzaar au Sud. A la station de Medjez Ammar II le sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane couvre une superficie de l'ordre de 1105 Km² et de 1070 km² au droit du barrage Hammam Debagh.

L'Oued Bouhamdane est formé par deux principales artères, l'Oued Zenati et l'Oued Bordj Sabath qui drainent respectivement une zone semi aride des Hautes Plaines (pluie moyenne : 450-550 mm) et une zone sub-humide du Tell méridional (pluie moyenne 550-650 mm).

Ainsi, cette étude a permis de voir que :

L'étude géologique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane montre que :

- A l'Ouest du bassin de l'Oued Bordj Sabath, présente des formations raides de faible pente constituées principalement de grès et de conglomérats, généralement perméables.
- Le bassin supérieur, présente des formations tendres, constituées principalement des marnes, grés, marno- calcaires, de quaternaire et des formations superficielles.
- Le bassin inférieur - le plus arrosé - constitué en majeure partie par des roches résistantes à moyennement résistantes: des grès, des argiles, des marnes et des schistes.

Le barrage Hammam Debagh est soumis à un climat méditerranéen, appartenant au domaine humide à sub-humide. Il est caractérisé par des irrégularités mensuelles et annuelles des précipitations. La température moyenne annuelle modérée dans le barrage est de l'ordre de 18,6°C. Les résultats de température et de précipitations définissent deux saisons typiques, une saison sèche et l'autre humide.

L'évapotranspiration réelle moyenne est estimée à 505,82 mm/an, représentant 83,44 % de la totalité des précipitations. Le déficit agricole appréciable est estimé à 557,7 mm/an, réparti du mois de Juin jusqu'à Octobre. Le ruissellement est estimé à 76,81 mm/an, ce qui présente plus

Conclusion générale et recommandations

de 12,67 % des précipitations. L'infiltration correspond à 23,57 mm/an, soit 3,88 % de la totalité des précipitations. La réserve facilement utilisable (RFU) n'est pleine que de Décembre à Avril, quant à son épuisement, il dure sept mois.

La potentialité des ressources totale reconnue dans le bassin versant de l'Oued Bouhamdane est de l'ordre 123,73 hm³/an, et qui se répartie comme ce suit :

- Les ressources en eau de surface comptent ; un grand barrage (barrage Hammam Debagh), avec une potentialité reconnue de 121 hm³/an (AEP et IRR), et dix (10) retenues collinaires mobilisent un potentiel de 1,56 hm³/an (irrigation).
- Les ressources en eau souterraines, huit (08) forages existent dans le bassin et peuvent mobiliser un volume de 1.17 hm³/an.

L'étude des caractéristiques chimiques des eaux traitées du barrage Hammam Debagh, qui sont l'interprétation des données des paramètres physico-chimiques d'une série d'onze (11) années (2005/2015), révèlent deux faciès chimiques dominant ; le chloruré – magnésien et le sulfaté - calcique.

Les eaux du barrage présentent une potabilité permanente pour l'alimentation en eau potable et d'une manière générale, elles sont de bonnes qualités pour l'irrigation.

Concernant les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane, les données sont répartis sur vingt sept (27) points de prélèvements ; seize (16) points de prélèvements pendant la période hautes eaux (mars 2013 et mars 2015) et onze (11) points de prélèvements pendant la période des basses eaux (juin 2013).

Ces eaux ont une composition chimique liée étroitement aux terrains qui les contiennent offrant des eaux sulfatées-calciques.

En tenant compte des considérations de la salinité, de la méthode de S.A.R et du diagramme de Wilcox en fonction de la conductivité électrique, les eaux brutes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane ont une bonne qualité pour l'irrigation.

L'analyse en composante principales (A.C.P) a montré que le chimisme des eaux du barrage n'est pas lié seulement à la nature des terrains traversés, il peut être influencé par une pollution anthropique.

Les recommandations

Les recommandations suivantes s'imposent nécessaires pour la sauvegarde des eaux du barrage Hammam Debagh:

- L'implantation d'une station d'épuration à l'amont du barrage, pour préserver et protéger leurs eaux, puisqu'ils sont destinés surtout à l'alimentation en eau potable (AEP) Néanmoins, il est primordial d'en vérifier le bon fonctionnement de façon continue et efficace.
- L'installation des stations automatiques de suivi continu de la qualité des eaux du barrage afin de prévenir toute éventuelle pollution.
- Le recours au traitement biologique à travers l'ensemencement des bactéries assimilatrices de la matière organique excédante et à l'empoissonnement avec des carpes argenté et grande bouche.
- Le recours aux opérations de lâchés et de chasses étudiées afin de limité l'envasement de la retenue.
- Lancement d'une étude d'identification et du comportement des espèces à l'origine du bloom algale an niveau du plan d'eau et les mécanismes de son déclenchement.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **Abdoulaye. D .N (2014)**. Contribution à l'étude de l'évolution Spatio-temporelle de la qualité physicochimique de l'Eau de la Rive droite du fleuve Sénégal, Article publié en J. Mater. Environ. Science. ISSN : 2028-2508, Laboratoire de Chimie de l'Eau, Service de Toxicologie et Contrôle Qualité, Institut National de Recherches en Santé Publique de Nouakchott, Mauritanie, 2-10
- [2] **Abou. A (1990)**. Pluie de projet et modèles de transfert "pluie-débit" pour les petits bassins versants", ingénieur de conception, Ecole polytechnique de Thies, 146 p
- [3] **ABHCSM** (Agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue), **A.G.I.R.E** (Agence nationale de la gestion intégrée des ressources en eau) (2016). Rapport sur l'analyse de l'année hydrologique (2015-2016) du barrage Hammam Debagh, 13p
- [4] **ABHCSM** (Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue) (2009).Qualité des eaux superficielles dans les bassins du Kebir-Rhumel, de la Seybouse et de la Medjerda-Mellegue, 2004-2007, Cahier 12, 44p
- [5] **ABHCSM** (Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue) (2009).Qualité des eaux souterraines dans les bassins du Kebir-Rhumel, de la Seybouse et de la Medjerda-Mellegue, 2004-2007, Cahier 13, 40p
- [6] **ABHCSM** (Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue) (2005).Qualité des eaux superficielles dans le bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue, 1998-2003. Cahier de l'Agence, 48p
- [7] **ABHCSM** (Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue) (2002) Les cahiers de l'agence : Bassin de la Seybouse, 1-31
- [8] **Affoun. S (2006)**. Ressources en eaux, mobilisation et utilisation dans le bassin versant de la Mafragh, Thèse de Magister, Université de Constantine, 223p
- [9] **Afnor (1994)**. Recueil des normes françaises, Qualité de l'eau. Edition Afnor.
- [10] **Ahonon (2011)**. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface dans les zones montagneuses du Sud-Ouest du Togo : cas du canton de la vie, Mémoire de Master, Université de Lome, 42 p
- [11] **Ahoussi. K.E (2011)**. Caractérisation hydrogéochimique et microbiologique des ressources en eau du site d'un Centre d'Enfouissement Technique (CET) de Côte d'Ivoire : cas du CET de Kossihouen dans le District d'Abidjan, article publié en international Journal

Références bibliographiques

de biologie et science de chimie, Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM) Université de Cocody, (Côte d'Ivoire) ,2-7

[12] **Aiche. M (1996)**. Contribution à l'étude de l'érosion en vue de l'aménagement du bassin versant de l'Oued Bouhamdane, Thèse de Magister en aménagement, option aménagement des milieux physiques et ruraux, Université les Frères Mentouri, Constantine 1, 150p

[13] **Albergel. J, Boufaroua. M, Pepin.Y (1998)**. Bilan de l'érosion sur les petits bassins versants des lacs collinaires en climat semi-aride Tunisien. Bulletin de l'ORSTOM, 67-75

[14] **Allalgua. A (2012)**. Caractérisation physico-chimique et bactériologiques des eaux brute et potables du barrage Ain Dalia (Souk- Ahras), 1er Séminaire National sur la Santé et Bio-Surveillance des Ecosystèmes Aquatiques, Université Souk-Ahras, 1-8

[15] **Amadou H., Laouali M.S., Manzola A (2014)**. Analyses physico chimiques et bactériologiques des eaux de trois aquifères de la région Tillabery: application des méthodes analyses statistiques multi variant. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°20, 25-41

[16] **ANBT (Agence Nationale des Barrages et Transferts) (2014)**. Rapport sur l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux du Barrage Hammam Debagh, 10p

[17] **ANBT (Agence Nationale des Barrages et Transferts) (2012)**. Rapport de la mission du barrage Hammam Debagh (W. Guelma), 1-5

[18] **ANBT (Agence Nationale des Barrages et Transferts) (1990)**.Barrage Hammam Debagh sur l'Oued Bouhamdane, Monographie- Texte, 115p

[19] **Bahroun. S, Chaib. W (2017)**. La qualité des eaux de surface du barrage Mexa Nord-Est Algérien, Journal of water and Land Développement, Vol. 34 (VII-IX), 11-19

[20] **Beaudry. T, Henry. T, M (1984)**. Chimie des eaux, édition. Les griffons d'argiles, 1ère, édition, INC Canada, 537p

[21] **Bedouh Y. (2016)**. Evaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'Oignon « Allium Ceba », Thèse de doctorat LMD, Université de Badji Mokhtar Annaba, 158 p

[22] **Bechiri N. (2011)**. Evolution du chimisme des eaux de surface et souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Nord-Est Algérien), Mémoire de Magister, IST, Université Badji Mokhtar, Annaba, 129 p

[23] **Becker. E, Durfor. C.J. (1972)**. Constituents and properties of water: Water quality in a stressed environment. W.A. Pettyjohn (dir. de publ.). Burgess Publishing Company.

Références bibliographiques

- [24] **Belhadj. M.Z. (2006)**. Etude de la pollution du barrage de Zit-Emba Commune de Bekkouche Lakhdar Wilaya de Skikda, Mémoire de Magister, Université de Batna, 107p
- [25] **Belhadj H, Kettani K, (2013)**. Evaluation de la qualité physico-chimique de l'oued Martil (Rif occidental, Maroc) " gestion et protection de l'environnement, Proceedings GENVIRO- 5, Volume 3, 31-38
- [26] **Belkhiri L, Mouni L, Narany T.S, Tiri A. (2016)**. Évaluation du risque potentiel pour la santé des métaux lourds dans les eaux souterraines en utilisant l'intégration de l'indicateur krigeage et méthodes statistiques multivariées, Article publié au Journal : Eaux souterraines pour le développement durable, Volume.10 (003), 1-27
- [27] **Belkhiri L, Mouni L, Boudoukha A. (2012)**. Evolution géochimique des eaux souterraines dans un aquifère alluvial: Cas d'El Eulma, Est Algérien, Journal des sciences de la terre africaines, Vol. 66-67, 46-55
- [28] **Benchaiba. L (2007)**. Condition d'écoulement et impact sur la mobilisation des ressources en eau bassin versant de l'Oued Bouhamdane (W. Guelma, Est Algérien). Article publié en Science Lib Editions Mersenne : Volume 4, N ° 120701 ISSN 2111- 4706, 2-9
- [29] **Bengherbia A, Hamaidi F, Zahraoui R, Hamaidi M.S, Megateli S, (2014)**. Impact des rejets des eaux usées sur la qualité physico-chimique et bactériologique de l'Oued Beni Aza (Blida, Algérie) ", Lebanese Science Journal, Volume 15, N° 2, 39-51
- [30] **Benmia. (2012)**. Évaluation de la performance des barrages de Protection contre les inondations cas de la ville de Ghazaouet, Mémoire de magister, Université Aboubakr Belkaid de Tlemcen, 181 p
- [31] **Benaicha.A.C (2011)**. Etude des processus des transports solide et leur impact sur l'alluvionnement des barrages, Mémoire de Magister en Hydraulique, option : Simulation Numérique Des Ecoulements Polyphasiques, Université Hadj Lakhdar Batna, 146p
- [32] **Benmarce. K (2015)**. Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines dans la région de Guelma, Nord-Est Algérien", Thèse de doctorat en sciences, Université de Badji Mokhtar Annaba, 156 p
- [33] **Benmarce. K (2007)**. Caractéristiques physico- chimiques et isotopiques des eaux souterraines dans la région de Guelma (NE Algérien), Thèse de Magister, Université Badji Mokhtar Annaba, 150 p
- [34] **Bennedjai N. (2002)**. Etude de l'influence des paramètres physiques et morphométriques sur les débits à l'exutoire des bassins versants", Mémoire de magister, Université El hadj Lakhdar, Batna1, 246 p

Références bibliographiques

- [35] **Berrouch. H (2011)**. Etude de la qualité des eaux d'irrigation et du sol dans le périmètre de Saâda (Région du Haouz), Mémoire de fin d'étude, Université de Marrakech, 56p
- [36] **Boeglin J.C. (2001)**. Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement, (G1110)
- [37] **Bouanani. A (2004)**. Hydrologie, transport solide et modélisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie), Thèse doctorat d'état, Université Aboubakr Belkaid, Tlemcen, 250 p
- [38] **Bouaroudj. S, Dhaou-El-Djabine. K (2014)**. Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation des Oueds Rhumel et Boumerzoug (Constantine), Article publié en Revue Scientifique et Technique, LIEE N° 24 et 25 Juin-Décembre 2014, 35- 44
- [39] **Bouaroudj. S (2012)**. Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation, Mémoire de Magistère en Écologie Option : Gestion des déchets évaluation et solution environnementales, Université les Frères Mentouri, Constantine 1, 120p
- [40] **Bouguerra. H, Bouanani. A, Khanchoul. K, Derdous. O, Tach. S (2017)**. Cartographie des zones sujettes à l'érosion dans le bassin versant de Bouhamdane (Algérie) en utilisant l'équation universelle révisée de perte de sol à travers le SIG, Journal Of Water And Land Development, No. 32 (I–III): 13–23
- [41] **Boukrouh. F (2005)**. Etude géologique des dépôts évaporitiques du bassin de Guelma, Mémoire de Magistère en Géologie, Option : Géologie des substances utiles, Université les Frères Mentouri, Constantine 1, 125p
- [42] **Bouras. F (2010)**. Estimation de L'envasement des Barrages: une Approche non Paramétrique, international Network Environmental Management Conflits, Santa Catarina – Brasil, Université de Souk Ahras, 7p
- [43] **Boussis. A (2009)**. Développement durable: Une approche intégrée pour la gestion des ressources en eau dans la wilaya de Guelma, Thèse de Magister, option hydrogéologie, Université Badji Mokhtar Annaba, 112p
- [44] **Boutayeb. M (2012)**. Etude de la qualité physico-chimique des eaux usées brutes de cinq villes de la région de la Chaouia – Ouardigha (Maroc), Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, n° 34 (2), Université Hassan 1er, Settat, Maroc, 145-150
- [45] **Blayac. J (1912)**. Esquisse géologique du bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines, 480 p
- [46] **Bliefert. C, Perraud. R (1990)**. Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets. 2eme édition française. De Boeck, 291p

Références bibliographiques

- [47] **Brahmia. N (2016)**. Evaluation et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant de la moyenne Seybouse, Nord-Est, Algérien , Thèse de doctorat en sciences, Université de Badji Mokhtar Annaba, 133p
- [48] **Chaoui. W (2007)**. Impact de la pollution organique et chimique des eaux de l'oued Seybouse et de l'oued Mellah sur les eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (Guelma)", mémoire de magister, Université d'Annaba, 97p
- [49] **Chaouki. I, Mouhir. L, Fekhaoui. M, El Abidi. A, Bellaouchou. A, El Morhit. M (2015)**. Application de l'analyse en composantes principales(ACP) pour l'évaluation de la qualité des eaux usées industrielles de Salam Gaz – Skhirat., Article publié en Journal Mater. Environnement. Sciences, Volume 6 (2), 455-464
- [50] **Chapman. D, Kimstach. V (1996)**. Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E and FN Spon, London, 126p.
- [51] **Charlotte P.R, Boisson J.C (2007)**. Impacts des rejets urbains de temps de pluie (RUTP) sur les milieux aquatique, État des connaissances. Revue des sciences de l'eau /Journal of Water Science, volume 20, N°2, 229-239
- [52] **Coyne, Bellier (1980)**. Etude des conditions de fondation de la digue, El –Miah-Essaliah (barrage Hammam Debagh), 16p
- [53] **Coyne, Bellier (1978)**. Etude des apports de l'Oued Bouhamdane au barrage Hammam Debagh (El –Miah-Essaliah), 4-9
- [54] **Coyne, Bellier (1978)**. Etude de la régularisation des apports de l'Oued Bouhamdane par le barrage Hammam Debagh (El –Miah-Essaliah), 10p
- [55] **Dahkal. I (2015)**. Ajustement des modèles de séries temporelles pour prévoir les apports liquides du Barrage Hammam Debagh, Mémoire de Magister, Spécialité : Hydraulique Agricole, Option : Hydrologie et Aménagement des Bassins Versants, Université Hassiba Ben Bouali Chlef, 135p
- [56] **Dareste De La Chavane J.C. (1910)**. La région de Guelma, études spécial des terrains tertiaires. Bull. Service Carte géol., Algérie. Thèse sciences, Lyon (France), 256 p
- [57] **Djedjai H. (2014)**. Etude de la qualité des eaux du bassin versant de la Tafna et une approche théorique de la dégradation du méthyle Parathion, Doctorat en Sciences, Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf, Oran, 214 p

Références bibliographiques

- [58] **Djabri L. (2012)**. Etats de la qualité des eaux en Algérie : cas des cours d'eau en région méditerranéenne (Kebir est, Seybouse et Medjerda), (extrême est algérien), XIIème Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Cherbourg, Laboratoire Ressource en Eau et Développement Durable, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, 5-8
- [59] **Djabri L. (1996)**. Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de l'oued Seybouse, origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines, Thèse de doctorat d'état en hydrogéologie, IST, Université Badji Mokhtar, Annaba, 256 p
- [60] **Djemai. M, Saibi. H, Mesbah. M, Robertson. A (2017)**. Evolution spatio-temporelle des caractéristiques physico-chimique de l'eau de la vallée de l'Oued Sebaou (Grande Kabylie, Algérie), Journal de l'hydrologie : Études régionales, Vol.12 ,33-49
- [61] **Debieche. T.H (2002)**. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse N-E Algérien. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 199p
- [62] **Demmak. A (1982)**. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en suspension en Algérie septentrionale. Thèse de Docteur-Ingénieur, Université Paris VI, France, 120p
- [63] **Degremont. (1989)**. Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, tome 1, 524p
- [64] **Durand. D. M (1996)**. Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Bull.Serv. Carte Géol. Algérie, N.S, n°39, 9.89-131, 9 fig., Alger
- [65] **El Hachemi. O (2012)**. Traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique (Oasis de Figuig) : performances épuratoires et aspect phytoplanktonique, Thèse de doctorat spécialité en Ecologie végétale, Université Mohammed Premier, 140 p
- [66] **Gaagai. A (2009)**. Etude hydrologique et hydrochimiques du bassin versant du barrage de Babar sur Oued el Arab région Est de l'Algérie, Mémoire de Magistère en hydraulique, option : mobilisation des ressources hydriques et leur impact sur l'environnement, Université Hadj Lakhdar, Batna, 130p
- [67] **Ghachi. A (1982)**. Le bassin de la Seybouse : hydrologie et utilisation de la ressource en eau (Algérie), Thèse de doctorat de 3^{ème} Cycle, Université de Nancy II, France, 200p
- [68] **George. C, Harrap, Co (1963)**. Day, E.H. The chemical elements in nature. London, U.K

Références bibliographiques

- [69] **Guidoum. A (2017)**. Caractérisation hydrologique et analyse du transport solide en suspension dans trois ensembles hydrographiques du Nord-Est Algérien, Etude de cas dans la Seybouse, les hautes plaines Constantinoises et Chott Melghir (coupe Nord-sud), Thèse de Doctorat en science, Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie, 368 p
- [70] **Hamed. M, Guettache. A, Bouamer. L, (2012)**. Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF- TORBA Bechar, Mémoire d'Ingénieur d'état en Biologie, Option : Contrôle de Qualité et d'Analyse, Université de Bechar, Algérie, 134 p
- [71] **Harrat. N, (2007)**. Qualité des eaux de surface de l'Est algérien et leur réactivité vis-à-vis du chlore, Mémoire de Magister en géologie option hydrochimie, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 64 p
- [72] **Jaccon. G, (1974)**. Débits de base de l'Oued Seybouse dans la région de Guelma ; approche hydrologique, Etude : 7/SHYL/32, secrétariat d'état à l'hydraulique, direction des études de milieu et de la recherche hydraulique, sous direction des ressources en eau, Service – Hydrologie, 32 p
- [73] **JORA (2006)**. Journal Officiel de la République Algérienne. Décret ministériel n°06-141, portant organisation et réglementation des déchets liquides industriels.
- [74] **Kachi N., Kachi S., Bousnoubra H. (2016)**. Effects of Irrigated Agriculture on Water and Soil Quality (Case Perimeter Guelma, Algeria), *Soil & Water Res.*, 11, 2016 (2), 97–104
- [75] **Kachi N., 2015**, "Impact du périmètre irrigué sur la qualité des eaux souterraines dans le bassin versant de la Seybouse", Thèse de doctorat en sciences, Université Badji Mokhtar, Annaba, 209 p
- [76] **Kendouci. M.A, Kharroubi. B, Maazouzi. A, Bendida. A. (2013)**. Etude de la qualité physico-chimique des eaux usées a déchargé dans l'environnement naturel, cas rivière de Béchar, Algérie, Article publiée sur le Journal *Énergie Procedia*, Vol (36), 287 – 292
- [77] **Kerdoun R.M. (2016)**. Evaluation du niveau de la pollution organique des eaux de l'oued Rhumel en amont et en aval de Constantine, Mémoire Master, Université des Frères Mentouri Constantine, 72 p
- [78] **Khadri. S, (2018)**. La qualité des rejets urbains par temps de pluie dans un bassin versant urbanisé (Bassin versant de la Seybouse), Thèse de Doctorat en sciences, Option : Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 189 p

Références bibliographiques

- [79] **Khelfaoui. F, (2014).** Qualité et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant du Saf-Saf (NE Algérien), Thèse de Doctorat en science, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 300 p
- [80] **Kheloufi. L, Sferdji. F, (2014).** Apport des analyses statistiques des données hydrochimiques a l'identification de l'origine des eaux souterraines application au synclinal de Tiout (NO-Algérien), Mémoire d'Ingénieur d'Etat, Option Hydrogéologie, Université Aboubeker Belkaid- Tlemcen, Algérie, 80 p
- [81] **Kieken. M.** Traits essentiels de la géologie algérienne, Livre à la mémoire de P. Fallot, tome I- SGF
- [82] **Koffi. Y.B (2013).** Étude hydrochimiques et microbiologique des eaux de source de l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire: Cas du village de Mangouin-Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman), article publié en Journal of Applied Biosciences 63: 4703 – 4719 ISSN 1997–5902, Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Université Félix Houphouët Boigny, Cocody- Abidjan, (Côte d'Ivoire), 9-17
- [83] **Kouassi. M.A, (2011).** Application des méthodes d'analyses statistiques multivariées à l'étude de la minéralisation des eaux des aquifères fissurés de la zone Guiglo-Duekoué (Ouest de la Côte d'Ivoire), article publié en international Journal de biologie et science de chimie, Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (INP-HB), Côte d'Ivoire, 4 – 7
- [84] **Lahondère. J. C, (1987).** Les séries ultra telliennes d'Algérie nord-orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural, Thèse d'Etat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 204 p
- [85] **Laraba. A, Hadj Zobir. S (2009).** Pollution organique des eaux de l'Oued Seybouse (plaine alluviale de Guelma, NE Algérien), Bulletin des Sciences Géographiques ISSN 1112-3745.Alger, Vol N° 23, 2-6
- [86] **Louamri. A, (2013),** Le bassin-versant de la Seybouse (Algérie orientale): hydrologie et aménagement des eaux, Thèse de Doctorat en sciences (Géographie et Aménagement du Territoire, option : Hydrologie), Université les Frères Mentouri, Constantine 1, Algérie, 316 p
- [87] **Louamri. A, Mebarki. A, Laignel. B, Bahri. K, (2011).** Variabilité interannuelle et intra-annuelle des transports solides de l'Oued Bouhamdane, à l'amont du barrage Hammam Debagh (Algérie orientale), 1-40 p

Références bibliographiques

- [88] **Louamri. A, (2010).** Contribution à l'évaluation des transports solides de l'Oued Bouhamdane à la Station de Medjez Ammar II et le barrage Hammam Debagh, international network environnemental management conflits, Santa Catarina, Brasil, 1-7
- [89] **Louamri. A, (2009).** Cartographie des pluies annuelles dans le bassin versant de L'Oued Seybouse (Nord-Est Algérien), Sciences & Technologie D – N°30, 43-52
- [90] **Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., Van. Clooster M (2011).** Contribution a l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, Décembre 2011,149-169
- [91] **Mansouri. Z, (2009).** Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (Nord-Est Algérien), Thèse de magister. Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 134 p
- [92] **Marcel D. (1995).** Chimie des oxydants et traitement des eaux. L'université de Poitiers (E.S.I.P), 230 p
- [93] **Mecibah I. (2017).** Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant d'oued Guebli (Nord-Est Algérien), Thèse de doctorat en sciences, Université Badji Mokhtar, Annaba, 314 p
- [94] **Mekaoussi. N, (2014),** Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface de Hammam Debagh (Nord-Est Algérien), Mémoire de Magister en Hydraulique Option : Hydraulique numérique et environnement, Université Hadj Lakhdar –Batna, Algérie, 126 p
- [95] **Makhloufi. A, Abdelouahid. DJ (2011).** Etude de la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau potable dans la ville de Bechar (Sud-Ouest Algérie), 1er Séminaire International sur la Ressource en eau au Sahara : Evaluation, Economie et Protection, Ouargla, Algérie, 355-364
- [96] **Mouchara. N (2009).** Impactes des lâchées du barrage Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont(NE Algérien), Thèse de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 141 p
- [97] **Nouar. T (2007).** Impact de la pollution sur les ressources en eau superficielles et souterraines de la région de Guelma, Thèse de Doctorat, Université de Badji Mokhtar, Annaba, 179 p
- [98] **Nouar. T, (2004).** Etude des ressources en eaux superficielles du bassin de Guelma, Thèse de magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 130 p

Références bibliographiques

- [99] **Mouissi. S, Alayat. H (2016)**. Utilisation de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour la caractérisation Physico-chimique des eaux d'un écosystème aquatique : Cas du Lac Oubéira (Extrême NE Algérien), Article publié au Journal Mater Environnement Sciences, Volume 7 (6), 2214-2220
- [100] **Ouddah. A (2009)**. Etude pétrographique, minéralogique et géochimique des chapeaux de fer de Djebel Debagh – Guelma (Nord-Est Algérien), Thèse de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 3-9
- [101] **Riad S. (2003)**. Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc, Thèse de doctorat, université des sciences et technologies de Lille & université Ibnou Zohr, Agadir, Maroc, 154 p
- [102] **Roche M. (1963)**. Hydrologie de surface, Gauthier - Villars Éditeur – Paris, 431 p
- [103] **Rodier J. (1996)**. L'analyse de l'eau eaux naturelles - eaux usées, troisième édition, Dunod, Paris, 412 p
- [104] **Rodier. J (1982)**. L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau, 6eme édition, Dunod, Paris, 400 p
- [105] **Serbah. B, (2011)**. Etude et valorisation des sédiments de dragage du barrage Bakhadda, Tiaret, Mémoire de Magister en Génie Civil, Option: Géotechnique et Environnement, Université Aboubakr Belkaid - Tlemcen, Algérie, 129 p
- [106] **Stucky- Tractionnel (1977)**. Hydrologie du barrage Hammam Debagh, pièce N° 1, Décembre, 5-10
- [107] **Stucky- Tractionnel (1977)**. Etude des conditions du site de barrage Hammam Debagh, pièce N° 2, Septembre, 17p
- [108] **Talbi. A, (1987)**. Etude des minéralisations karstiques du Djebel Debagh occidental (Guelma), Mémoire de Magistère en géologie minière, Université des sciences et de la technologie, Houari Boumediene, Algérie, 170 p
- [109] **Vila. J.M, (1980)**. La chaine alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse Doctorat d'état. Université Pierre et Marie-Curie. Paris VI. 665 p
- [110] **Zenati N., Messadi D (2009)**. Système d'évaluation de la qualité des eaux superficielles –application au bassin versant côtier Constantinois Est, Le journal de l'Eau et de l'Environnement, 120-131.