

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers
Filière : Sciences de la Terre
Spécialité/Option: Hydrogéologie et Géothermie
Département: Sciences de la Nature et de la Vie

**Caractérisation physico-chimique des eaux traitées :
cas de la station de Hammam Debagh-Guelma.**

Présenté par : CHERIFI Yasmine

Devant le jury composé de :

Président :	Mme BENNACER Leila	MAA	Université de Guelma
Examineur :	Mr GHRIEB Lassaad	MCA	Université de Guelma
Encadreur :	Mme KACHI Nora	MCB	Université de Guelma

Juin 2018

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Je remercie en premier lieu et avant tout « Dieu » tout puissant, qui m'a aidé et donné le courage pour mener à bien ce modeste travail, et pour sa grâce tout au long de ma vie professionnelle et personnelle.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance, gratitude et mes vifs remerciements vont directement à ma directrice du mémoire Madame **KACHI Nora**, pour avoir accepté de me diriger, encadré et suivi tout au long de ce travail avec sa rigueur scientifique exceptionnelle, ses conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail. Je lui témoigne ma profonde reconnaissance pour la disponibilité, la patience et la bienveillance dont elle a fait preuve, ainsi que pour la confiance qu'elle m'a accordée et le soutien qu'elle m'a apporté au cours de mes recherches.

Je suis très reconnaissante envers Madame **BENNACER Leila** d'avoir accepté de présider ce jury.

Ma reconnaissance et mes vifs remerciements vont au Docteur **GHRIEB Lassaad** pour avoir participé en tant qu'examineur, et de l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'évaluer ce travail.

Je remercie également toute l'équipe de la station de traitement et du laboratoire de l'Algérienne des Eaux (ADE) de Hammam Debagh. Qui nous ont fournis gracieusement les données d'analyse physico-chimiques en particulier Monsieur **ELLAGOUNE Abd Elghani**, chef de la station de l'Algérienne des Eaux (ADE) de Hammam Debagh et Monsieur **AMRAOUI Salah** chef de laboratoire ainsi que Monsieur **BOUDEFFA Mouhamed**. Qu'ils trouvent ici mes plus vifs remerciements.

Que **BAOUT Mebarka** et **BOUCHEBOUT Samira**, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude pour m'avoir accueilli dans le laboratoire d'analyses physico-chimiques et microbiologique.

Mes sincères remerciements et ma gratitude vont également à toute l'équipe de l'agence (ANBT) du Barrage Hammam Debagh, à leur tête monsieur le directeur **DOUAKHA Mouhamed**, qu'ils soient assurés de notre dévouement.

Mes remerciements vont également à mes enseignants des Sciences de la Terre et de l'Univers, qui ne sont jamais abstenus de me prodiguer, conseiller, encourager et soutenu.

Enfin, Je n'oublierai jamais l'aide, les conseils et surtout les encouragements et le soutien moral de ma famille et de mes précieux amis.

Dédicaces

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire « *YA KAYOUM* »

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère *FATIHA*, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à mon très cher père *MOHAMED*, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

Que dieu les garde et les protège.

A mes adorables sœurs, *ASMA*, et *SOUNDS*.

A mon frère, *AHMED AMINE*.

A tous ceux qui me sont *chères*.

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux que J'aime.

Je dédie ce travail.

Yasmine

RESUME

Le principal objectif de cette étude est un diagnostic de la qualité des eaux traitées du barrage de Hammam Debagh. L'analyse de la qualité physico-chimique a porté sur des données de 18 paramètres physico-chimiques déterminés en eaux brutes et traitées utilisées pour la consommation humaine qui ont été prélevées et analysées au laboratoire de la station de traitement de la région, sur une période de 6 ans allant de 2012 à 2017.

L'interprétation hydrochimique des résultats obtenus à travers des représentations graphiques sur le diagramme de Piper et de Schöeller-Berkaloff, ont montré un faciès dominant chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les deux types d'eaux des deux saisons avec des légères tendances bicarbonatées liées aux roches sédimentaires du terrain à composante carbonatée. Le chimisme des eaux brutes à travers une analyse en composante principale (ACP) n'est pas seulement lié à la nature des terrains traversés, il peut être influencé par des indicateurs d'une contamination d'origine anthropique (domestique et agricole).

Selon les normes de potabilité émises par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et Algériennes, les eaux traitées du barrage de Hammam Debagh présentent une qualité physico-chimique et notamment minérale plus acceptable ce qui les qualifient de bonne qualité à la consommation humaine.

Mots clés : Eaux brutes, traitées, physico-chimiques, barrage, station de traitement de Hammam Debagh.

ABSTRACT

The main objective of this study is a diagnosis of the treated water quality of the Hammam Debagh dam. The physicochemical quality analysis included data on 18 physicochemical parameters determined in raw and treated water used for human consumption that were collected and analyzed at the laboratory of the treatment plant in the region, on a six-year period from 2012 to 2017.

The hydro chemical interpretation of the results obtained through graphical representations on the Piper and Schöeller-Berkaloff diagrams, showed a dominant chloride and sulfated calcic and magnesium facies for both types of waters of the two seasons with slight bicarbonated tendencies related to sedimentary rocks of the carbonate component terrain. The chemistry of raw water through a principal component analysis (PCA) is not only related to the nature of the land crossed, it can be influenced by indicators of anthropogenic contamination (domestic and agricultural).

According to the standards of potability issued by the World Health Organization (WHO) and Algerian, the treated waters of the Hammam Debagh dam have a physicochemical quality and in particular mineral more acceptable which qualifies them of good quality for human consumption .

Key words: Raw, treated, physico-chemical water, dam, Hammam Debagh treatment plant.

الملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحديد نوعية المياه المعالجة لسد حمام دباغ. شملت المعطيات الفيزيوكيميائية 18 معيار فيزيوكيميائي تم تحديدها في المياه الخام والمعالجة المستخدمة للاستهلاك البشري والتي تم جمعها وتحليلها في مختبر محطة المعالجة في المنطقة. على مدى 6 سنوات من 2012 الى 2017 .

التفسير الهيدروكيميائي للنتائج التي تم الحصول عليها من خلال الرسوم البيانية على مخطط بيبار و شولر- بيركالوف، أظهرت صفات غالبية كلورور سولفات الكالسيوم والمغنيزيوم لكل من هذين النوعين من المياه في الموسمين مع ميول طفيف للبيكارونات مرتبطة بالأرضية الكربوناتيّة.

كيمياء المياه الخام من خلال تحليل المكون الرئيسي (ACP) لا يرتبط فقط بطبيعة التضاريس، بل يمكن أيضا أن يتأثر بالملوثات البشرية (منزلية وزراعية).

وفقا لمعايير القابلية للصحة الصادرة عن منظمة الصحة العالمية (OMS) والجزائرية. تتمتع المياه المعالجة لسد حمام دباغ بنوعية فيزيوكيميائية وخاصة المعدنية أكثر قبولا ، مما يؤهلها لتكون ذات نوعية جيدة للاستهلاك البشري.

الكلمات المفتاحية : المياه الخام، المعالجة، الفيزيوكيميائية، سد، محطة المعالجة بحمام دباغ.

Table des matières

Remerciements

Résumé

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Cadre général

1. Présentation générale de la zone d'étude :	2
1.1. Situation géographique de la zone d'étude.....	3
1.1.1. Caractéristiques du barrage de Hammam Debagh. (ANBT, 2018).....	4
2. Cadre géologique et lithologique.	4
2.1. Aperçu géologique	5
2.2. Les formations lithologiques	5
A- Les roches résistantes	5
B- Les roches moyennement résistantes.	6
C- Les roches tendres	6
3. Le réseau hydrographique	7

Chapitre II : Hydroclimatologie

1. Introduction	9
2. Diagramme pluviothermique de GAUSSEN ($P = 2T$).....	9
3. Evolution temporelle des données climatiques disponibles entre 2009 et 2017	10
3.1. Les températures	10
3.1.1. Températures moyennes mensuelles	10
3.1.2. Températures moyennes interannuelles.	10
3.2. Les précipitations	11
3.2.1. Précipitations moyennes mensuelles	11
3.2.2. Les précipitations interannuelles	12
4. La variabilité des précipitations annuelles	13

5. Bilan hydrique	14
5.1. Estimation des paramètres du bilan hydrologique selon THORNTHWAITE	14
5.1.1. Étude de l'évapotranspiration.....	14
A. L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	14
B. L'évapotranspiration réelle (ETR).....	15
5.1.2. Estimation du ruissellement (R)	15
5.1.3. Estimation des réserves facilement utilisables (RFU).....	15
5.2. Interprétation du bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite	16
6. Conclusion.....	18

Chapitre III : Procédures de traitement et analyses physico-chimiques

1. Introduction	19
2. Les étapes de la production d'eau potable	19
2.1. Traitement physique (prétraitement).....	20
2.1.1. Le dégrillage.....	20
2.1.2. Le tamisage.	20
2.1.3. La préchloration (préoxydation).....	21
2.2. Traitement chimique (clarification)	21
2.2.1. Coagulation-floculation.....	22
2.2.2. Décantation (flottation)	22
2.2.3. La filtration.....	23
2.2.4. Postchloration (Désinfection).....	24
2.2.5. Stockage et distribution.	24
3. Matériels et méthodes d'analyses des eaux brutes et traitées.....	25
3.1. Analyse physico-chimique	25
3.1.1. Caractéristiques physiques	25
A. Mesure de la température (T°C).....	25
B. Mesure du pH	25
C. Mesure de la turbidité (Turb).....	26
D. Mesure de la conductivité électrique (CE)	26

3.1.2. Caractéristiques chimiques.....	27
A. Dosage des chlorures (Cl ⁻).	27
B. Dosage du magnésium (Mg ²⁺).....	27
C. Dosage du calcium (Ca ²⁺)	27
D. Matière organique (MO)	27
E. Matières en suspension (MES)	28
3.1.3. Méthode spectrophotométrie.....	28
A. Dosage des nitrates (NO ₃ ⁻)	29
B. Dosage des nitrites (NO ₂ ⁻).	29
C. Dosage des sulfates (SO ₄ ²⁻)	30
D. Dosage de l'ammonium (NH ₄ ⁺)	30
E. Dosage de fer (Fe ²⁺).....	30
4. Conclusion.....	31

Chapitre VI : Hydrochimie

1. Introduction	32
2. Qualité des données.....	32
3. L'évolution des paramètres physico-chimiques.....	33
3.1. Paramètres physiques	33
3.1.1. La température (T°C)	33
3.1.2. Conductivité (CE)	34
3.1.3. Le potentiel Hydrogène (pH)	34
3.2. Eléments polluants présents dans l'eau	35
3.2.1. Matières en suspension (MES).....	35
3.2.2. La matière organique (MO).....	36
3.2.3. La turbidité (Turb):.....	37
3.3. Les éléments nutritifs	38
3.3.1. Les phosphates (PO ₄ ³⁻)	38
3.3.2. Nitrate (NO ₃ ⁻)	39

3.3.3. Nitrite (NO ₂ ⁻).....	39
4. Caractérisation hydrochimiques des eaux brutes et traitées du barrage de Hammam Debagh	40
4.1. Outils et méthodes.....	40
4.1.1. Outil.....	41
4.1.2. Méthodes	42
A. Le diagramme de Piper.....	42
B. Le diagramme de Schoeller Berkaloff :.....	42
4.2. Facies chimiques et l'évolution des paramètres mesurés :.....	43
4.2.1. Années 2012-2013 :	43
A. Eau brute.....	43
B. Eau traitée :.....	43
4.2.2. Années 2013-2014 :	45
A. Eau brute :	45
B. Eau traitée :.....	45
4.2.3. Années 2014-2015 :	45
A. Eau brute :	45
B. Eau traitée :	45
4.2.4. Années 2015-2016 :	48
A. Eau brute :	48
B. Eau traitée :.....	48
4.2.5. Années 2016-2017 :	48
A. Eau brute :	48
B. Eau traitée :.....	48
4.3. Analyse statistique en composante principale (ACP) des eaux brutes :	51
4.3.1. Eaux brutes en saison humide	51
A. Matrice de corrélation entre les différentes variables :	52
B. Corrélations entre les variables et les axes principaux	53

4.3.2. Eaux brutes en saison sèche :	54
A. Matrice de corrélation entre les différentes variables :	55
B. Corrélations entre les variables et les axes principaux	56
5. Conclusion :.....	58
Conclusion générale	59
Références bibliographiques	

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Situation géographique de la zone d'étude.....	2
2	Photo satellitaire de la station de traitement des eaux brutes du barrage de Hammam Debagh (Google Erth, 2018)	3
3	Photo satellitaire reliant la station de traitement au barrage de Hammam Debagh (Google Erth, 2018)	4
4	Lithologie du bassin versant de l'Oued Bouhamdene (MEKAOUSSIN, 2014)	6
5	Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Bouhamdene. (MEKAOUSSIN, 2014)	7
6	Profil en long de l'Oued Bouhamdene et de ses principaux affluents (MEKAOUSSIN, 2014) ...	8
7	Diagramme pluviométrique de la station Hammam Debagh (2009/2017).....	9
8	Températures moyennes mensuelles à la station de Hammam Debagh (2009/2017).....	10
9	Températures moyennes interannuelles à la station de Hammam Debagh (2009/2017)	11
10	Précipitation moyennes mensuelles à la station de Hammam Debagh (2009/2017)	12
11	Précipitation moyennes interannuelles à la station de Hammam Debagh (2009/2017)	12
12	Variations du coefficient pluviométrique à la station de Hammam Debagh (2009/2017)	13
13	Représentation graphique des paramètres du bilan hydrologique à la station de Hammam Debagh (2009/2017)	17
14	Représentation graphique du bilan hydrologique à la station de Hammam Debagh (2009/2017) .	17
15	Les étapes de la production d'eau potable (Photo. Google Earth, 2018).	19
16	Exemple de dégrillage fixe à nettoyage manuel (ADE)	20
17	Tamis rotatif (ADE)	20
18	Bassin du pré chloration	21
19	Bassin de coagulation-floculation.....	22
20	Bassin de décantation	23
21	Bassin de la filtration.....	24
22	Réservoir de stockage	24
23	Multi-paramètres ou Oxi-mètre	25
24	pH-mètre.....	26
25	Turbidimètre	26
26	Spectrophotomètre.....	29
27	Température moyenne annuelle des eaux brutes et traitées (2012 à 2017)	33
28	Conductivité moyenne annuelle des eaux brutes et traitées (2012 à 2017)	34
29	pH moyen annuel des eaux brutes et traitées (2012 à 2017)	35
30	Matières en suspension moyenne annuelle des eaux brutes et traitées (2012 à 2017)	36
31	Matière organique moyenne annuelle des eaux brutes et traitées (2012 à 2017)	37
32	Turbidité moyenne annuelle des eaux brutes et traitées (2012 à 2017).....	38

33	Phosphate moyen annuel des eaux brutes et traitées (2012 à 2017)	38
34	Nitrate moyen annuel des eaux brutes et traitées (2012 à 2017)	39
35	Nitrite moyen annuel des eaux brutes et traitées (2012 à 2017)	40
36	Interface de commande du logiciel DIAGRAMME.....	41
37	Diagrammes de Schöeller-Berkaloff et le diagramme de Piper vierges	42
38	Diagrammes des analyses des eaux brutes du barrage de Hammam Debagh (2012 à 2013)	44
39	Diagrammes des analyses des eaux traitées du barrage de Hammam Debagh (2012 à 2013)	44
40	Diagrammes des analyses des eaux brutes du barrage de Hammam Debagh (2013 à 2014)	46
41	Diagrammes des analyses des eaux traitées du barrage de Hammam Debagh (2013 à 2014)	46
42	Diagrammes des analyses des eaux brutes du barrage de Hammam Debagh (2014 à 2015)	47
43	Diagrammes des analyses des eaux traitées du barrage de Hammam Debagh (2014 à 2015)	47
44	Diagrammes des analyses des eaux brutes du barrage de Hammam Debagh (2015 à 2016)	49
45	Diagrammes des analyses des eaux traitées du barrage de Hammam Debagh (2015 à 2016)	49
46	Diagrammes des analyses des eaux brutes du barrage de Hammam Debagh (2016 à 2017)	50
47	Diagrammes des analyses des eaux traitées du barrage de Hammam Debagh (2016 à 2017)	50
48	Graphique de corrélation des variables physicochimiques et individus en saison pluvieuse le plan factoriel F1-F2	54
49	Corrélation des variables physicochimiques et individus en saison sèche dans le plan factoriel F1-F2	57

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Répartition des différents types de roches dans le bassin versant (Mekaoussi.N, 2014)	7
2	Température moyennes mensuelles de 8 ans	10
3	Température moyennes interannuelles de 8 ans	11
4	Précipitation moyennes mensuelles à la station de Hammam Debagh (2009/2017).....	11
5	Précipitation moyennes interannuelles à la station de Hammam Debagh (2009/2017).....	12
6	Bilan hydrique global d'après la méthode de Thornthwaite à station de Hammam Debagh (2009/2017).....	16
7	Valeurs propres (saison humide).....	51
8	Matrice de corrélation entre les variables et la saison humide de la période étudiée.....	52
9	Coefficients de corrélations entre les variables en saison humide et les axes principaux	53
10	Valeurs propres (saison sèche).....	54
11	Matrice de corrélation entre les variables et la saison sèche de la période étudiée.....	55
12	Coefficients de corrélations entre les variables en saison sèche et les axes principaux	56

Liste des abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux

ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transfert

Dd : Densité de drainage

E.D : Eau distillée

EDTA : L'acide Ethylène-Diamine-tétra-Acétique

HSN : Acide calcane carboxylique

MES: Matière en suspension

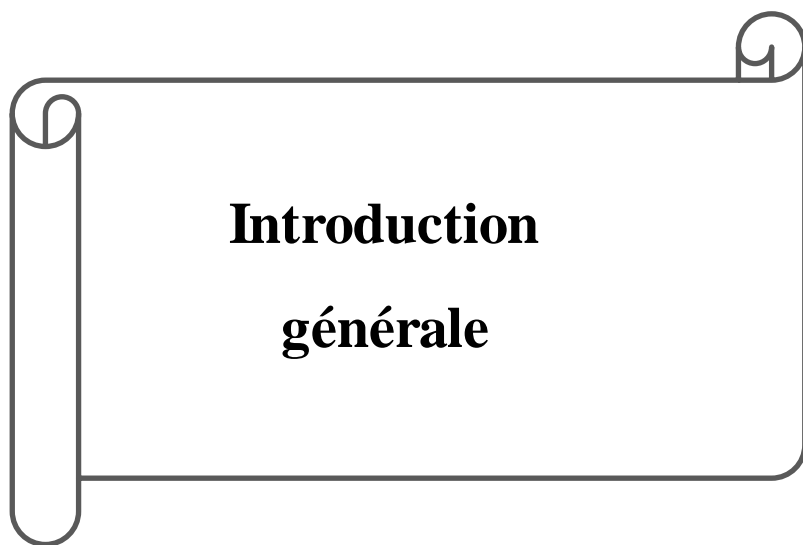
MO: Matière organique

NTU: Nephelometric Turbidity Unit (unité néphélométrique de turbidité)

OMS : Organisation mondiale de la santé

TDS: Total des solides dissous

Turb : Turbidité



Introduction

générale

Introduction générale

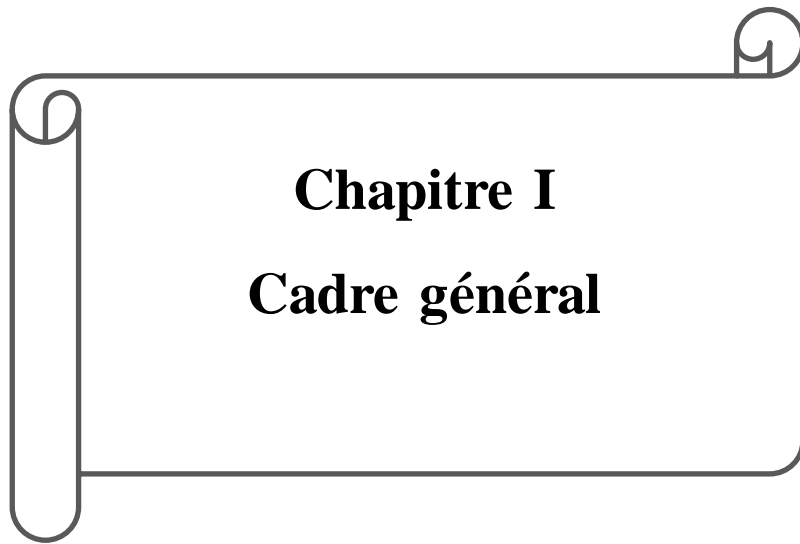
Les principales sources d'eau potable sont les eaux de surface. Ces eaux s'avèrent souvent impropres à la consommation en raison de la pollution générée par des activités urbaines, industrielles et agricoles.

L'eau potable répond à de très grandes exigences de qualité. Cependant, les eaux brutes superficielles sont toujours recyclées, soit naturellement ou dû à l'homme, donc elles ne remplissent pas toujours les critères requis en termes de qualité chimique et microbiologique. L'eau ne doit pas faire courir de risques directs ou indirects pour la santé. Une installation de traitement d'eau destinée à la consommation doit produire, en toutes circonstances, une eau répondant aux normes potabilité avant sa mise en distribution et d'être consommée.

L'objectif général de ce travail consiste à étudier l'évolution des différents paramètres physico-chimiques des eaux du barrage de Hammam de Debagh qui sont livrées à la consommation après différentes étapes de traitement où l'organisme producteur (ADE) de l'eau potable de la station de traitement assure la surveillance de la qualité de l'eau qu'il produise.

Pour élaborer cette étude nous avons divisé notre travail en quatre chapitres hormis d'une introduction et conclusion générales :

- Le premier chapitre est consacré à une présentation générale de la zone d'étude, notamment la situation géographique du barrage et de la station de traitement de Hammam Debagh avec un aperçu sur la lithologie du terrain et le réseau hydrographique.
- Le deuxième chapitre concerne la présentation hydroclimatologique de la zone d'étude sur une période de 8ans (2009 à 2017).
- Dans le troisième chapitre nous décrivons les principales étapes du traitement des eaux brutes du barrage de Hammam Debagh : préchloration, coagulation-floculation, décantation, filtration et postchloration ainsi que le matériel et méthodes d'analyses physico-chimiques au sein du laboratoire de la station de Hammam Debagh.
- Le dernier chapitre sera consacré à l'interprétation de l'hydrochimie, regroupant les résultats expérimentaux provenant de la station de traitement de Hammam Debagh pour définir l'origine et le faciès chimique des eaux du barrage et d'estimer la qualité des eaux traitées du point de vue potabilité et aptitude à la consommation à travers des représentations graphiques du diagramme de Piper, de Schöeller-Berkaloff et la technique d'analyse en composante principale (ACP).



Chapitre I
Cadre général

1. Présentation générale de la zone d'étude

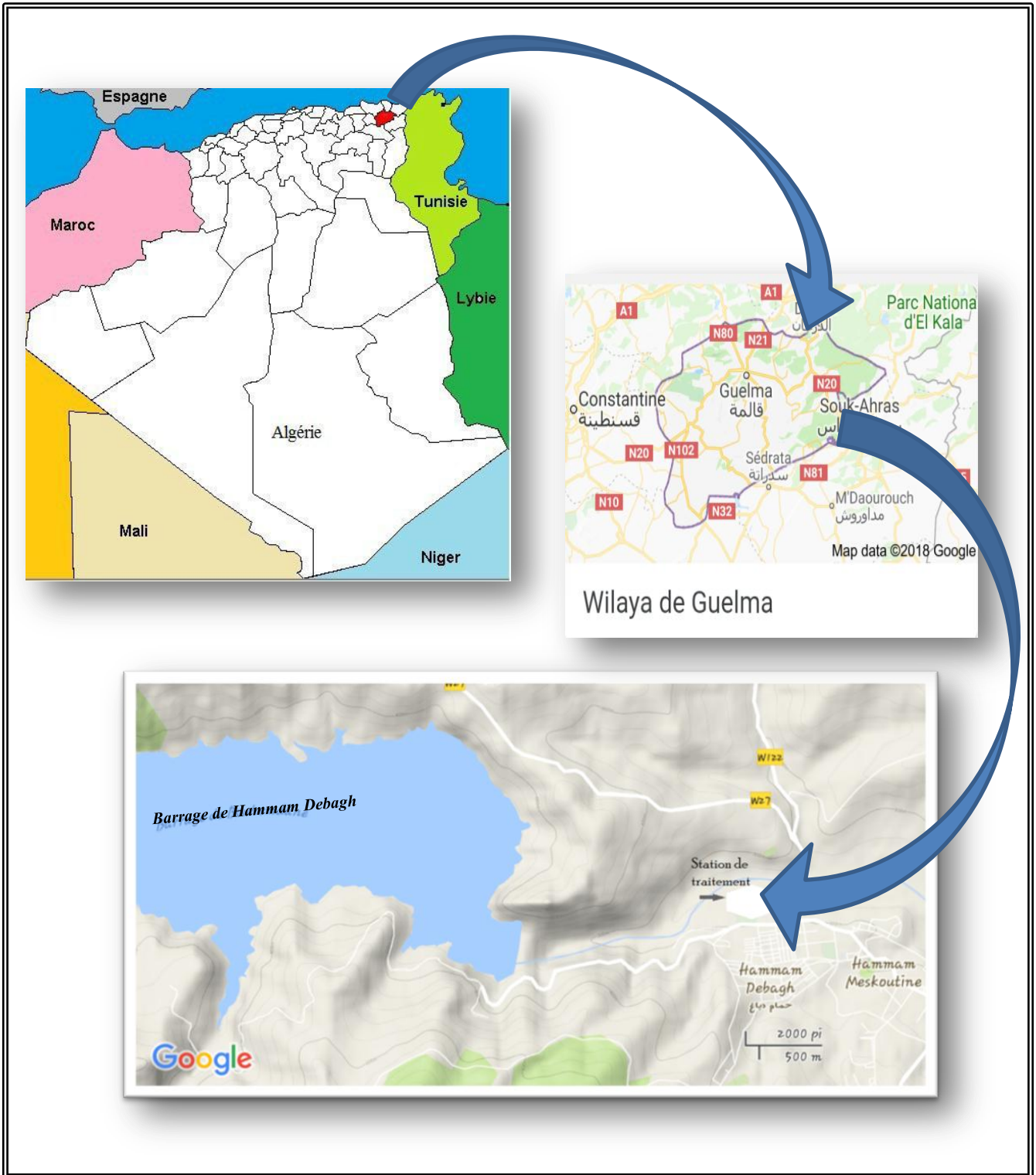


Figure 1. Situation géographique de la zone d'étude.

1.1. Situation géographique de la zone d'étude

La station de traitement des eaux de surface concernée par cette étude est située au Nord-Est Algérien et au Nord-Ouest de la ville de Guelma à 2km de l'agglomération du chef-lieu de la commune de Hammam Debagh. Elle existe sur la rive droite d'Oued Bouhamdane à une Latitude de 36°27' N, Longitude 7°15' E et de 298 m d'Altitude (Figure 2).



Figure 2. Photo satellitaire de la station de traitement des eaux brutes du barrage de Hammam Debagh (Google Earth, 2018).

La station de traitement des eaux provenant du barrage de Hammam Debagh a été mise en service en 2003. Cette station produit actuellement 36 mille m³/jour d'eau potable, soit une quantité de 500 litres/ seconde. Selon les services de la direction de l'hydraulique, l'extension de cette station de traitement va permettre de doubler la production d'eau potable de 500 à mille litres/seconde, soit 72 mille m³ chaque jour (Figure 2).

Cette Station a permis d'utiliser et de mettre en valeur le grand barrage de Hammam Meskhoutine (Debagh), installé à proximité et distant d'une vingtaine de kilomètres à l'Ouest de la ville de Guelma. Il est implanté à 3 km à l'amont de la localité de Hammam Debagh (ex Hammam de Meskhoutine) (Figure 3).

Les stations de traitement des eaux de surface pour l'accès à l'eau potable sont conçues à subvenir aux besoins de la population. Les stations sont en générale installées à proximité d'un court d'eau existant, ou des ouvrages construits comme barrages.



Figure 3. Photo satellitaire reliant la station de traitement au barrage de Hammam Debagh (Google Earth, 2018).

Ce barrage a été construit sur Oued Bouhamdane, situé à une Longitude $7^{\circ} 14' E$, Latitude $36^{\circ} 27' N$, et une Altitude 418,31m avec les coordonnées Lambert ($x=906.7$, $y=360.7$). Il se trouve dans l'Atlas Tellien orientale, appartient au bassin versant de la Seybouse à l'amont de l'Oued Seybouse (la moyenne Seybouse).

Le barrage est destiné à l'alimentation en eau potable de la ville de Guelma et à l'irrigation du périmètre de Guelma – Bouchegouf d'une superficie de 13.000 ha.

1.1.1. Caractéristiques du barrage de Hammam Debagh. (ANBT, 2018)

Année de la mise en eau : Décembre 1987

Type : En terre avec noyau central

Capacité 1988 à la retenue normale : 200 hm^3

Capacité 2004 à la retenue normale : 184.347 hm^3

Apport moyen annuel : 65 hm^3

Volume régularisé : 55 hm^3

Envasement moyen annuel : 0.35 hm^3

2. Cadre géologique et lithologique

La composition chimique des eaux de surface, est liée essentiellement à l'écoulement des eaux de la crue dans le lit de l'Oued qui se chargent de produits solubles de l'altération des roches des terrains Traversés. Pour une meilleure connaissance du faciès chimique de cette

eau, il est indispensable de donner un aperçu sur l'aspect géologique du terrain de la région étudié.

2.1. Aperçu géologique

La région de Hammam Debagh appartient aux nappes Èpi-telliennes qui résultent d'une poussée vers le Sud de la chaîne du Djebel Debagh 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 noir set de puissants bancs de grés, localement de poudingues.

Le site du barrage 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 (Chaouch R, Moumed S, Mebarki F. 2009).

2.2. Les formations lithologiques

La lithologie du bassin versant de l'Oued Bouhamdane est complexe. Elle présente des variations de résistance et de faciès allant des roches les plus dures représentées par les roches calcaireuses et gréseuses, aux roches les plus tendres marneuses (Figure 4). Sur l'extrait de la carte des grands ensembles lithologiques et des formations superficielles (Aiche, 1996 in Mekaoussi N. 2014), on peut regrouper trois ensembles (Tableau 1).

A- Les roches résistantes

Elles regroupent dans le bassin, les calcaires de la nappe Néritique de Constantine, les conglomérats et les grès numidiens. Elles caractérisent les reliefs les plus imposants, avec de fortes pentes. Les calcaires à moindre degré les grés portent les traces de l'action du froid pendant le quaternaire fissurés et par conséquent très perméables. Ces faciès couvrent respectivement 4.01%, 4.06% et 26.90% de la surface de l'ensemble des affleurements rocheux.

B- Les roches moyennement résistantes

Elles correspondent aux roches marno-calcaires de la nappe Ultra-tellienne. Très peu étendues, elles occupent une superficie réduite de 4,86% qui correspond à des collines à pentes moyennes à assez fortes.

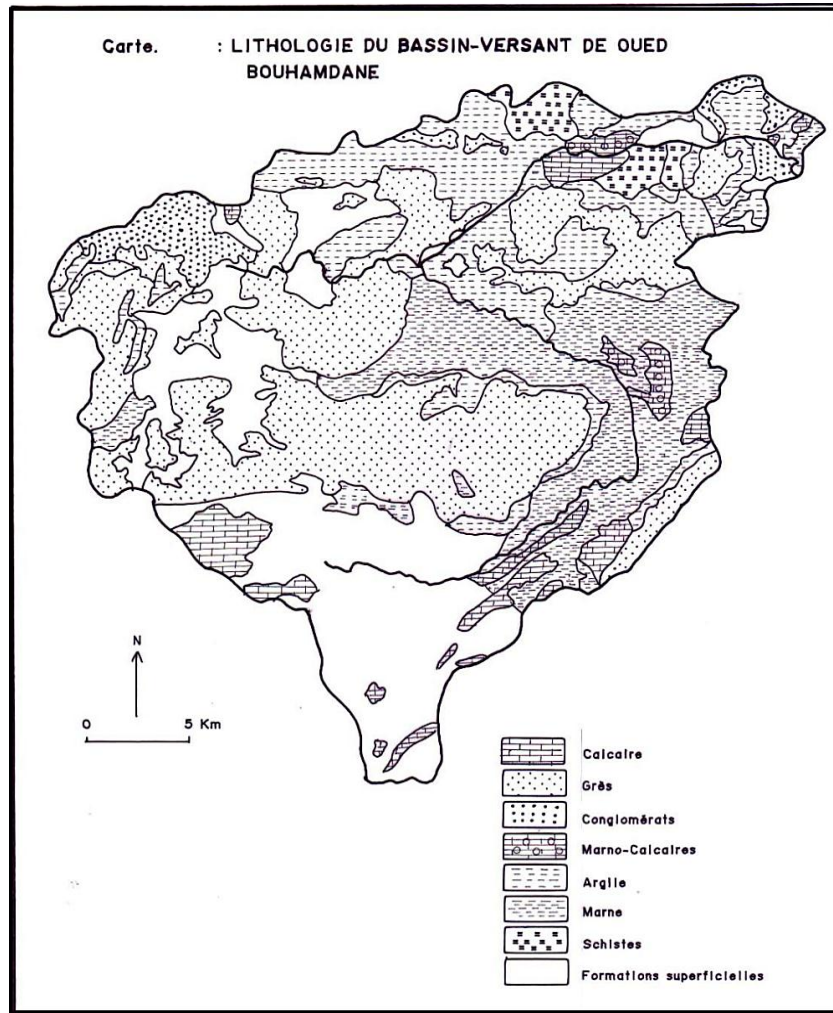


Figure 4. Lithologie du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (Mekaoussi N.2014).

C- Les roches tendres

Elles correspondent aux argiles sous Numidiennes, aux marnes et aux marnes schisteuses de la nappe Ultra-tellienne. Elles se localisent essentiellement sur les versants aux pieds des grès Numidiens et dans les vallées des Oueds Zenati et Bouhamdane. Ces roches présentent des pentes moyennes à plus ou moins faibles (Tableau 1).

Tableau 1. Répartition des différents types de roches dans le bassin versant
(Mekaoussi N.2014).

Ensemble	Roches	%
R. résistantes	Calcaires	4.01
	Conglomérats	4.06
	Grès	26.90
R. moy. résistante	Marno-alcaires	4.86
R. tendres	Argiles	12.17
	Marnes	8.98
	Marnes schisteuses	2.08
Les formations superficielles		36.04

3. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique principal du barrage de Bouhamdane résulte de la jonction de l'Oued Zenati qui draine la zone semi-aride des hautes plaines, et Oued Sabath du Tell-méridional au climat sub-humide (Figure 5). Les altitudes sont comprises entre 270 m, à la station de Medjez Amar II au niveau de la vallée et 1281 m au sommet du Djebel Mzarat Sidi Chagref (Louamri A. 2013), ces deux Oueds drainent respectivement une superficie de 296 Km² et de 592 Km² et dont la confluence donne naissance à l'Oued Bouhamdane.

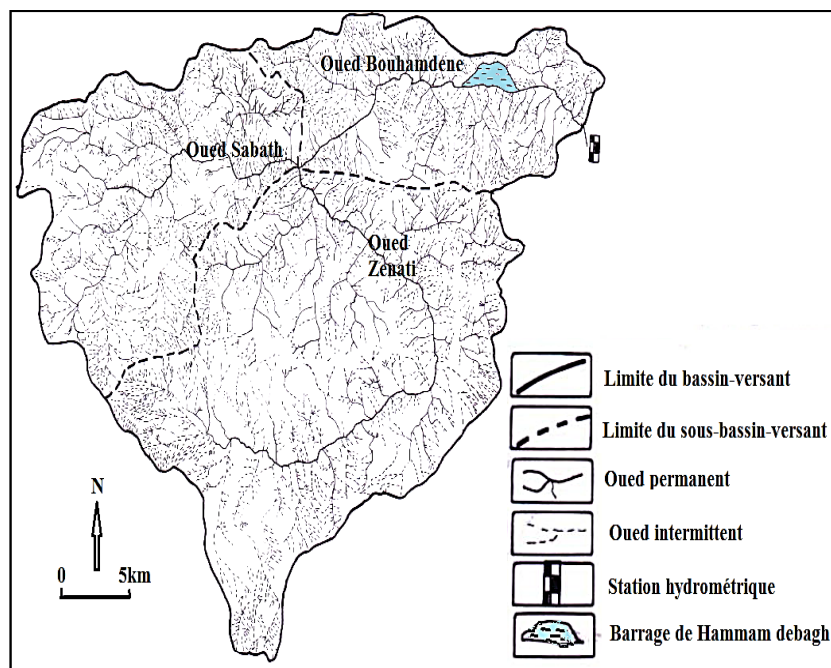


Figure 5. Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane
(Mekaoussi N. 2014) Modifié.

Selon les paramètres morphométriques du bassin de l'Oued Bouhamdane, on constate qu'il draine avec ses principaux affluents une superficie de 1105 Km² de forme allongée. Caractérisée par un réseau hydrographique dense ($Dd=2.45 \text{ Km/Km}^2$) (Figure 6).

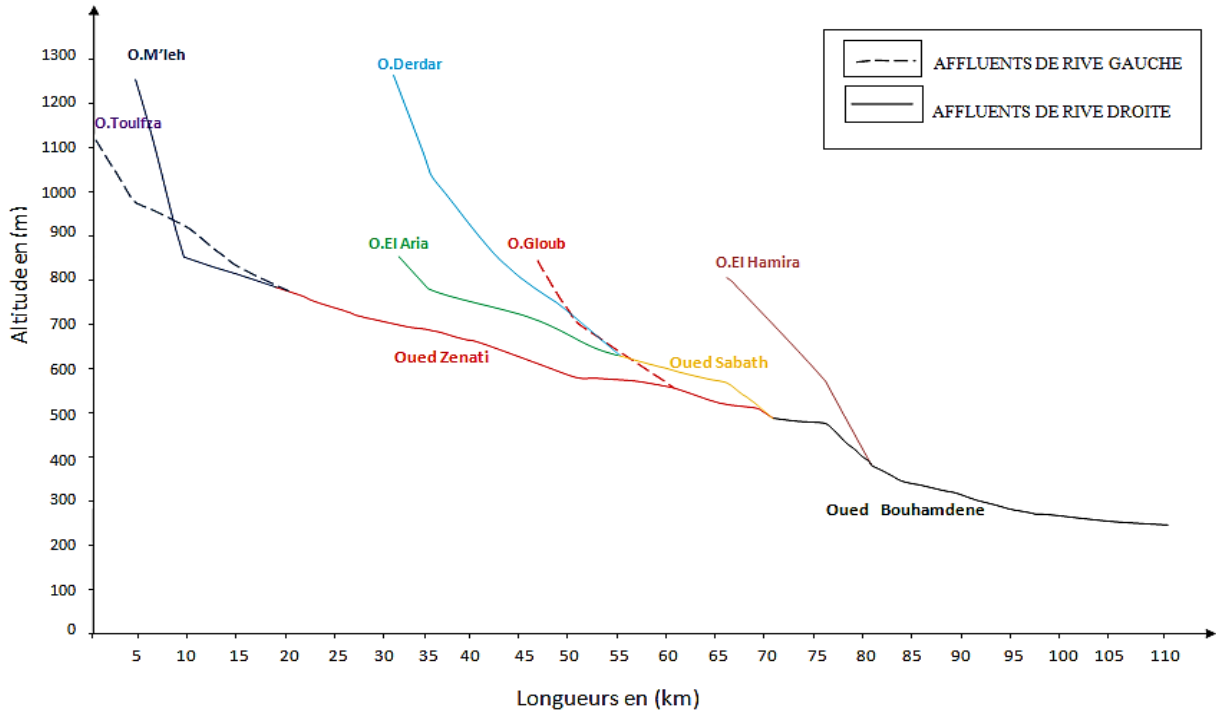


Figure 6. Profil en long de l'Oued Bouhamdane et de ses principaux affluents (Mekaoussi N. 2014).



Chapitre II
Hydroclimatologie

1. Introduction

Les eaux de surface sont très dépendantes du climat et par conséquent l'analyse des facteurs climatiques en particulier les précipitations surtout liquides qui constituent la fonction d'entrée principale, la température, et l'évaporation permettent non seulement d'établir un bilan hydrique afin de comprendre le fonctionnement d'un système hydraulique de surface mais aussi le ruissèlement participe à son tour à l'entraînement des polluants d'origines variées vers les cours d'eaux qui alimentent les barrages.

Les données disponibles mesurées au niveau de l'Agence Nationale des Barrages et Transfert (ANBT) de Hammam Debagh s'étalant sur une période de 8 ans (2009 à 2017) ont permis de définir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux de surface et souterraines.

Selon les études hydroclimatiques durant une période d'observation qui dépasse une vingtaine d'années, le climat qui règne sur la région de Guelma est de type subhumide. (Kachi N, 2016)

2. Diagramme pluviothermique de GAUSSEN (P = 2T)

La combinaison des deux principaux facteurs climatiques précipitation et température enregistrés à la station météorologique, nous a permis d'établir les courbes pluviothermiques (Figure 7) et déterminer ainsi deux saisons bien distinctes :

- Une saison sèche s'étend du mois d'avril jusqu'à la fin du mois de septembre.
- Une saison humide s'étend du début du mois d'octobre, jusqu'à la fin du mois de mars.

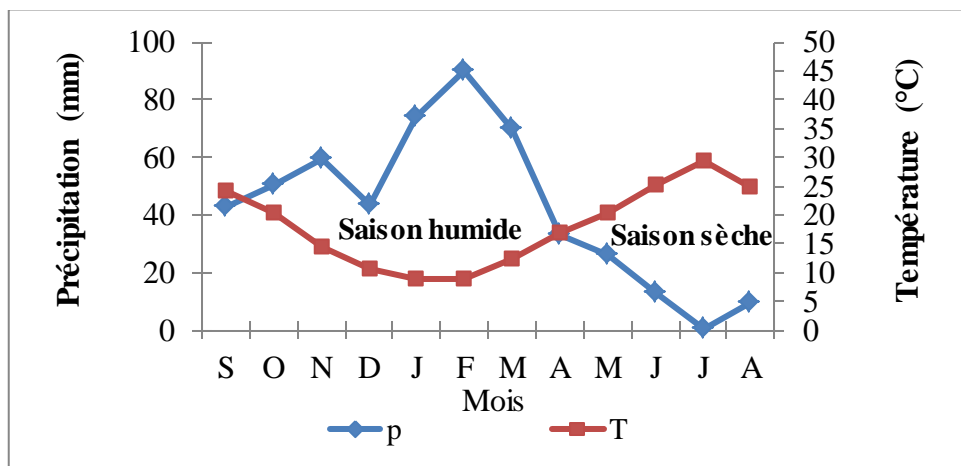


Figure 7. Diagramme pluviothermique de la station de Hammam Debagh (2009/2017).

3. Evolution temporelle des données climatiques disponibles entre 2009 et 2017

3.1. Les températures

La température est un facteur très important dans l'évolution du déficit d'écoulement qui entre dans l'estimation hydrogéologie, ce paramètre est indispensable à la climatologie, vu de son pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées, et qu'il est à l'origine du bon fonctionnement du cycle de l'eau.

3.1.1. Températures moyennes mensuelles

La Température moyenne mensuelle varie entre 8.92°C en hiver au mois de janvier et 29.28°C en été au mois de juillet (Tableau 2) avec une moyenne mensuelle de l'ordre de 18.01°C (Figure 8).

Tableau 2. Températures moyennes mensuelles de 8 ans

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
Moy	24.01	20.24	14.35	10.51	8.92	8.94	12.33	16.9	20.42	25.26	29.28	24.91

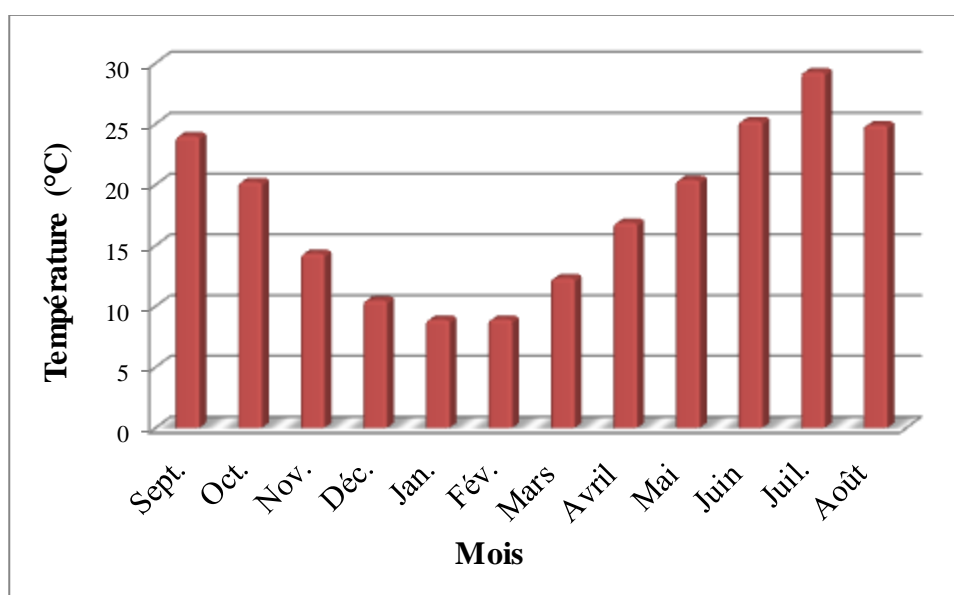


Figure 8. Températures moyennes mensuelles à la station de Hammam Debagh (2009/2017).

3.1.2. Températures moyennes interannuelles

À l'échelle interannuelle, on note une fluctuation thermique de faible amplitude de 14.95 °C à 19,69°C donnant une certaine constance de l'allure générale. La moyenne annuelle est de 18.01°C (Figure 9).

Tableau 3. Températures moyennes interannuelles de 8 ans

Année	2009-10	2010-11	2011-12	2012-13	2013-14	2014-15	2015-16	2016-17
Moy	17.49	14.95	17.75	17.60	18.73	19.03	18.80	19.69

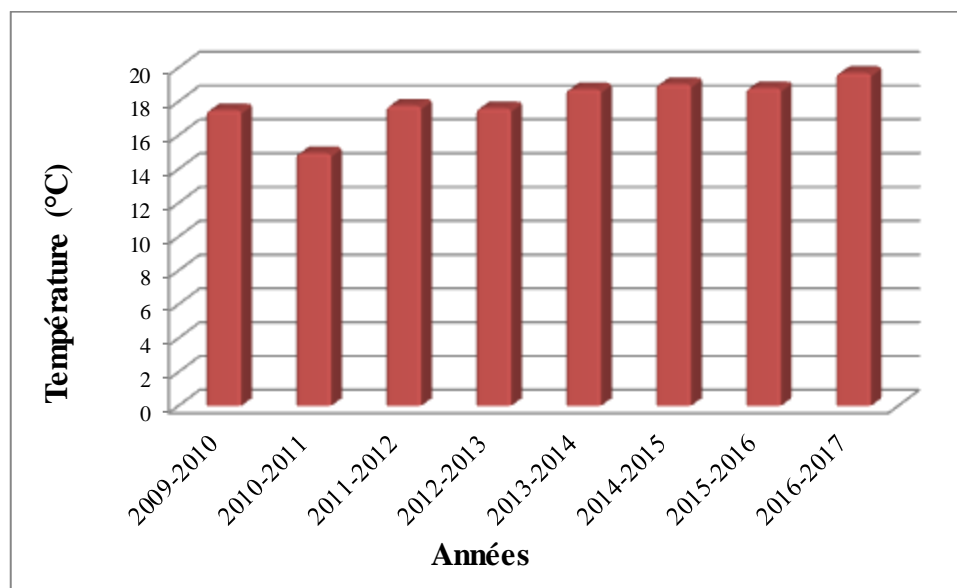


Figure 9. Températures moyennes interannuelles à la station de Hammam Debagh (2009/2017).

3.2. Les précipitations

Les précipitations agissent directement sur les eaux de surface et notamment l'alimentation des barrages et des réserves souterraines.

Il apparaît indispensable de faire ressortir les caractères généraux des précipitations et leur influence sur l'écoulement, vu le rôle important qu'elles peuvent jouer sur le régime des cours d'eau.

3.2.1. Précipitations moyennes mensuelles

Les précipitations de la région augmentent du mois de septembre jusqu'au mois février, le plus pluvieux (89.83mm) puis diminuent pour atteindre leur minimum au mois de juillet (0.23mm) ce qui traduit l'irrégularité des précipitations entre les deux saisons (Tableau 4).

Tableau 4. Précipitations moyennes mensuelles à la station de Hammam Debagh (2009/2017).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
Moy	43.06	50.64	59.45	43.46	73.76	89.83	69.65	33.16	26.21	12.9	0.23	9.21

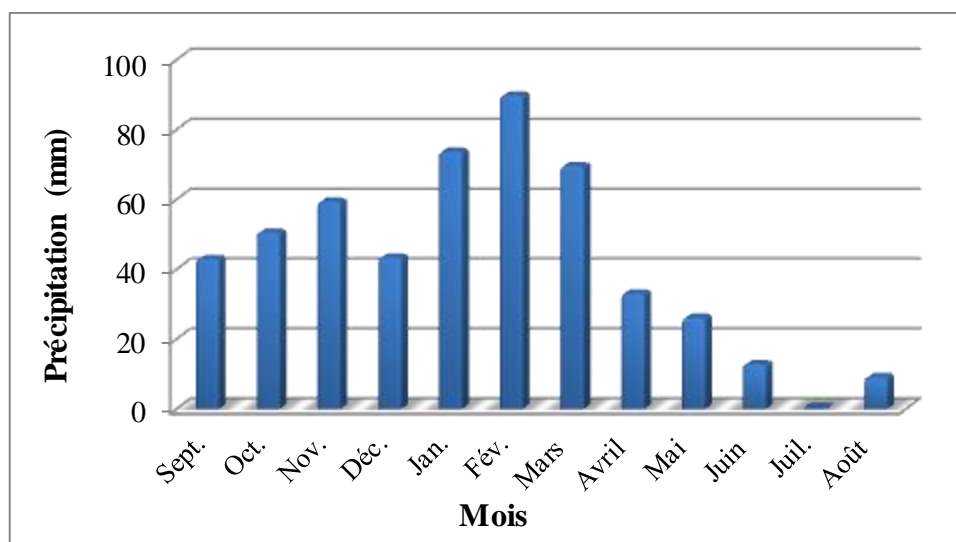


Figure 10. Précipitations moyennes mensuelles à la station de Hammam Debagh (2009/2017).

3.2.2. Les précipitations interannuelles

Les précipitations interannuelles les plus importantes sont enregistrées en 2010-2011, avec un maximum de 736.6mm cependant le minimum est observé en 2016-2017, avec 236.4mm. La moyenne interannuelle de 8 ans d'observation est égale à 511.56 mm (Tableau 5).

Tableau 5. Précipitations moyennes interannuelles à la station de Hammam Debagh (2009/2017).

Année	2009-10	2010-11	2011-12	2012-13	2013-14	2014-15	2015-16	2016-17
Moy	602.90	736.60	599.70	404.60	494.20	612.50	405.60	236.40

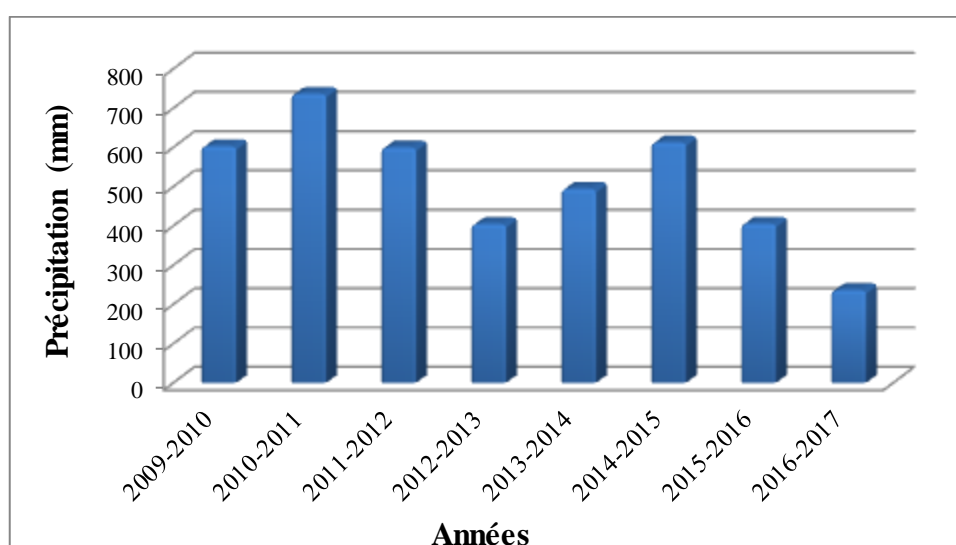


Figure 11. Précipitations moyennes interannuelles à la station de Hammam Debagh (2009/2017).

4. La variabilité des précipitations annuelles

La variabilité des précipitations annuelles est exprimée par le coefficient pluviométrique ‘Cp’ qui permet de déterminer les années excédentaires et les années déficitaires. Il est calculé par le rapport de la pluviométrie de l’année considérée sur la pluviométrie moyenne de la période d’étude à une station donnée

$$CP = \frac{P}{\bar{p}}$$

Avec :

CP : Coefficient pluviométrique.

P: Pluviométrie de l’année considérée (mm).

\bar{p} : Pluviométrie moyenne pour la période d’étude (mm).

Si : - CP > 1 ⇒ on a une année excédentaire.

- CP < 1 ⇒ on a une année déficitaire.

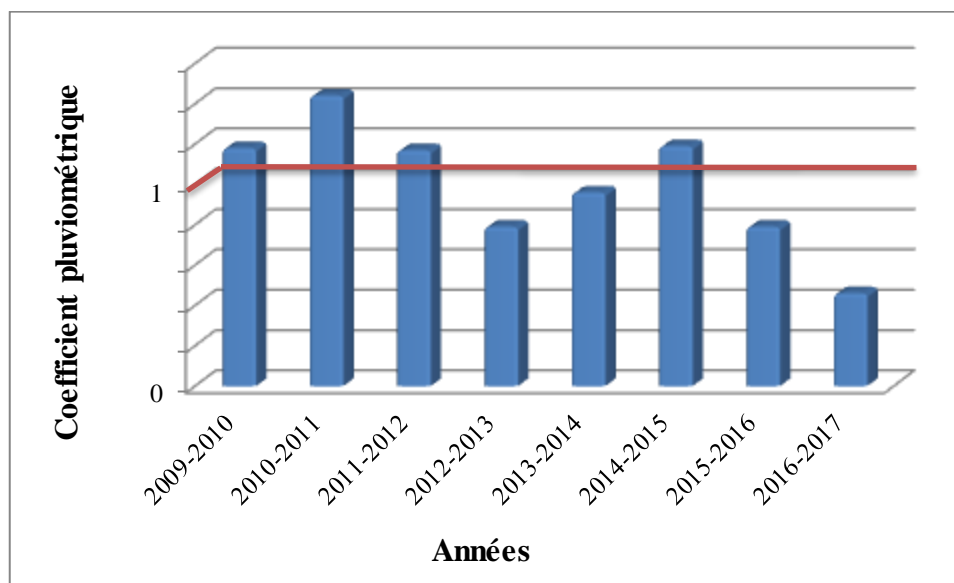


Figure 12. Variations du coefficient pluviométrique à la station de Hammam Debagh (2009/2017).

Par conséquent le calcul du coefficient de variation durant la période d’observation (Figure 12) met en évidence 4 années déficitaires et 4 autres excédentaires.

5. Bilan hydrique

Le bilan d'eau d'une région, est une évaluation de la répartition des précipitations entre ses différentes composantes, d'où l'établissement du bilan de circulation des eaux dans un bassin versant est impératif.

Les précipitations, l'évapotranspiration, et l'excédent sont les principaux termes du bilan.

Le bilan hydrologique naturel peut se calculer par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

ETR : l'évapotranspiration annuelle, I : infiltration, P : précipitation, R : ruissellement.

5.1. Estimation des paramètres du bilan hydrologique selon THORNTHWAITE

5.1.1. Étude de l'évapotranspiration

A. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

C'est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné à partir d'un bassin versant, elle ne dépend que des conditions météorologiques observées, son estimation est indispensable au calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR).

Pour l'estimation de l'ETP, on utilise la formule de Thornthwaite:

$$ETP_c = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a k$$

ETP : évapotranspiration potentielle du mois considéré en mm.

T : Température moyenne mensuelle en °C ;

i : Indice thermique mensuel: $i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$;

I : Indice thermique annuel : $I = \sum i$;

K : coefficient d'ajustement ;

a = l'exposant climatique donné par la formule : $a = \left(\frac{1.6}{100} \right) I + 0.5$;

Les valeurs obtenues sont corrigées par un coefficient de correction k qui dépend de la latitude du bassin et présentées dans le tableau ci-dessous.

B. L'évapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle d'une région représente la quantité d'eau réellement perdue par celle-ci sous forme de vapeur d'eau. L'ETR traduit l'ensemble des interactions : sol, plante, climat. Pour l'estimation de l'ETP, on utilise la formule de Thornthwaite. Ce bilan repose sur l'hypothèse suivante :

La satisfaction de l'ETR est prioritaire sur l'écoulement.

Le calcul de \Rightarrow l'ETR peut s'effectuer suivant deux cas :

- 1er cas : Si $P > ETP$, L'évaporation réelle sera égale à l'ETP ($ETR = ETP$), on a alors un excédent.
- 2eme cas : Si $P < ETP$, l'évaporation réelle sera égale à P ($ETR = P$)

5.1.2. Estimation du ruissellement (R)

Le ruissellement est estimé par la formule de Tixeront-Berkaloff et modifiée par Romantchouk en 1974. Elle s'écrit :

- $p < 600 \text{ mm } R = \frac{p^3}{3 ETP^2}$
- $P > 600 \text{ mm } R = \frac{P^3}{3}$

R: Le ruissellement moyen annuel en (m) ;

P: La hauteur des précipitations moyenne annuelle égale à 0,511 m ;

ETP : évapotranspiration potentielle annuelle en (m).

Le ruissellement est de 50.99 mm qui correspond à 9.96% des précipitations.

5.1.3. Estimation des réserves facilement utilisables (RFU)

Les réserves facilement utilisables (RFU), représentent la quantité d'eau maximale que le sol peut retenir et qui est susceptible de retourner à l'atmosphère. Le calcul des RFU des sols est nécessaire pour le calcul des infiltrations ; et pourrait également assister à connaître le risque de pollution des eaux souterraines par l'irrigation.

L'estimation des RFU pour la région d'étude est de 100 mm, qui correspond à la hauteur d'eau stockée dans le sol et qui est reprise par l'évapotranspiration.

5.2. Interprétation du bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite

Le bilan hydrique établi pour la zone d'étude sur une période de 8ans (2009/2017) (Tableau 6) repose sur la détermination et la comparaison entre les apports et les pertes en eau selon la méthode de Thornthwaite où les résultats sont beaucoup plus proches de la réalité.

Tableau 6. Bilan hydrique global d'après la méthode de Thornthwaite à la station de Hammam Debagh (2009/2017).

	Tp	IT	CL	ETP	Pr	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
Sep	24.01	10.8	1.03	111.8	43.06	-68.8	-0.6	0.0	0.0	43.1	68.8	0.0
Oct	20.24	8.3	0.97	76.0	50.64	-25.4	-0.3	0.0	0.0	50.6	25.4	0.0
Nov	14.35	4.9	0.86	35.0	59.45	24.5	0.7	24.5	24.5	35.0	0.0	0.0
Dec	10.51	3.1	0.81	18.2	43.46	25.3	1.4	25.3	49.8	18.2	0.0	0.0
Jan	8.92	2.4	0.87	14.3	73.76	59.5	4.2	50.2	100.0	14.3	0.0	9.3
Fev	8.94	2.4	0.85	14.0	89.83	75.8	5.4	0.0	100.0	14.0	0.0	75.8
Mar	12.33	3.9	1.03	31.3	69.65	38.3	1.2	0.0	100.0	31.3	0.0	38.3
Avr	16.90	6.3	1.10	61.1	33.16	-27.9	-0.5	-27.9	72.1	61.1	0.0	0.0
Mai	20.42	8.4	1.21	96.4	26.21	-70.2	-0.7	-70.2	1.9	96.4	0.0	0.0
Juin	25.26	11.6	1.22	145.9	12.90	-133.0	-0.9	-1.9	0.0	14.8	131.1	0.0
Juill	29.28	14.5	1.24	196.6	0.23	-196.3	-1.0	0.0	0.0	0.2	196.3	0.0
Aout	24.91	11.4	1.16	135.1	9.21	-125.9	-0.9	0.0	0.0	9.2	125.9	0.0
Annuel	18.0	88.1		935.6	511.6	-424.1				388.1	547.5	123.4

D'après les résultats obtenus on peut tirer les remarques suivantes du tableau :

- L'évapotranspiration potentielle annuelle est plus élevée que les précipitations annuelles.
- Une période déficitaire qui s'étend de juin à octobre et se caractérise par :
 - Un déficit agricole de DA= 547.5mm
 - Une absence d'alimentation du stock (RFU = 0)
 - Une forte évapotranspiration potentielle mensuelle qui atteint 196.6 mm

Une température élevée de l'ordre de 29.28°C.

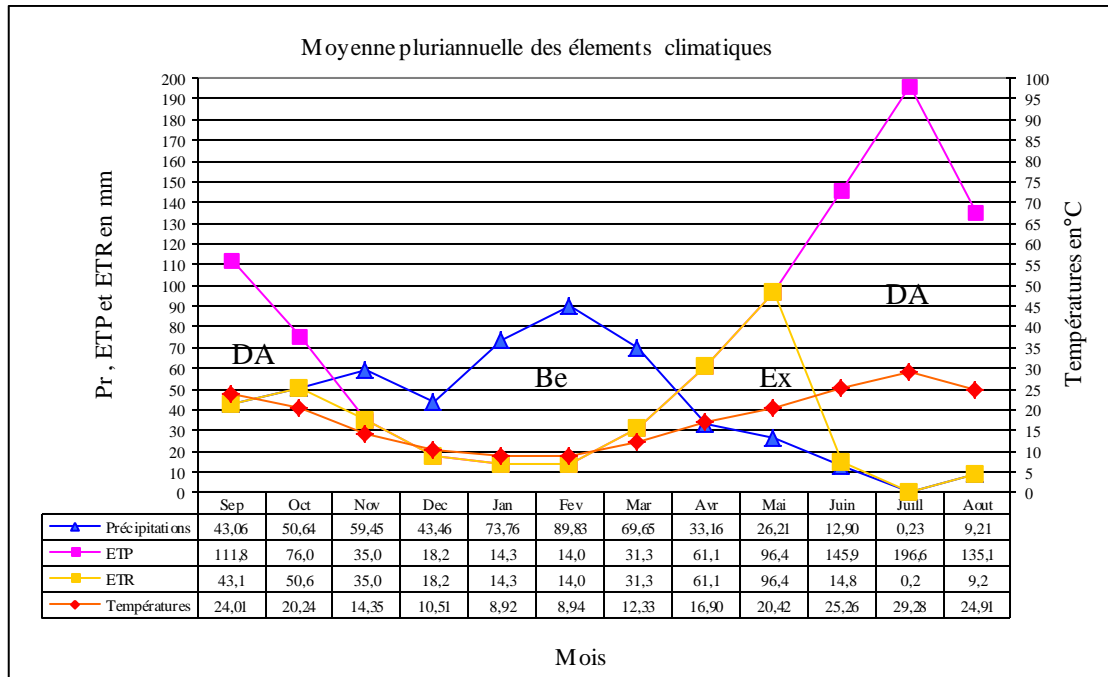


Figure 13. Représentation graphique des paramètres du bilan hydrologique à la station de Hammam Debagh (2009/2017).

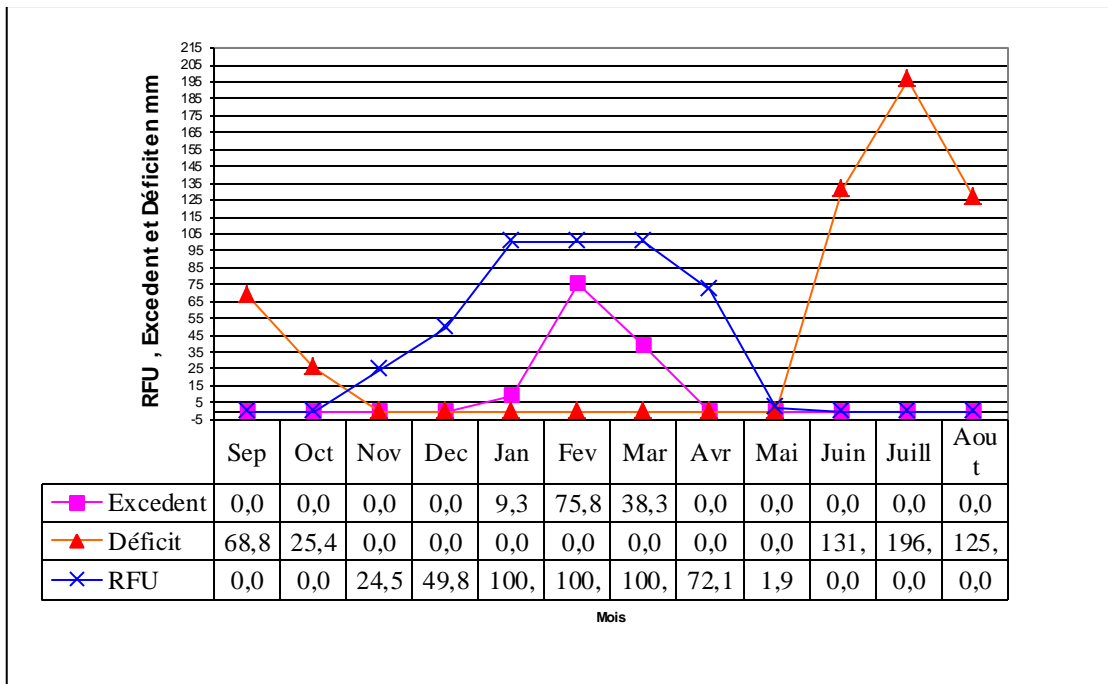


Figure 14. Représentation graphique du bilan hydrologique à la station de Hammam Debagh (2009/2017).

- Une autre période excédentaire caractérisée par :
 - Une pluviométrie importante qui atteint 89.83mm au mois de février ;
 - Faibles température et évapotranspiration ;
 - Une recharge du stock, où la RFU (réserve facilement utilisable) commence à se reconstituer à partir du mois de novembre pour atteindre son maximum (100 mm) de janvier à mars, période pendant laquelle il y a un excédent d'eau. L'excédent (123.4mm) représente 24.12% des précipitations annuelles (511.6mm) alors que l'ETR (388.1mm) représente 75.86 % des précipitations.

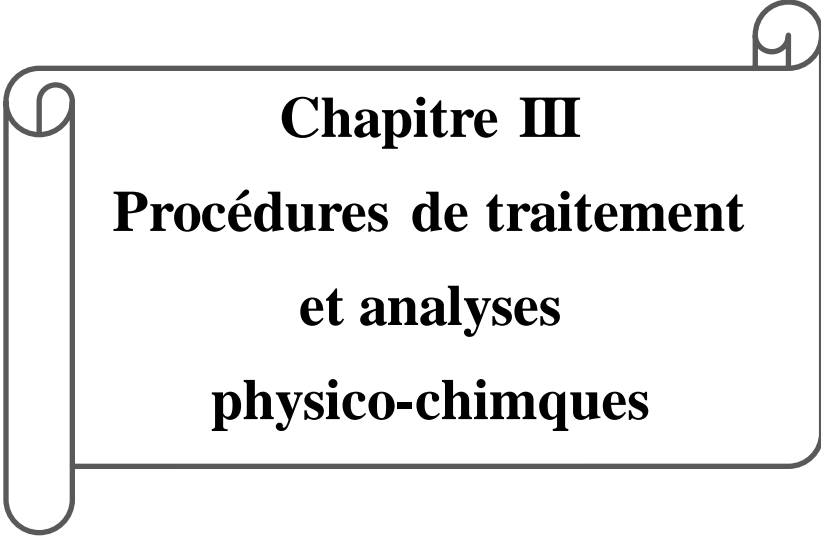
6. Conclusion

La région d'étude est soumise à un climat subhumide, caractérisé par deux saisons distinctes :

- L'une sèche avec une précipitation et température moyennes mensuelles de 20.79 mm et 23.46 °C respectivement ;
- L'autre humide avec une précipitation et température moyennes mensuelles de 64.46 mm et 12.55 °C respectivement ;

Le bilan hydrique nous a permis de mettre en évidence l'évolution et l'interaction des paramètres climatiques :

- Une période déficitaire qui s'étend de juin à octobre et une autre excédentaire qui s'étend de janvier jusqu'au mars. L'épuisement du stock du sol s'observe au mois de mai.
- Une autre période excédentaire qui s'étend de janvier à mars avec un ruissellement de 50.99 mm qui correspond à 9.96% des précipitations.



Chapitre III
Procédures de traitement
et analyses
physico-chimiques

1. Introduction

L'eau brute captée en milieu naturel n'est pratiquement jamais potable sans aucun traitement du fait de diverses substances d'origine naturelle ou apportées par la pollution. Pour améliorer sa qualité (potabilité), et la rendre consommable sans risque, elle nécessite des traitements appropriés, c'est-à-dire lui faire subir des modifications physico-chimiques ou biologiques, dans une chaîne de traitement classique.

2. Les étapes de la production d'eau potable

L'eau brute du barrage de Hammam Debagh est ici pompée et conduite par une canalisation jusqu'à la station de potabilisation avant qu'elle soit traitée. La composition et les propriétés de l'eau brute sont les facteurs qui détermineront ses étapes de traitement (Figure 15).

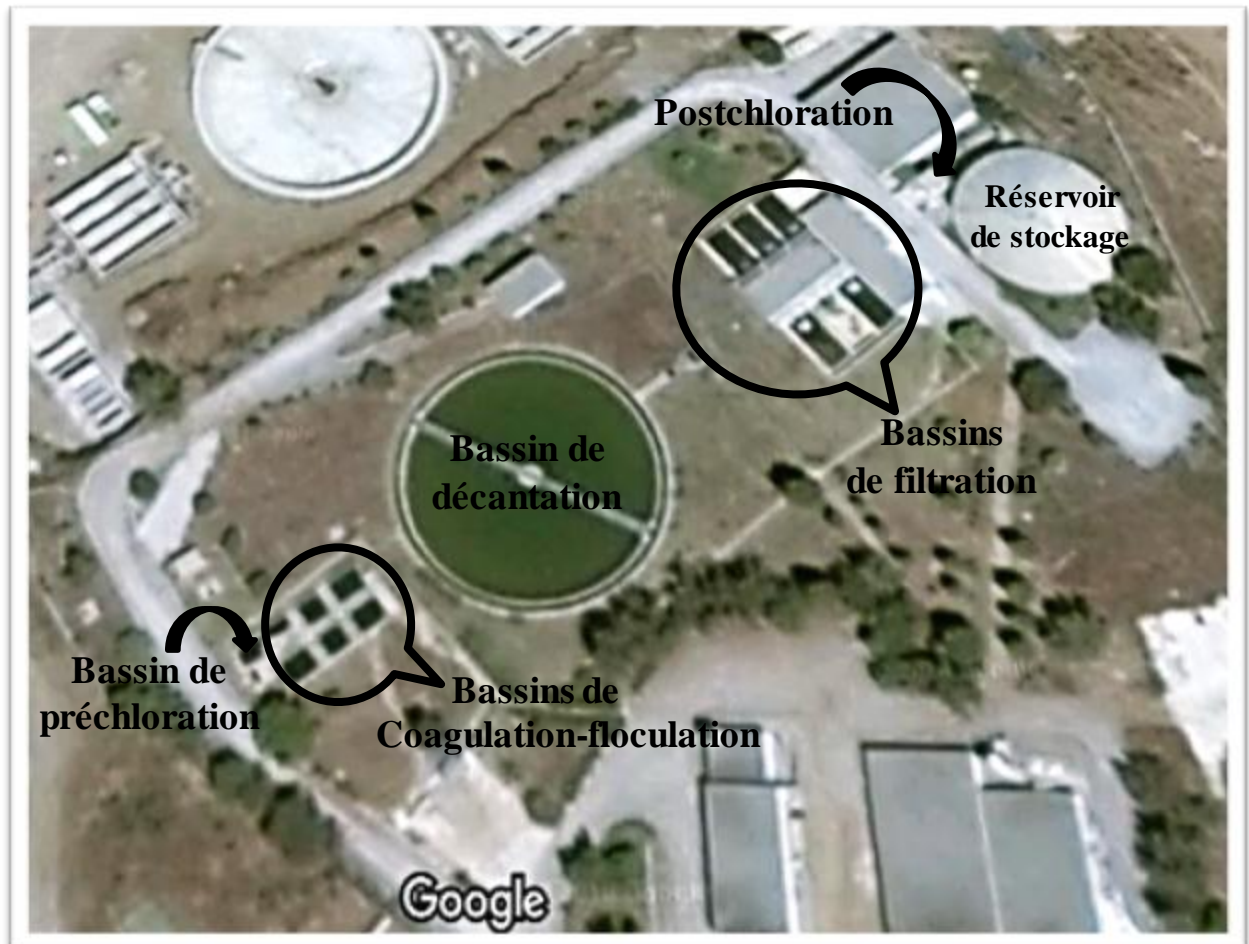


Figure 15. Les étapes de la production d'eau potable à la station de traitement de Hammam Debagh (Photo. Google Earth, 2018).

La chaîne habituelle classique comporte 2 types de traitement :

2.1. Traitement physique (prétraitement)

Les eaux brutes pompées du barrage doivent subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement. Il est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité d'éléments dont la nature ou les dimensions constitueraient une gêne pour les traitements ultérieurs.

2.1.1. Le dégrillage

Avant son entrée dans la station, l'eau brute traverse une grille de barreaux (5 cm de diamètre), espacés qui stoppe les plus gros déchets (branches, plastiques...) susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de traitement (Figure 16).

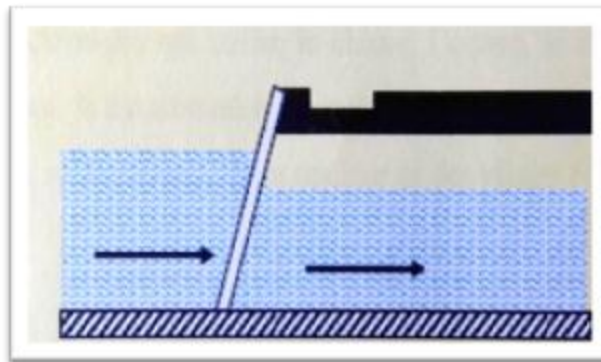


Figure 16. Exemple de dégrillage fixe à nettoyage manuel (ADE).

2.1.2. Le tamisage

L'eau passe dans des tamis de mailles de plus en plus fines (1 mm de diamètre), retenant les débris végétaux et animaux, les insectes, les mollusques, les crustacés d'eau douce, les alluvions, les herbes puis les algues et le plancton (Figure 17).

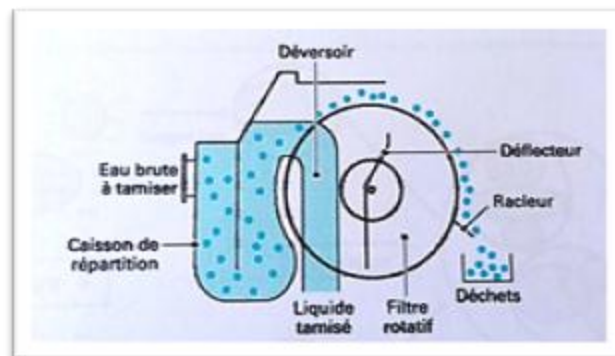


Figure 17. Tamis rotatif (ADE).

2.1.3. La préchloration (préoxydation)

C'est un procédé chimique de prétraitement utilisé dans le cas où l'eau est chargée en matière organique. Elle permet au chlore d'agir à temps et de décomposer les matières organiques afin de faciliter leur décomposition dans les décanteurs (Figure 18).



Figure 18. Bassin du pré chloration (Auteur).

La Préchloration permet aussi d'oxyder les corps existants dans l'eau tels que les ions ferreux manganéux, les nitrites ou nitrates, les matières organiques et les micro-organismes (algues, plancton et bactéries) qui sont susceptibles de se développer dans les différents ouvrages de traitement (Jarid H, Amzil K .2012).

En effet, l'oxydation de ces matières organiques et micro-organismes facilite leurs floculation et décantation ce qui permet la formation de gros floccs et accélère le processus de décantation.

Les caractéristiques de ce bassin sont les suivantes :

Longueur : 3.7 m, largeur : 2.5 m et profondeur : 4.8 m.

2.2. Traitement chimique (clarification)

La clarification est l'ensemble des opérations permettant de rendre l'eau limpide en la débarrassant des petites matières en suspension qu'elle contient ainsi que la majeure partie des matières organiques. La clarification comprend les opérations de coagulation, floculation, de décantation et de filtration.

2.2.1. Coagulation-floculation

C'est un procédé physico-chimique qui a pour but de déstabiliser les matières colloïdales (particules qui ne s'agglomèrent pas naturellement). L'eau reçoit un réactif destiné à provoquer l'agglomération de ces particules en suspension en agrégats floconneux, dont l'ensemble forme une masse qu'on appelle le floc. Les réactifs utilisés sont généralement des sels de fer ou d'aluminium. Chaque réactif coagulant n'étant actif que dans une certaine zone de pH, un ajustement du pH peut s'avérer nécessaire. Sous l'effet de son propre poids, le floc se dépose lentement (ADE) (Figure 19).



Figure 19. Bassin de coagulation-floculation (Auteur).

Les caractéristiques de ce bassin sont les suivantes :

Longueur : 17 m, largeur : 9.2 m et profondeur : 4.8 m.

2.2.2. Décantation (flottation)

Ce sont des procédés physiques intervenant après la coagulation-floculation. L'eau coagulée et floculée entre dans le décanteur à vitesse réduite de façon à éviter les turbulences. Les floccs se déposent au fond de l'ouvrage et l'eau clarifiée est récupérée en surface. A l'inverse, la flottation consiste à favoriser la clarification par entrainement des particules en surface, grâce à la génération de bulles d'air, qui s'accrochent aux matières en suspension et aux floccs. Les flottants sont récupérés en surface par bras racleur (ADE).

Il s'agit d'un décanteur circulaire de volume de 3400m^3 , un rayon de 18m et une profondeur de 3.3m avec un pont racleur qui sert à racler la boue vers un concentrateur pour la purger, et un flocculateur à vitesse de rotation lente pour favoriser la cohésion des floccs (Figure 20).



Figure 20. Bassin de décantation (Auteur).

2.2.3. La filtration

L'eau ensuite envoyée dans les bassins de filtres à sables qui sont utilisés pour la production d'eau potable. La filtration sur lit de sable élimine les derniers floccs. Elle consiste à faire passer l'eau à travers une épaisse couche de sable fin, les particules encore présentes dans l'eau sont alors retenues au fil de leur cheminement (ADE).

La station de traitement contient 6 filtres de sable de bassins rectangulaires dont la dimension de chacun est de 18 m de longueur, 2.8 m de largeur et 3.3m de profondeur qui sont installés par rangée de 3. Les deux rangées sont séparées par une chambre de contrôle.

Le lavage de la couche de sable s'effectue après vidange de la tranche d'eau supérieure, on utilise simultanément un retour d'air sur pressé et d'eau filtrée, suivi d'un rinçage à l'eau filtrée. Pendant ces deux phases il y a balayages de surface par l'eau à filtrer (Figure 21).



Figure 21. Bassin de la filtration (Auteur).

2.2.4. Postchloration (Désinfection)

Une fois filtrée, l'eau doit encore voyager dans les canalisations pour atteindre la chambre de mélange. L'ajout d'une infime quantité de chlore afin d'éviter le développement de bactéries et de maintenir la qualité de l'eau traitée tout au long de son parcours dans les canalisations.

2.2.5. Stockage et distribution

Une fois rendue potable, l'eau est envoyée dans un réservoir d'une capacité de 3000 m³ où elle est stockée avant d'être acheminée par un réseau de canalisations vers la station de pompage qui alimente à son tour la ville de Guelma (Figure 22).



Figure 22. Réservoir de stockage (Auteur).

3. Matériels et méthodes d'analyses des eaux brutes et traitées

Après une procédure de traitement des eaux, un contrôle de qualité est nécessaire afin de vérifier si les paramètres physico-chimiques et bactériologiques répondent aux normes de la consommation humaine. C'est pourquoi des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur les deux types d'eau au sein du laboratoire de la station de traitement de Hammam Debagh (ADE) afin d'évaluer l'amélioration de la potabilité des eaux traitées.

3.1. Analyses physico-chimiques

3.1.1. Caractéristiques physiques

A. Mesure de la température (T°C)

La température est mesurée à l'aide d'un **pH-mètre** ou **Oxi-mètre** (multi-paramètres : Température/Conductivité/ TDS Teneur en Sel Dissous /Sal).

Retirer la capsule contenant la solution de stockage protégeant la sonde de mesure, puis rincer cette dernière à l'eau distillée avant toute mesure. Plonger la sonde dans le milieu à analyser. Remuer avec soin et légèrement la sonde et attendre que la lecture se stabilise. Le résultat est donné directement en (°C). (Figure 23).



Figure 23. Multi-paramètres ou Oxi-mètre (Auteur).

B. Mesure du pH

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre, après de vérifier et étalonner avec au moins deux solutions étalons. L'appareillage est constitué d'un **pH-mètre WTW pH7300** (Figure 24).



Figure 24. pH-mètre (Auteur).

C. Mesure de la turbidité (Turb)

La turbidité peut être évaluée par un certain nombre de méthodes qui sont pratiquées suivant les nécessités sur le terrain ou au laboratoire.

Elle se mesure en faisant passer un faisceau lumineux à travers l'échantillon à tester. La turbidité est déterminée en mesurant la lumière qui est diffusée par les particules en suspension.

Les mesures de turbidité ont été faites sur un turbidimètre HACH 2100N. La gamme utilisée est (0-1000) unités NTU (Figure 25).



Figure 25. Turbidimètre (Auteur).

D. Mesure de la conductivité électrique (CE)

L'analyse s'effectue sur un prélèvement d'eau dont le volume doit être suffisant pour plonger la sonde de conductivité. L'appareillage est constitué d'un Oxi-mètre (multi-paramètre). Le résultat est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figure 23).

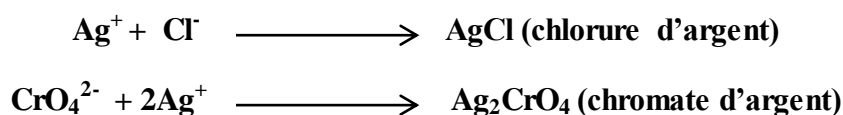
3.1.2. Caractéristiques chimiques

A. Dosage des chlorures (Cl⁻)

Les chlorures figurent parmi les anions les plus courants dans l'eau potable. Plusieurs méthodes de dosage existent. Dans notre étude la méthode est utilisée, méthode titrimétrie par argentimétrie. Le principe de cette méthode est :

Les ions de chlorure sont dosés par une solution titrée de nitrate d'argent et précipités à l'état de chlorure d'argent (précipité blanc).

La fin de réaction est indiquée par l'apparition d'un précipité rouge (chromate d'argent). Ce dosage doit être réalisé en milieu neutre.



B. Dosage du magnésium (Mg²⁺)

Titration par complexométrie du magnésium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un pH de 10. Le mordant noir 11. Qui donne une couleur rouge foncé ou violé présence des ions magnésium, est utilisé comme indicateur. La mesure est obtenue directement en NTU.

C. Dosage du calcium (Ca²⁺)

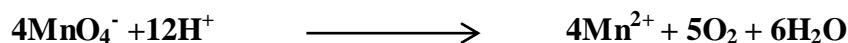
La méthode titrimétrique à l'EDTA permis le dosage du calcium dans des eaux souterraines, les eaux de surface et les eaux de boisson. Elle est applicable aux eaux dont la teneur en calcium varie de 2mg/l à 100mg/l (0.05 à 2.5mmol/l). Pour les eaux contenant plus de 100 mg/l de calcium, une dilution de l'échantillon doit être effectuée. Titration des ions calcium avec une solution de l'EDTA à un pH compris entre 12 et 13. Le HSN qui forme un complexe rouge avec le calcium, est utilisé comme indicateur. La mesure est obtenue directement en NTU.

D. Matière organique (MO)

Cette mesure renseigne sur la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du permanganate de potassium par matières organiques présentes dans une eau. Le dosage doit être réalisé en milieu alcalin à Chaud.

La détermination de la matière organique peut se décomposer en plusieurs étapes :

1^{re} étape : chauffage à ébullition douce d'un 100ml d'eau à analyser en présence de 10 ml d'acide sulfurique à 50% et 10ml de solution de permanganate de potassium pendant 10 minutes. Il se produit la réduction d'une partie du KMnO_4 par la matière oxydable de l'échantillon selon l'équation suivant :



2^e étape : La réduction de l'excès de permanganate de potassium par l'acide oxalique selon l'équation suivant : $4\text{MnO}_4^- + 5(\text{COO})_2^- + 16\text{H}^+ \longrightarrow 10\text{CO}_2 + 2\text{Mn}^{2+} + 8\text{H}_2\text{O}$

3^e étape : le titrage en retour de l'excès d'acide oxalique par le permanganate de potassium. La fin de la réaction est visualisée par le virage du couleur rose clair.

Faire un essai à blanc pour déterminer la consommation de permanganate de potassium en absence de matière oxydable en opérant dans les mêmes conditions.

E. Matières en suspension (MES)

La détermination des matières en suspension dans les eaux se fait par la filtration selon les étapes suivantes :

1^{re} étape : sécher la membrane de filtration dans un étuve à 105°C et peser après le passage au dessiccateur.

2^e étape : mettre la membrane sur la rampe à filtration sous vide et ajouter 200ml d'eau à analyser.

3^e étape : après la filtration, sécher la membrane à 105°C pendant 20 minutes, laisser refroidir au dessiccateur puis peser une 2^{ème} fois.

3.1.3. Méthode spectrophotométrie

La méthode spectrophotométrie d'absorption de la lumière utilise la loi de Bèer-Lambert : la proportion de l'intensité de la lumière absorbée dépend la concentration de la solution en soluté absorbant. Loi de Beer-Lambert :

$$(\text{Log } (I_0 / I)) = \epsilon * C * L$$

L : épaisseur, C : concentration du soluté et ϵ : Coefficient d'absorbance.



Figure 26. Spectrophotomètre (Auteur).

A. Dosage des nitrates (NO_3^-)

Le dosage des nitrates s'effectue en présence de salicylate de sodium. Les nitrates donnent du paranitrosoulate de sodium coloré en jaune, peuvent être mesurés par colorimétrie. Après l'étalonnage du spectrophotomètre (Figure 26), le dosage se réalise selon les étapes suivantes :

- Prendre 10ml de l'eau à analyser dans un bécher à 250ml.
- Ajouter 2 à 3 gouttes d'hydroxyde de sodium à 30 %.
- Ajouter 1ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec au bain marie à 75-88°C.
- Rendre le résidu avec 2ml d'acide sulfurique concentré et laisser reposer 10min.
- Ajouter 15ml d'eau distillée et 15ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectrophotomètre au 415nm.

B. Dosage des nitrites (NO_2^-)

Les ions nitrites réagissent en milieu acide avec le sulfamide en formant un sel d'ionium qui avec le N-(1-naphtyl)-éthylènediamine-dichlorhydrate un colorant azoïque rouge.

Après l'étalonnage du spectrophotomètre le dosage se réalise selon les étapes suivantes :

- Prendre 50 ml de l'eau à analyser dans une fiole jaugée de 50ml.
- Ajouter 1 ml du réactif mixte.
- Attendre 10 min puis passer au spectrophotomètre au 543 nm.
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des ions nitrates.

C. Dosage des sulfates (SO_4^{2-})

Les ions sulfates sont précipités à l'état de sulfate de baryum. Après l'étalonnage de spectrophotomètre le dosage se réaliser selon les étapes suivantes :

- Prendre 20ml de l'eau à analyser+ 73ml de E.D.
- Ajouter 5ml de la solution stabilisante.
- Ajouter 2ml de chlorure de baryum.
- Agiter pendant 1min puis passer au spectrophotomètre au 420 nm.

D. Dosage de l'ammonium (NH_4^+)

Les ions d'ammoniums réagir avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de sodium. Après l'étalonnage de spectrophotomètre le dosage se réaliser selon les étapes suivantes :

- Prendre 20ml de l'eau à analyser.
- Ajouter 4ml du réactif I.
- Ajouter 4ml de réactif II et ajuster à 50ml avec eau distillée et conserver à l'obscurité pendant 1h30 puis passer au spectrophotomètre au 655 nm.
- L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence des ions d'ammonium.

E. Dosage de fer (Fe^{2+})

La présence de fer dans les eaux a de multiples origines : le fer, sous forme de pyrite (FeS_2), est couramment associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes, argiles) et aux roches métamorphiques. Il se retrouve souvent à de fortes concentrations dans les eaux des cuirasses d'altération de socle.

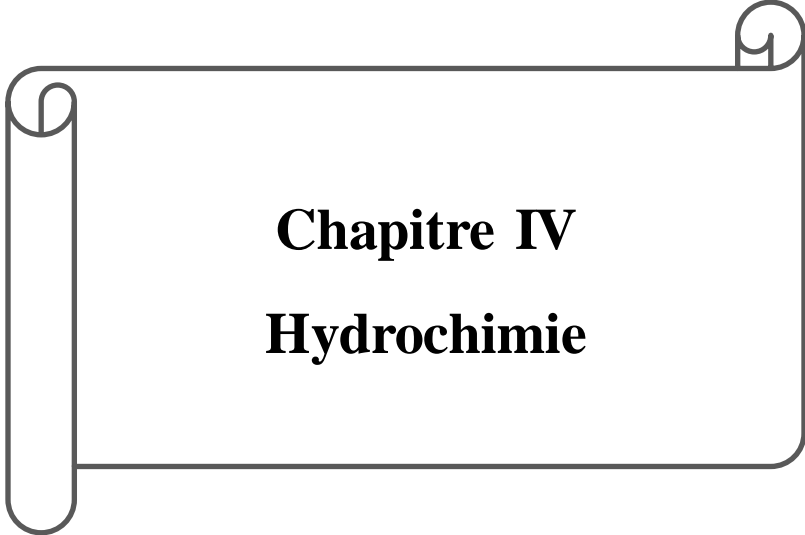
Présent sous forme réduite (Fe^{2+}), le fer est oxydé par l'oxygène de l'air et précipite sous forme ferrique lorsque l'eau est pompée $\Rightarrow \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + e^-$.

Après l'étalonnage de spectrophotomètre le dosage se réaliser selon les étapes suivantes :

- Prendre 50 ml de l'eau à analyser dans un erlenmeyer de 100 ml
- Ajouter 1 ml de la solution de chlorhydrate d'hydroxylamine
- Ajouter 2 ml de tampon acétate
- Ajouter 2ml de la solution 1.10 de phénantroline et conserver à l'obscurité pendant 15 min et passer au spectrophotomètre au 510 nm.

4. Conclusion :

L'eau de surface captée par le barrage de Hammam Debagh n'est pas toujours potable, elle peut contenir toutes sortes de contaminants à éliminer. Pour ne pas courir de risques directs ou indirects pour la santé, elle doit alors être acheminée par des canalisations jusqu'à la station de traitement où elle subit une chaîne de traitement classique : préchloration, coagulation-floculation, décantation, filtration et postchloration et d'analyses physico-chimiques et biologiques, effectuées au sein du laboratoire de la station dans l'objectif de produire une eau qui réponde aux normes de potabilité d'OMS et Algériennes.



Chapitre IV
Hydrochimie

1. Introduction

L'eau à traiter doit être en permanence analysée car il est primordial d'ajuster le traitement d'une eau à sa composition et, si nécessaire, de l'adapter dans le temps en fonction de la variation observée de ses divers composants.

Les données des analyses utilisées dans ce travail proviennent de la station de traitement des eaux du barrage de Hammam Debagh (ADE) qui a démarré effectivement son action en 2003. Ces données couvrent une période de 6 ans allant de 2012 à 2017 des eaux brutes et traitées. Elles sont disposées sous forme de données mensuelles d'analyses chimiques. Une étude de la qualité des analyses chimiques des eaux durant la période des basses eaux et des hautes eaux concerne les éléments suivants : cations (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+), anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) et une étude interannuelle des éléments nutritifs indicateurs de pollution (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-}) en plus de la matière organique, la matière en suspension (MES) et les paramètres physiques : la température, le potentiel d'hydrogène et la conductivité.

2. Qualité des données

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées, elles peuvent être contrôlées par la méthode de la Balance Ionique (BI). La méthode des balances ioniques permet de contrôler la qualité des analyses chimiques effectuées sur les éléments majeurs. Cette démarche est un préalable indispensable à la présentation des résultats d'analyse et à leur interprétation.

Le calcul des balances ioniques se fonde sur la relation suivante

$$BI = \frac{\sum(\text{cations}) - \sum(\text{anions})}{\sum(\text{cations}) + \sum(\text{anions})} \times 100$$

D'une manière générale, des analyses chimiques sont considérées

- Fiabilité des résultats d'analyses excellente lorsque $BI < 5\%$
- Fiabilité des résultats d'analyses acceptable lorsque $5\% \leq BI < 10\%$,
- Fiabilité des résultats d'analyses douteuse lorsque $BI \geq 10\%$

En ce qui concerne les données des eaux de barrage traitées dans le cadre de cette étude, seules les analyses dont la $BI \leq 5\%$ ont été retenues, donc la fiabilité des résultats d'analyses est d'acceptable à excellente.

3. L'évolution des paramètres physico-chimiques

Les résultats des mesures au niveau du laboratoire de la station concernent les paramètres physiques : la température (T°C), le potentiel d'hydrogène (pH) et la conductivité électrique (CE) sont présentés en histogrammes.

3.1. Paramètres physiques

3.1.1. La température (T°C)

La température joue un rôle important dans la solubilité et la dissolution des sels dissous, dans la solubilité des gaz, sur la conductibilité électrique et dans la détermination du pH.

La température moyenne annuelle des eaux de surfaces brutes et traitées pour la période de 2012 à 2017 est relativement faible, avec une moyenne de l'ordre de 14.87°C à 14.37°C, une valeur minimale comprise entre 12.49°C à 11.68°C en 2012 et une température maximale de 16.4°C à 16.32°C respectivement pour l'eau brute et traitée en 2016 (Figure 27).

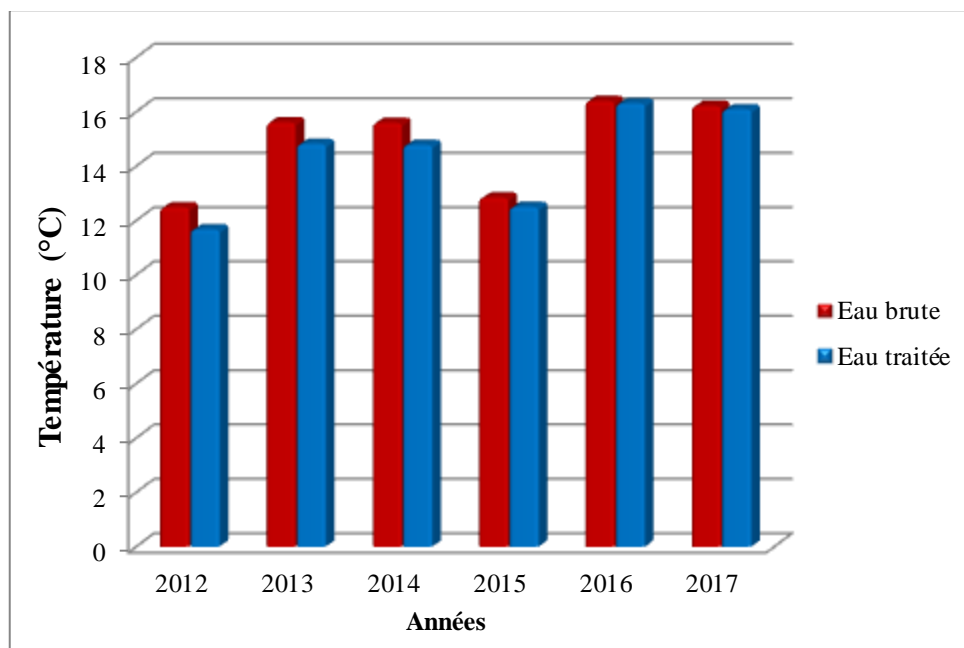


Figure 27. Température moyenne annuelle des eaux brutes et traitées (2012 à 2017).

Les variations de la température des eaux de surface changent essentiellement en fonction de la température de l'air, des saisons et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

3.1.2. Conductivité (CE)

La mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau et par suite donner une idée sur la minéralisation totale d'une eau.

La conductivité moyenne annuelle des eaux de surface brutes et traitées, varie entre un 464.16 $\mu\text{s}/\text{cm}$ enregistrée en 2012 et 807.9 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en 2017.

Suivant l'histogramme établi, les températures moyennes annuelles mesurées pour chaque année durant la période allant de 2012 à 2017 dans les eaux brutes et traitées, restent presque dans le même ordre de grandeur.

Pour les deux types d'eau les teneurs sont dans les normes de potabilité selon l'OMS (2011) 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et les normes Algériennes 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Figure 28).

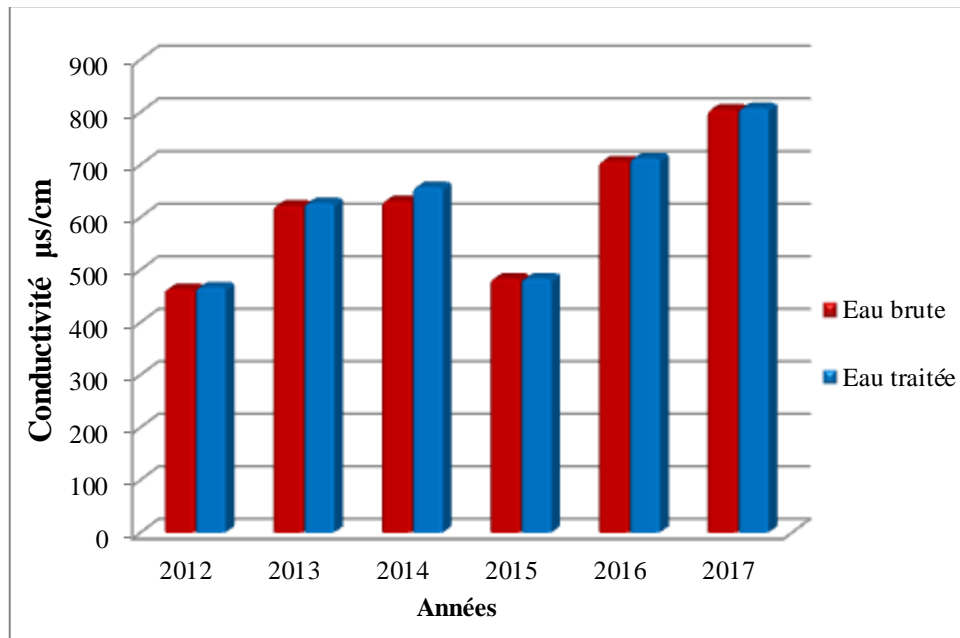


Figure 28. Conductivité moyenne annuelle des eaux brutes et traitées (2012 à 2017).

3.1.3. Le potentiel Hydrogène (pH)

Le pH (potentiel Hydrogène) d'une eau est dû à la concentration de cette eau en ions H^+ ou OH^- . Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14.

Les moyennes annuelles du pH varient entre de 7.88 à 7.93 avec un maximum de 8.09 et 8.12 enregistrées respectivement en eau brute et traitée.

Toutefois, les valeurs mesurées restent conformes aux normes de potabilité, que ce soit celles Algériennes ou de l’OMS (2011) puisqu’elles sont comprises dans un intervalle de potabilité de 6.5 à 8.5 (Figure 29).

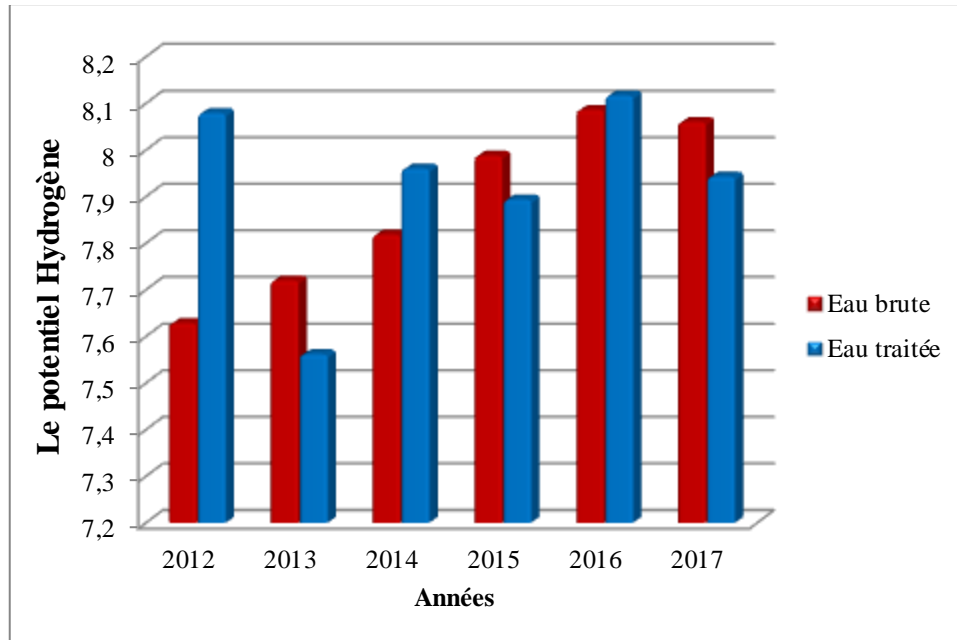


Figure 29. pH moyen annuel des eaux brutes et traitées (2012 à 2017).

Les Ph des deux types d’eau montrent une tendance vers l’alcalinité, ceci peut être lié à la nature des roches présentes dans la région et qui sont essentiellement constituées de roches sédimentaires à composante carbonatée.

3.2. Éléments polluants présents dans l’eau

3.2.1. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension comprennent tous les composés rencontrés dans les eaux essentiellement superficielles qui ne se solubilisent pas. Elles sont très diverses selon leur nature et leur dimension.

Elles sont constituées d’argiles, de sable, de limon, de matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l’eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d’écoulement des eaux (Figure 30).

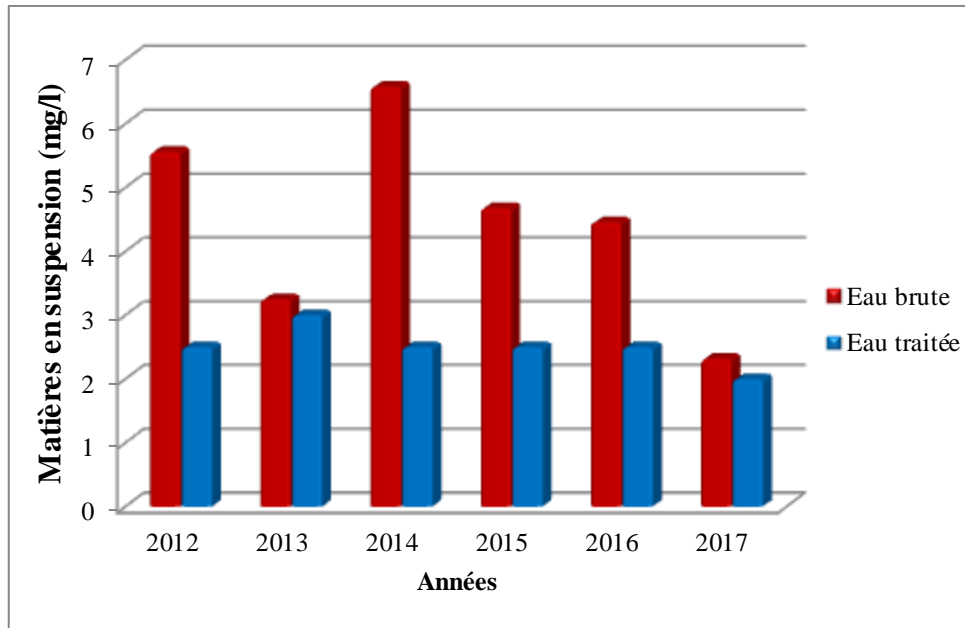


Figure 30. Matières en suspension moyenne annuelle des eaux brutes et traitées (2012 à 2017).

Les teneurs moyennes en matières en suspension des eaux brutes et traitées pour la période de 2012 à 2017 varient respectivement entre un minimum 2,32 mg/l à 2 mg/l et un maximum de 6,58 mg/l à 3 mg/l.

La représentation graphique des teneurs moyennes annuelles en MES au niveau des échantillons traitées montre des valeurs inférieures à celles des eaux brutes qui sont particulièrement touchées avec des concentrations plus au moins supérieures en saison humide qu'en saison sèche spécialement en 2012 et 2014 qui sont marquées par des précipitations de l'ordre de 599.70mm à 612.50mm.

3.2.2. La matière organique (MO)

La matière organique est principalement issue de la décomposition des végétaux, des animaux et des microorganismes. Il est donc difficile d'en donner une description précise ou une composition moyenne. Elle participe à beaucoup de paramètres de qualité de l'eau : couleur, odeurs, saveurs...etc.

Les eaux de surface Algériennes sont caractérisées par une charge organique assez élevée. De point de vue qualité en vue de l'alimentation en eau potable ; les eaux de surface sont généralement de qualité passable à mauvaise. Les classes extrêmes de potabilité apparaissent rarement. (Harrat N .2013)

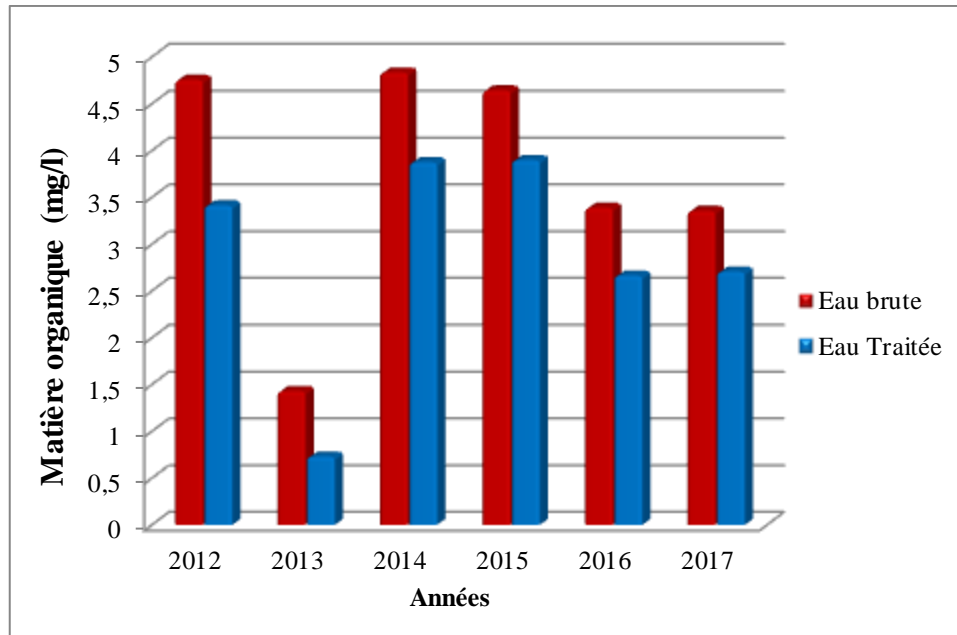


Figure 31. Matière organique moyenne annuelle des eaux brutes et traitées (2012 à 2017).

La qualité des eaux brutes est visualisée plus chargée en matière organique durant la période d'étude (2012-2017) avec des teneurs qui varient entre 1,43 mg/l à 4,84 mg/l par rapport aux eaux traitées avec 0,73 mg/l à 3,90 mg/l (Figure 31).

En général, on observe une amélioration de la qualité des eaux brutes en saisons froides et humides, ceci est dû à leurs dilutions par les eaux pluviales.

3.2.3. La turbidité (Turb)

La turbidité est représentative des informations visuelles tel que la transparence d'une eau. Cette transparence peut être affectée par la présence de particules en suspension et de matières colloïdales dans l'eau (limons, argiles, micro-organismes,...).

Les teneurs de turbidité enregistrées en eau brutes qui varient entre 6,69 NTU à 11,09 NTU dépassent la valeur limite acceptable pour les eaux destinées à la consommation humaine qui est de 5 NTU (OMS, 1996 et Algériennes). Par contre on constate une nette amélioration de la qualité des eaux traitées en turbidité avec des teneurs oscillantes entre 0,71 NTU et 2,19 NTU. Ce qui montre une grande efficacité des phases de traitement des eaux dans la station d'étude (Figure 32).

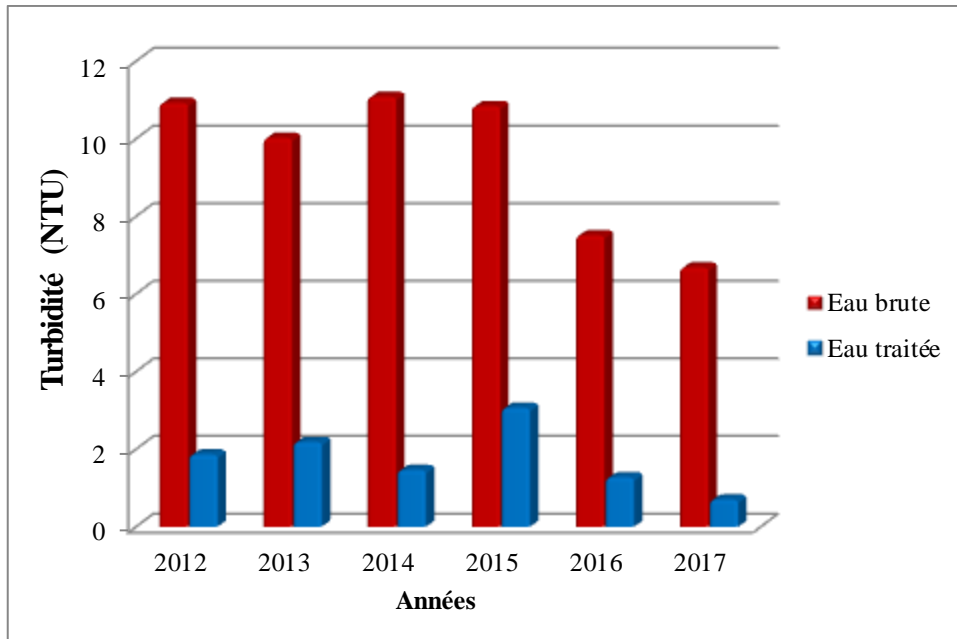


Figure 32. Turbidité moyenne annuelle des eaux brutes et traitées (2012 à 2017).

3.3. Les éléments nutritifs

3.3.1. Les 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 in Mekaoussi N.2014) ainsi que des apports directs d'origine domestique et agricole.

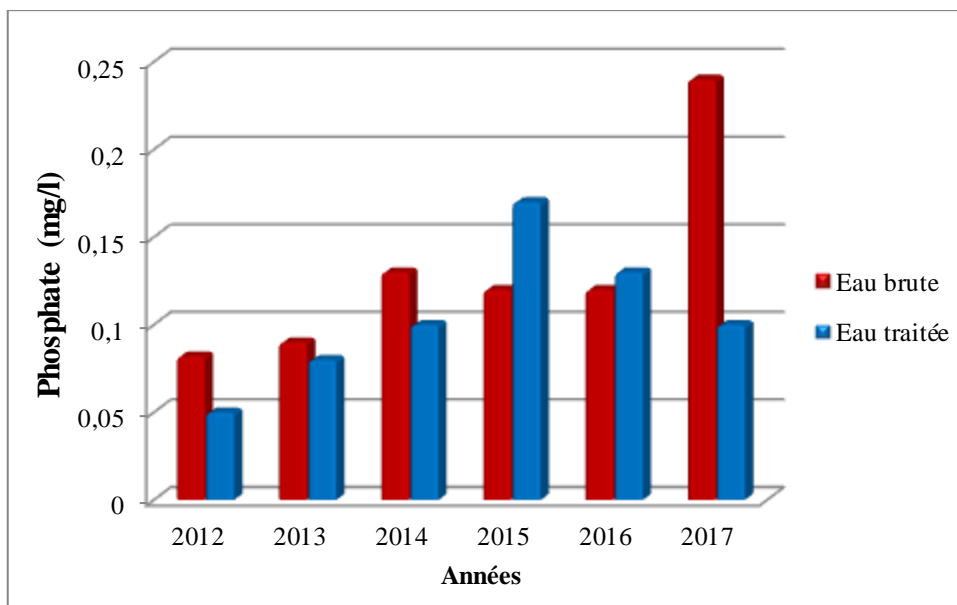


Figure 33. Phosphate moyen annuel des eaux brutes et traitées (2012 à 2017)

On constate que les teneurs en phosphates dans les eaux traitées varient entre 0.05mg/l et 0.17mg/l. La valeur maximale a été enregistrée en 2015 qui ne dépasse pas la valeur admise par la norme de l'OMS et l'Algérienne (0.5mg /l). (Figure 33).

3.3.2. Nitrate (NO_3^-)

L'activité humaine accélère le processus d'enrichissement en cet élément à la surface des sols subissant l'érosion, ce qui peut provoquer le transport des rejets urbains, industriels et d'engrais azoté aux eaux du barrage.

Tous les points d'eau brutes et traitées ont des concentrations maximales de nitrates qui oscillent de 2.85mg/l à 2,9mg/l. Les résultats obtenus pour tous les échantillons d'eau analysés sont admis aux normes de l'OMS et Algérienne (50mg/l). (Figure 34)

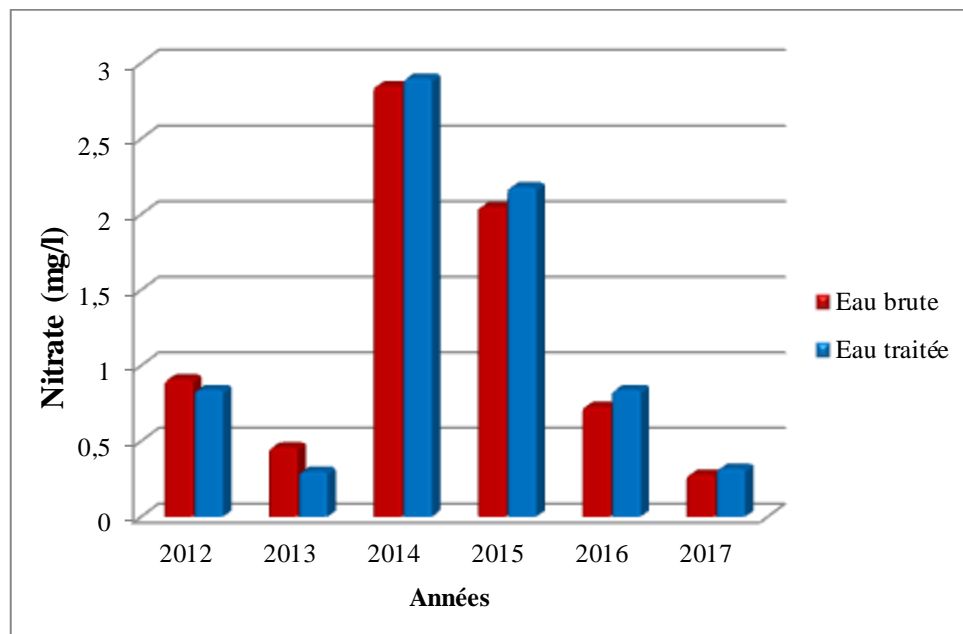


Figure 34. Nitrate moyen annuel des eaux brutes et traitées (2012 à 2017).

3.3.3. Nitrite (NO_2^-)

Dans les eaux étudiées brutes et traitées, les teneurs maximales en nitrites variaient respectivement entre 0,14mg/l et 0.07mg/l. Les résultats obtenus pour les échantillons d'eau brutes en 2016 et 2017 dépassent légèrement les normes de potabilité (0.1mg/l).

Il est à noter que durant la période d'étude (2012 à 2017), les précipitations ont chutés de 612,5mm (2014 à 2015) à 236.4mm (2016 à 2017). Cette faible dégradation des eaux brutes durant cette année (2016 à 2017) semble être due essentiellement aux rejets domestiques dans les eaux de barrage.

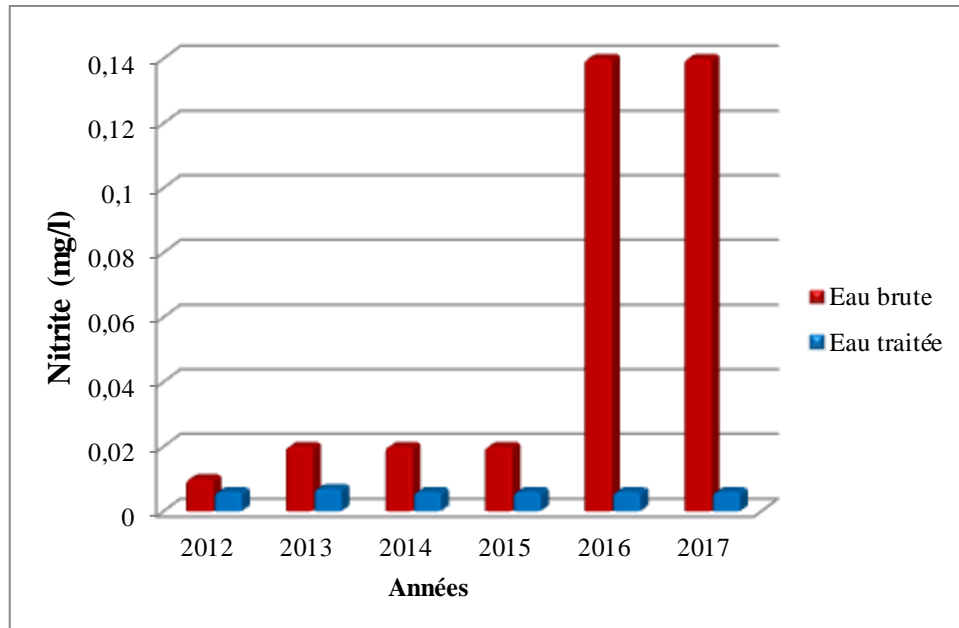


Figure 35. Nitrite moyen annuel des eaux brutes et traitées (2012 à 2017).

Comme il est indiqué sur la figure 35, on observe une bonne amélioration en teneurs des nitrites dans les eaux traitées, qui restent conformes aux normes de potabilité de l'OMS et Algériennes (0.1mg/l).

4. Caractérisation hydrochimique des eaux brutes et traitées du barrage de Hammam Debagh

L'hydrochimie est l'étude des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau. Les classifications hydrochimiques des eaux étudiées permettent de faire ressortir les principaux faciès et définir leur origine et leur milieu de circulation.

Pour atteindre cet objectif, nous allons déterminer le faciès chimique des eaux du barrage de Hammam Debagh avant et après traitement et expliquer les corrélations entre les différents ions par l'application de la méthode de l'analyse en composantes principales (ACP) et enfin, estimer l'aptitude des eaux traitées à l'alimentation en eau potable.

4.1. Outils et méthodes

Pour pouvoir analyser les données d'analyses et en ressortir le plus d'information, il a fallu utiliser des outils et méthodes efficaces et rapides.

4.1.1. Outil

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques.

Le principal outil utilisé est le logiciel DIAGRAMMES (Figure 36) créée par Roland SIMLER du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. C'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant l'exploitation d'analyse d'eau.

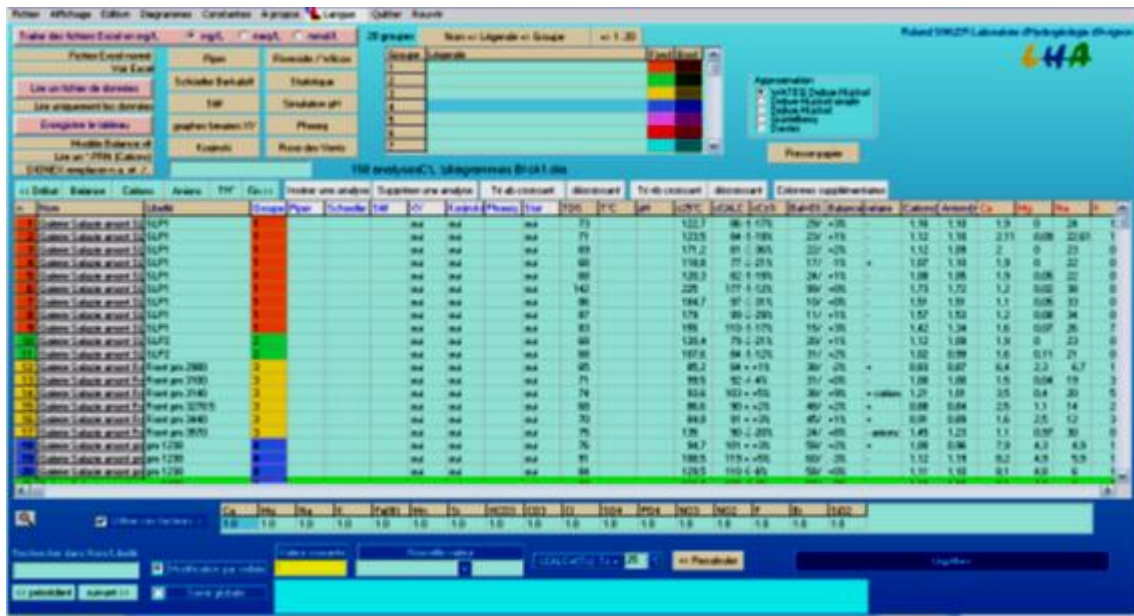


Figure 36. Interface de commande du logiciel DIAGRAMME

De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer :

- le diagramme de Piper,
- le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff,
- le diagramme de Stiff,
- le diagramme à coordonnées rayonnantes...

Dans notre étude, seules deux représentations graphiques qui ont été retenues et utilisées : le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff et le diagramme de Piper.

4.1.2. Méthodes

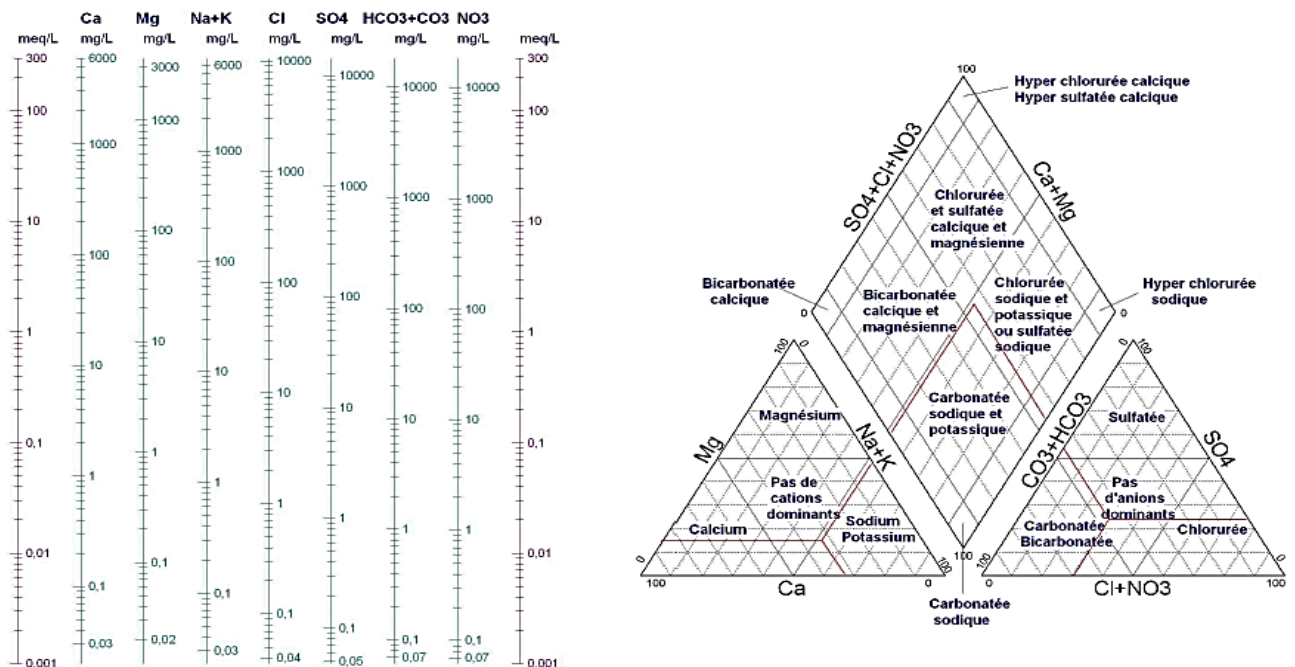
A. Le diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles témoignant les teneurs relatives en chacun des ions par rapport au total des ions. A ces deux triangles, est associé un losange synthétisant le faciès global.

- Le problème majeur pour ce type de représentation vient du fait que les analyses sont reportées sous forme de pourcentage, ainsi l'effet de dilution (variation de la concentration absolue) n'est pas immédiatement perceptible.
- Un avantage du diagramme de Piper est qu'il permet de représenter sur un même graphique le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eau.

B. Le diagramme de Schoeller Berkaloff :

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence (Figure 37).



Diagrammes de Piper et de Schoeller Berkaloff vierges

Figure 37. Diagrammes de Schöeller-Berkaloff et de Piper vierges.

4.2. Facies chimiques et l'évolution des paramètres mesurés

Les analyses physico-chimiques des eaux brutes et traitées ont été reportées sur le diagramme de Piper et celui de Schöeller-Berkaloff.

4.2.1. L'année 2012-2013

A. Eau brute

La représentation des données physico-chimiques des eaux brutes de l'année (2012 à 2013) sur le diagramme de Piper montre un faciès chimique dominant chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les deux saisons (Figure 38 a et b).

Selon le diagramme de Schöeller-Berkaloff, (figure 38 a et b) les ions dominants des eaux brutes sont les chlorures en saison humide et sulfaté en saison sèche pour les anions et le calcium pour les cations en hautes et basses eaux.

Les concentrations s'ordonnent comme suit :

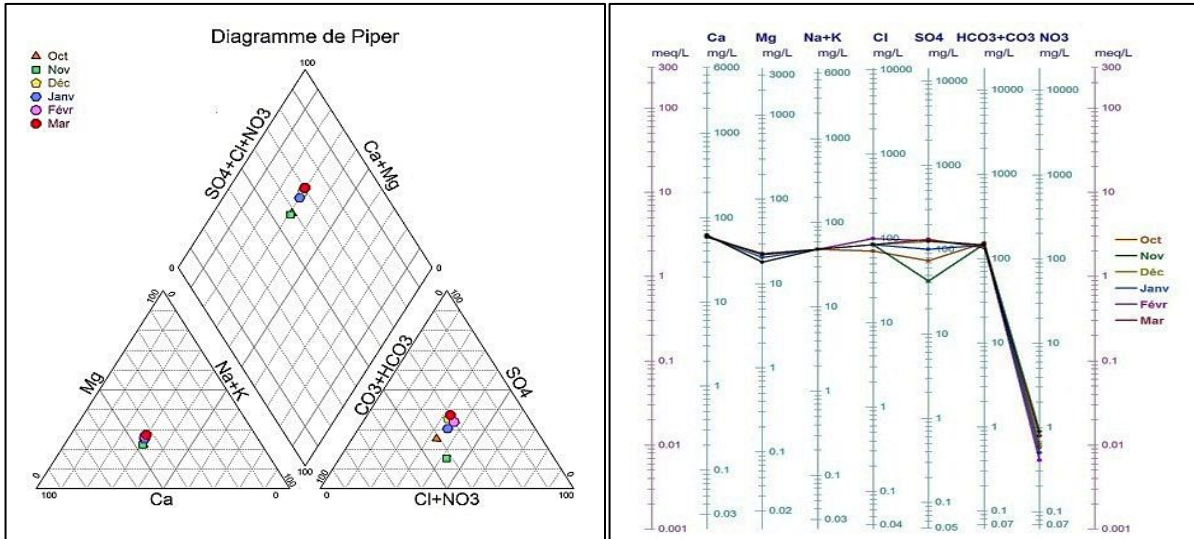
Anions : $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ (saison humide), $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ (saison sèche)

cations : $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ (les deux saisons).

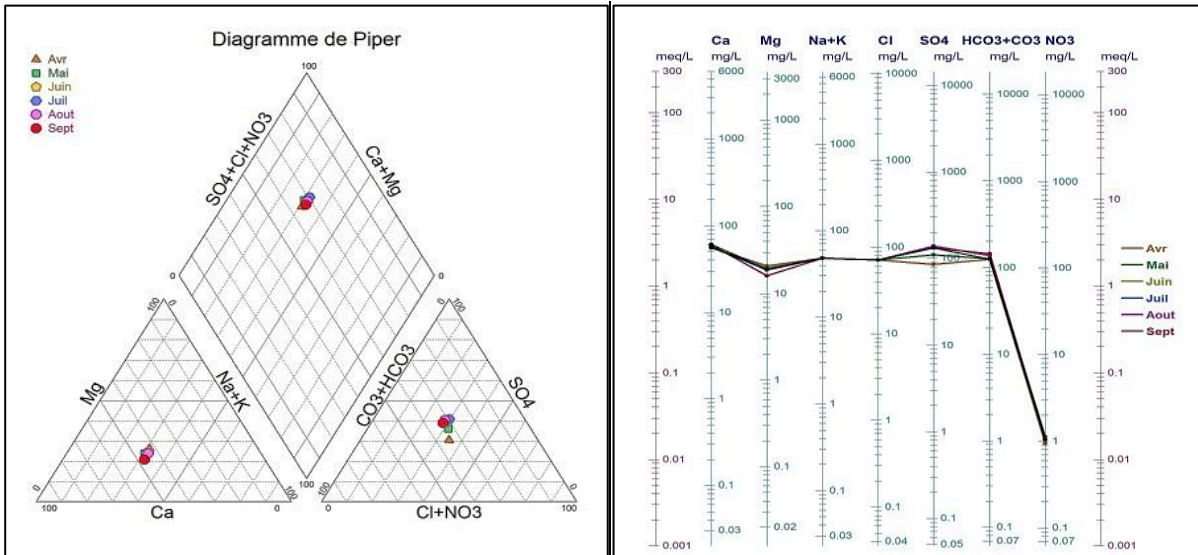
Les eaux du faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien sont faiblement minéralisées et ceci est marqué par une conductivité électrique moyenne de 464.16 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en 2012. Les teneurs en ions de sulfates et calcium pourraient s'expliquer par la géologie marquée par les formations marnes gypseuses et carbonatées de la région. Les chlorures peuvent parvenir d'une contamination directe de l'eau du barrage par des rejets domestiques ou de l'utilisation des pesticides dans l'agriculture ou encore de l'évaporation intense qui provoque l'augmentation des concentrations en ions Cl^- .

B. Eau traitée

La projection des analysés des eaux traitées (2012 à 2013) sur le diagramme de Piper montre que ces eaux ont le même faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour la saison humide et sèche (Figure 39).

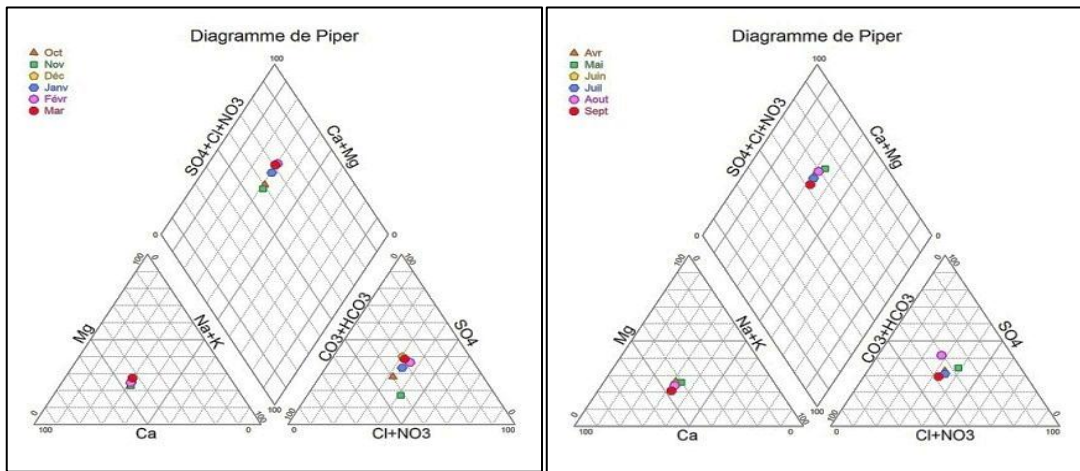


a : Saison humide



b : Saison sèche

Figure 38. Diagrammes des analyses des eaux brutes du barrage de Hammam Debagh (2012 à 2013)



Saison humide

Saison sèche

Figure 39 : Diagrammes des analyses des eaux traitées du barrage de Hammam Debagh (2012 à 2013)

4.2.2. L'année 2013-2014

A. Eau brute

Les diverses analyses physico-chimiques, relatives aux eaux brutes de l'année (2013 à 2014) sont reportées sur le diagramme de piper. Leur répartition spatiale illustrée sur le diagramme de Piper montre un faciès chimique dominant chloruré et sulfaté calcique et magnésien (Figure 40). L'allure générale des courbes selon le diagramme de Schöeller-Berkaloff est la même ce qui prouve un même faciès dominant pour tous les échantillons analysés.

Les concentrations s'ordonnent comme suit :

$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ et $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ pour les deux saisons.

B. Eau traitée

La projection des analysés des eaux traitées (2013 à 2014) sur le diagramme de Piper montre que ces eaux ont un faciès dominant chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les deux saisons (Figure 41).

4.2.3. L'année 2014-2015

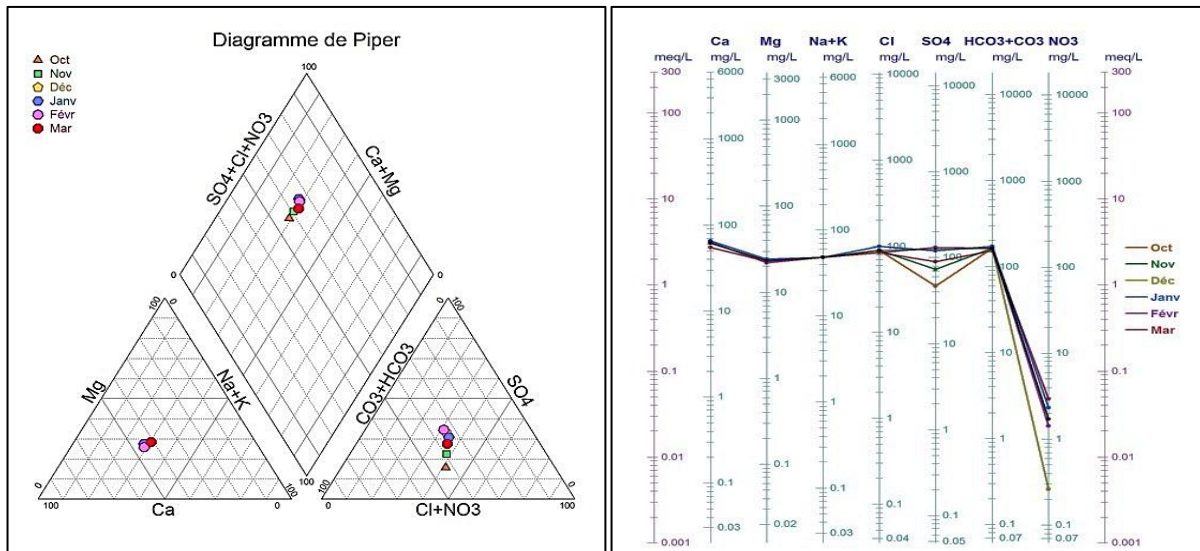
A. Eau brute

A l'analyse du diagramme de piper, il ressort que les eaux brutes du barrage de Hammam Debagh durant l'année (2014 à 2015) ont gardé le même faciès chimique dominant chloruré et sulfaté calcique et magnésien que les années précédentes en deux saisons avec une légère tendance bicarbonatée-calcique-magnésienne en saison sèche au mois de Mai (164.5 mg/l). L'application du diagramme de Schöeller-Berkaloff sur les échantillons d'eau brute marque des concentrations qui s'ordonnent comme suit :

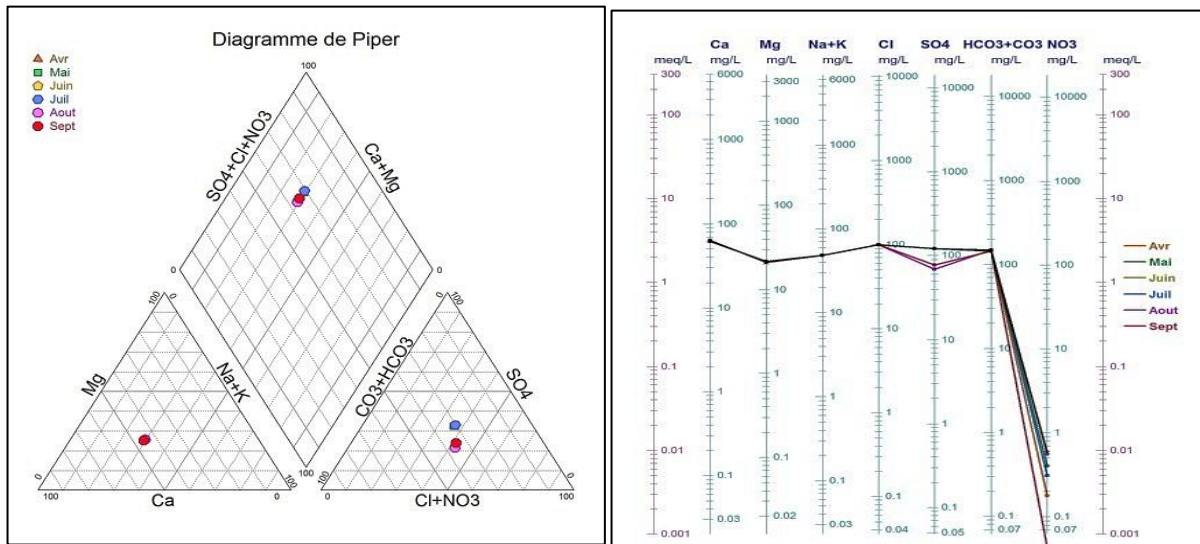
$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ et $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ pour les deux saisons (Figure 42b).

B. Eau traitée

La projection des analysés des eaux traitées (2014 à 2015) sur le diagramme de Piper montre que ces eaux ont le même faciès dominant chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour la saison humide et sèche (Figure 43).

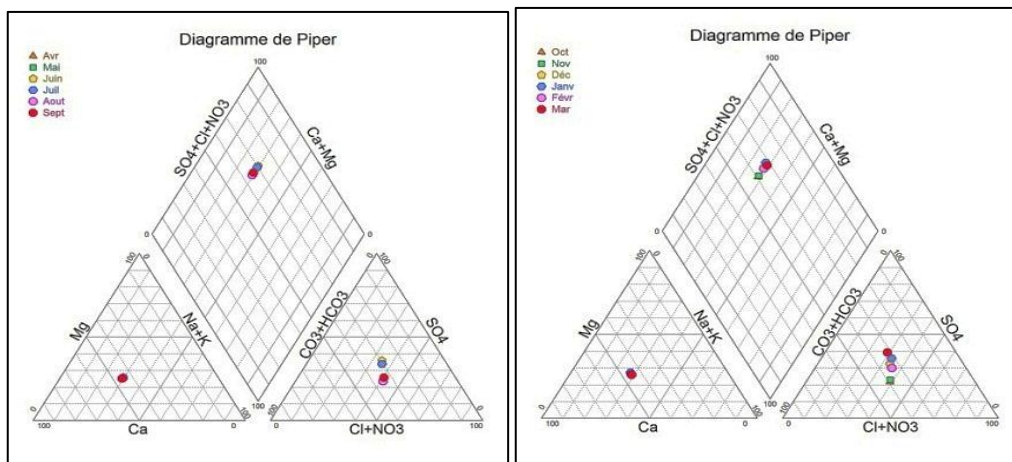


a : saison humide



b : saison sèche

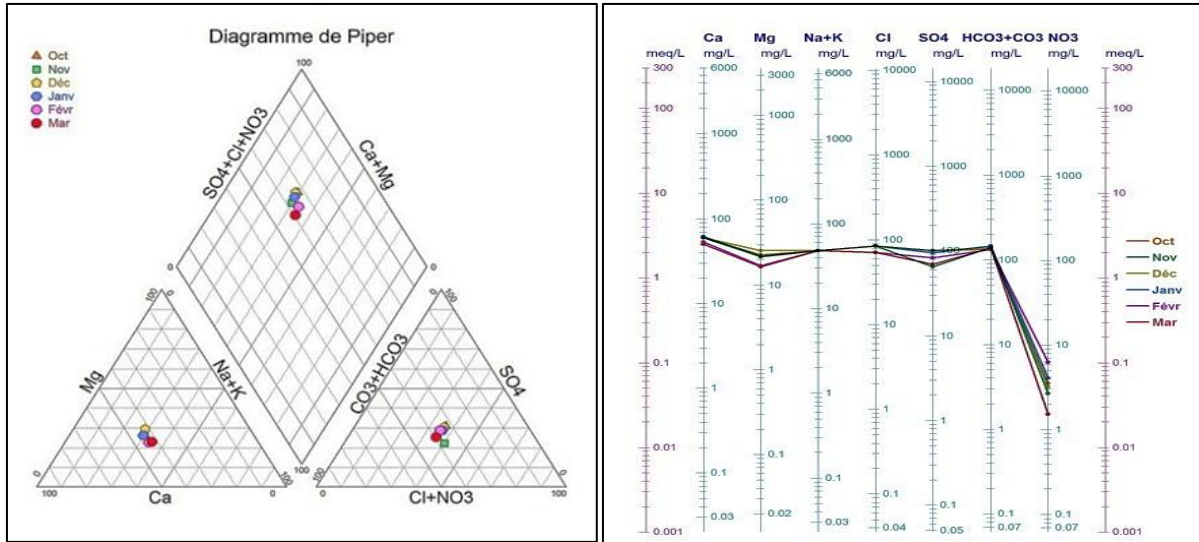
Figure 40. Diagrammes des analyses des eaux brutes du barrage de Hammam Debagh (2013 à 2014)



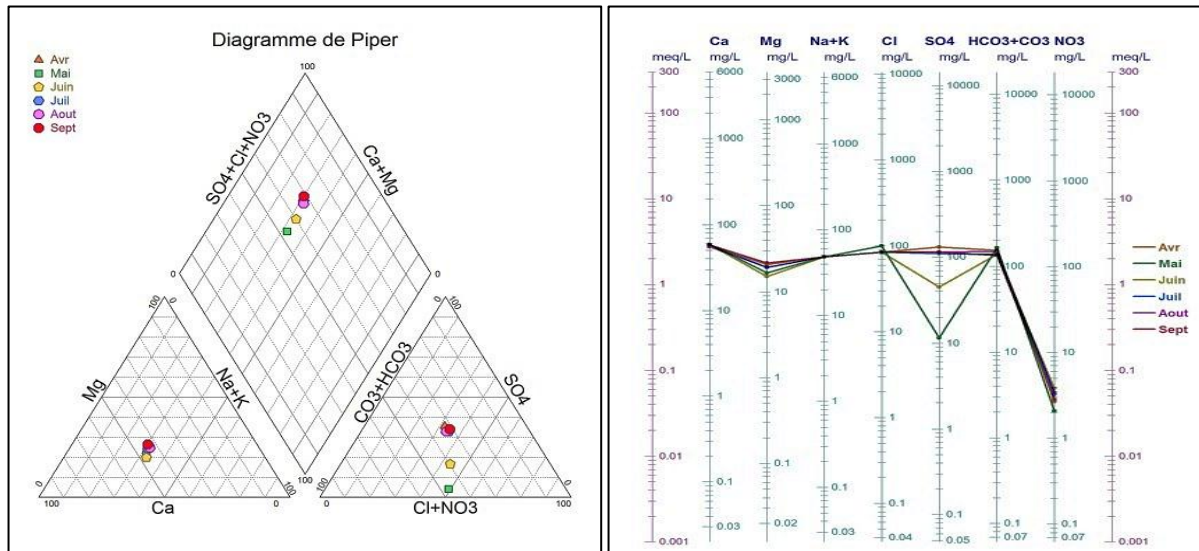
Saison humide

Saison sèche

Figure 41. Diagrammes des analyses des eaux traitées du barrage de Hammam Debagh (2013 à 2014).

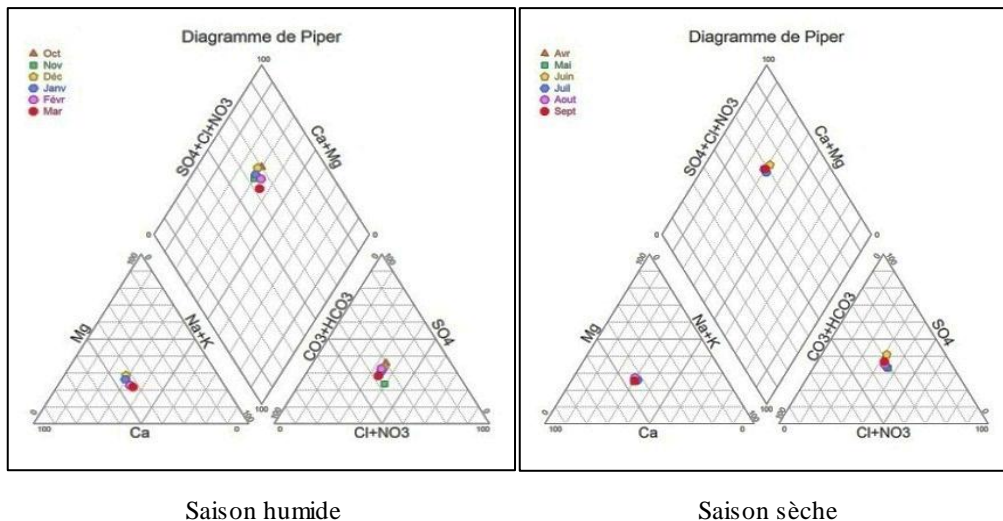


a : saison humide



b : saison sèche

Figure 42. : Diagrammes des analyses des eaux brutes du barrage de Hammam Debagh (2014 à 2015).



Saison humide

Saison sèche

Figure 43. Diagrammes des analyses des eaux traitées du barrage de Hammam Debagh (2014 à 2015).

4.2.4. L'année 2015-2016

A. Eau brute

L'eau brute du barrage de l'année (2015 à 2016) traduit sur le diagramme de Piper un faciès chimique dominant chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les échantillons de décembre, janvier, février et mars en saison humide. Deux échantillons se situent à la limite des deux pôles, soit entre le pôle bicarbonaté et le pôle chloruré du côté calcique qui correspondent aux mois de novembre et octobre (170.8 mg/l), marqué par des précipitations mensuelles de 53.3mm à 69.30mm.

En saison sèche, seul l'échantillon du mois de juillet qui marque une tendance bicarbonnée avec 167.14mg/l (Figure 44). Les concentrations des mois de novembre, octobre et juillet sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff s'ordonnent comme suit : $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ et $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$

B. Eau traitée

La projection des analyses des eaux traitées de la même année sur le diagramme de Piper montre une bonne corrélation avec le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien des eaux brutes et les mêmes tendances en faciès bicarbonaté-calcique-magnésien aux mois d'octobre et novembre en saison humide et au mois de juillet en saison sèche (Figure 45).

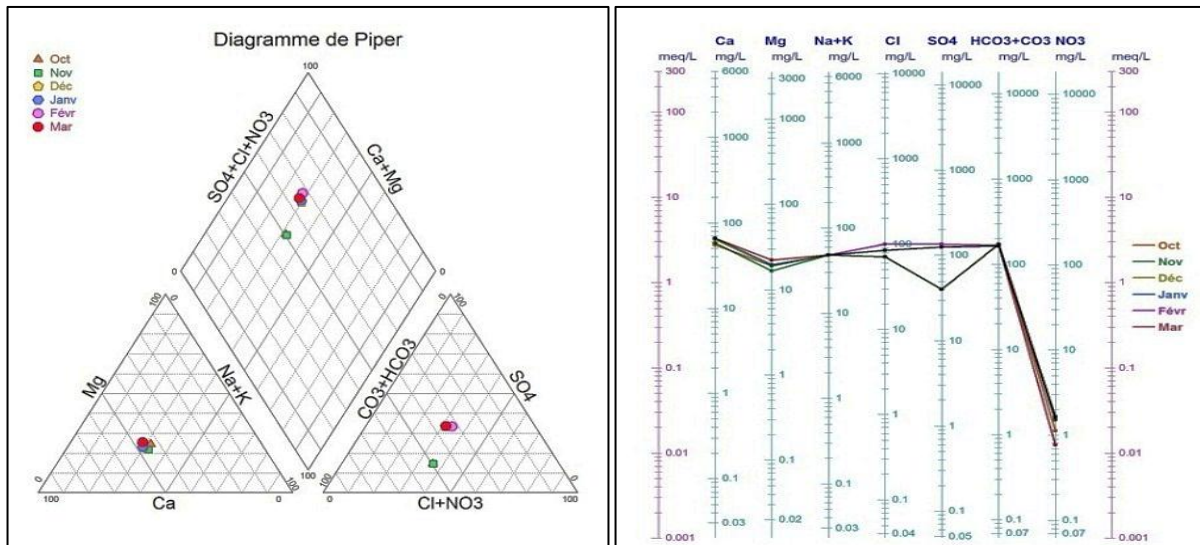
4.2.5. L'année 2016-2017

A. Eau brute

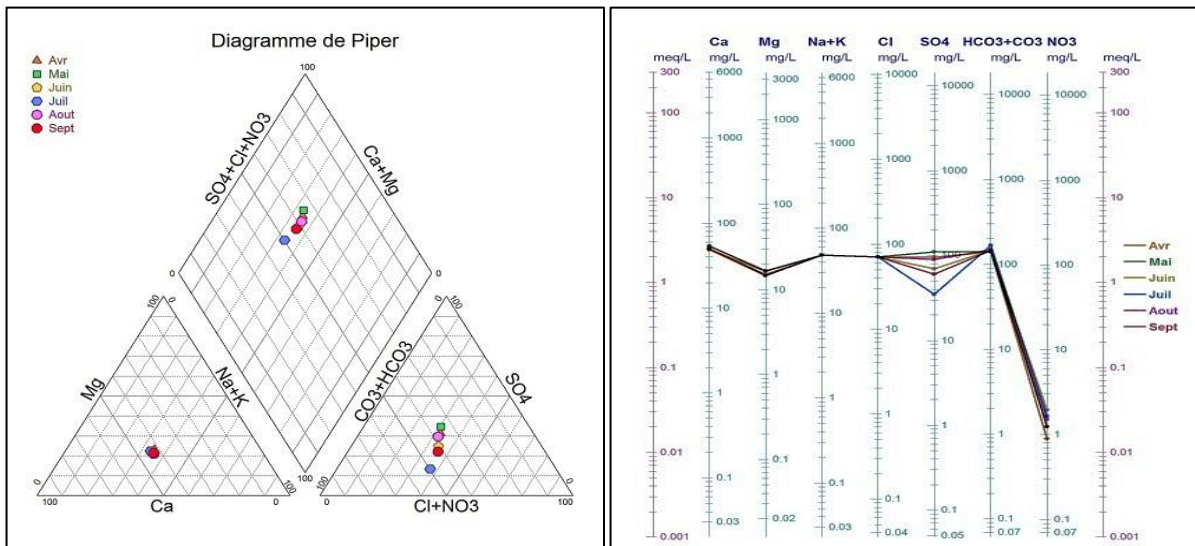
D'après les résultats des analyses des eaux brutes du barrage, reportés par le diagramme de Piper, on note un faciès chimique dominant chlorurée et sulfatée calcique et magnésien pour les deux saisons avec une légère tendance bicarbonnée-calcique-magnésienne au mois de juin (185.44mg/l) en saison sèche. La même allure des courbes sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff (2016 à 2017) en deux saisons, prouve que ces eaux possèdent un même faciès dominant pour les échantillons étudiés (Figure 46 a et b).

B. Eau traitée

L'application du diagramme de Piper sur les échantillons d'eau traitée du barrage montre une bonne corrélation avec les eaux brutes qui présentent un seul faciès : chloruré et sulfaté calcique et magnésien (Figure 47).



a : Saison humide



b : Saison sèche

Figure 44. Diagrammes des analyses des eaux brutes du barrage de Hammam Debagh (2015 à 2016).

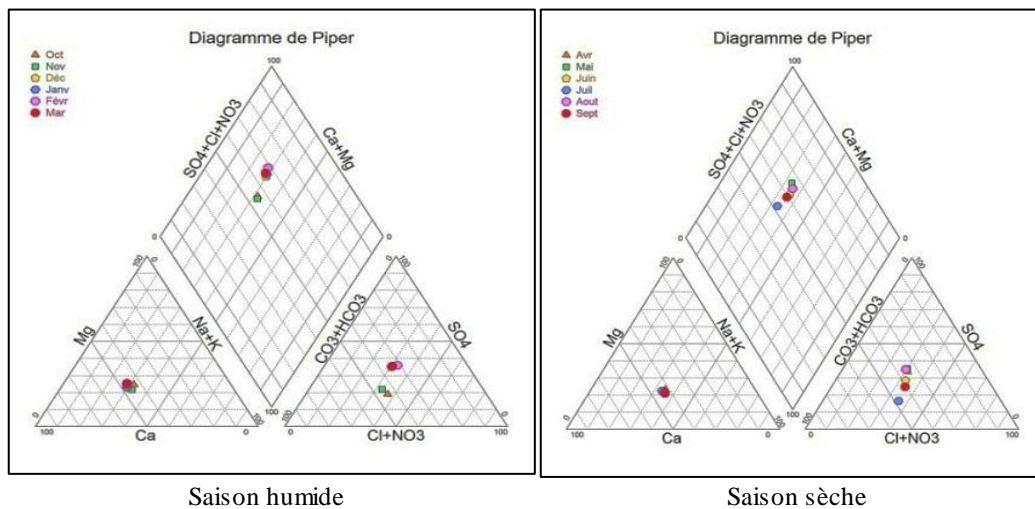
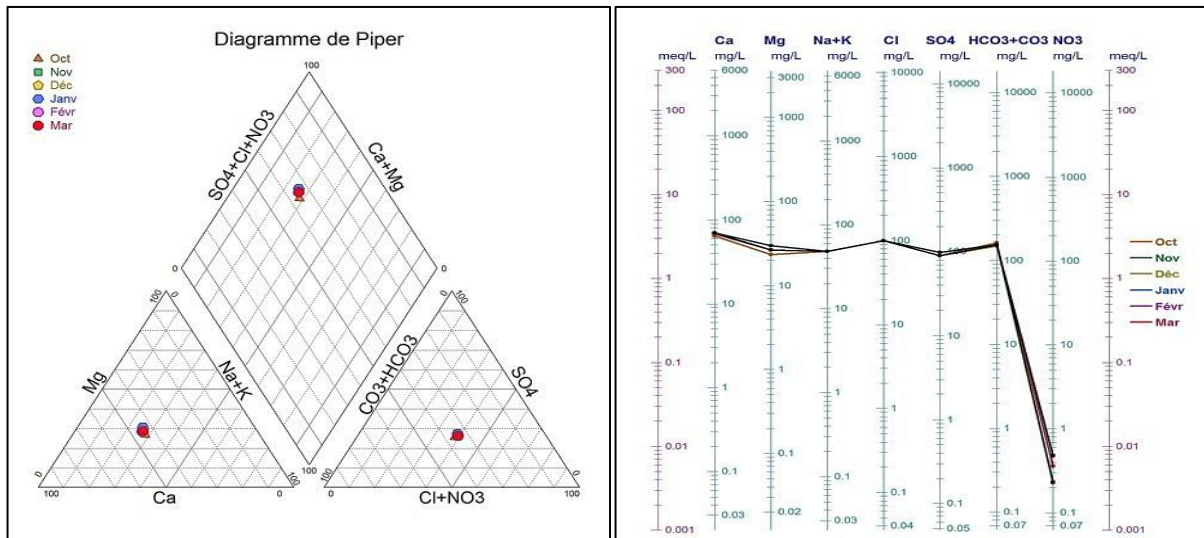
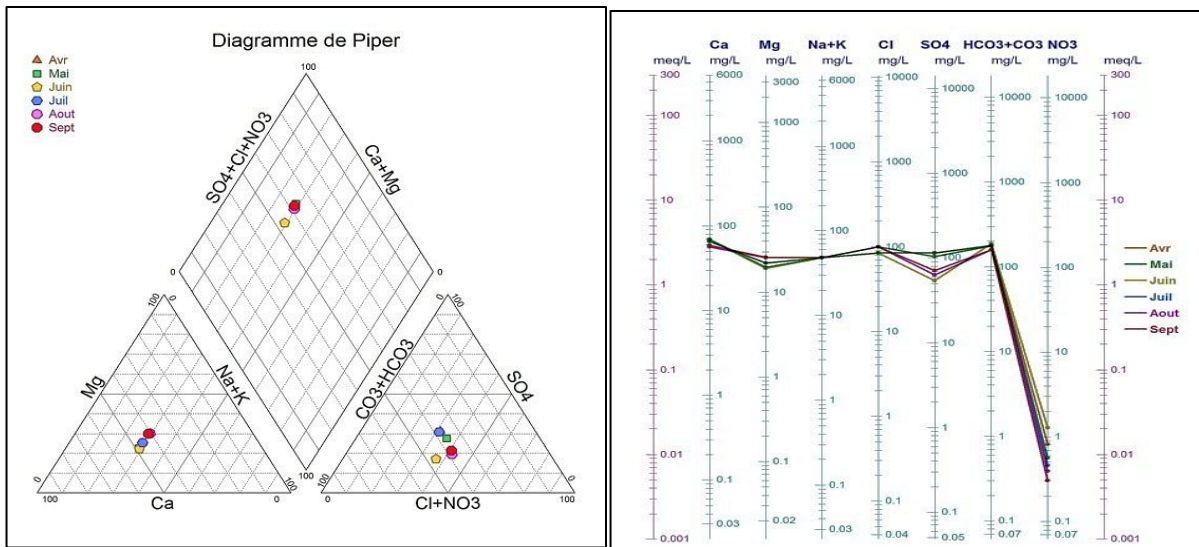


Figure 45 : Diagrammes des analyses des eaux traitées du barrage de Hammam Debagh (2015 à 2016).

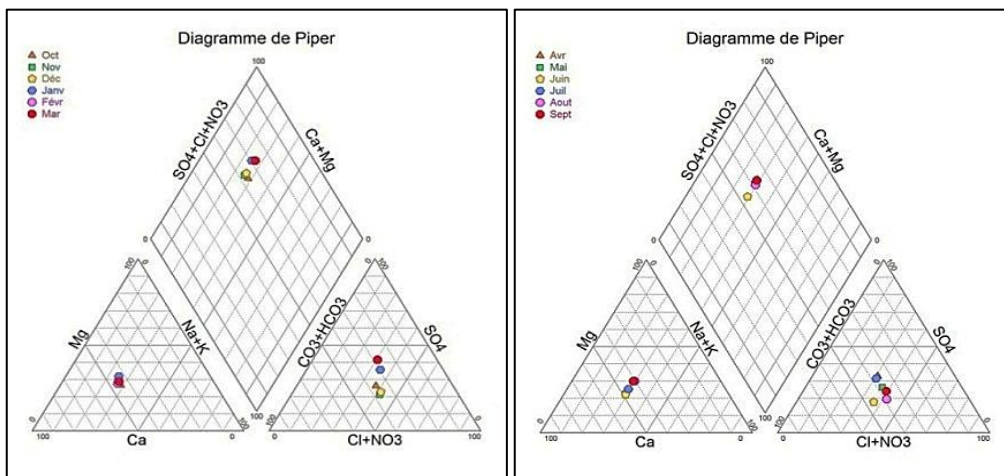


a : saison humide



b : saison sèche

Figure 46. Diagrammes des analyses des eaux brutes du barrage de Hammam Debagh (2016 à 2017)



Saison humide

Saison sèche

Figure 47. Diagrammes des analyses des eaux traitées du barrage de Hammam Debagh (2016 à 2017).

4.3. Analyse statistique en composante principale (ACP) des eaux brutes

L'analyse en composante principale est une méthode statistique essentiellement descriptive. Son objectif est de présenter sous forme graphique le maximum de l'information contenue dans un tableau de données (Diday & al. 1982; Philipeau ,992 in Bechiri N .2011).

L'objectif de l'utilisation de la méthode descriptive ACP aux données hydrochimiques des eaux étudiées est de:

- Mettre en évidence les ressemblances chimiques existantes entre les différentes variables et leurs corrélations avec les différents individus de la période d'étude (mois).
- Présenter les données sous une forme graphique.
- Regrouper les variables en classe homogène, dans le même sens ou dans un sens opposé, suivant les axes F1 et F2.
- Interpréter les relations entre les données hydrochimiques, les saisons et les phénomènes à l'origine de ces relations.

Cette analyse statistique des données physico-chimiques a été effectuée par un logiciel XLSTAT 2018 sur une matrice de données constituée de 18 variables : T°C, pH, CE, MO , MES, Turb, Cl, SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_2^- , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Fe , PO_4^{-3} , Na^+ , K^+ . Et de 6 individus (mois de la saison humide ou sèche) de la période d'étude (2012 à 2017).

4.3.1. Eaux brutes en saison humide

L'analyse des résultats permet de constater que la majeure partie des informations est expliquée par les deux premiers axes factoriels. Dans les plans factoriels F1 et F2, les valeurs propres (Tableau 7) de la matrice de corrélation représentent la variation des individus sur l'axe correspondant. Dans un but de faciliter leur interprétation, ces valeurs sont exprimées en pourcentage des valeurs propres totales.

Les valeurs propres montrent que le premier plan factoriel, constitué des axes F1 et F2, représente 72.37% de l'inertie totale.

Tableau 7. Valeurs propres (saison humide).

	F1	F2	F3	F4	F5
Valeur propre	9.150	3.877	2.670	1.708	0.596
Variabilité (%)	50.832	21.538	14.833	9.487	3.310
% cumulé	50.832	72.370	87.203	96.690	100.000

On constate que le décrochement principal se fait juste après les deux premières valeurs ce qui signifie que les axes F1 et F2 avec une inertie respectivement de 50.83 % et 21.54 % sont suffisants pour représenter l'information dans sa globalité.

A. Matrice de corrélation entre les différentes variables :

La matrice de corrélation donne une première idée des associations existantes entre les différentes variables. Les paramètres qui sont relativement bien corrélés entre eux montrent un bon coefficient de corrélation mentionnés en gras ($0,610 < r < 0,930$) (Tableau 8).

Tableau 8. Matrice de corrélation entre les variables et la saison humide de la période étudiée.

Variables	Tc	pH	CE	MO	MES	Turb	Cl ⁻	Hco3	So4	No2	No3	Ca	Mg	NH4	Fe	Po4	Na	K
Tc	1																	
pH	-0,94	1																
CE	0,23	-0,10	1															
MO	0,92	-0,79	0,20	1														
MES	-0,89	0,87	-0,12	-0,74	1													
Turb	-0,86	0,87	-0,13	-0,74	1,00	1												
Cl ⁻	-0,81	0,82	0,34	-0,81	0,75	0,75	1											
Hco	-0,62	0,81	0,28	-0,35	0,61	0,61	0,68	1										
So4	-0,87	0,77	-0,13	-0,97	0,76	0,76	0,83	0,33	1									
No2	0,76	-0,75	0,32	0,56	-0,92	-0,92	-0,49	-0,53	-0,53	1								
No3	-0,82	0,80	0,22	-0,82	0,57	0,57	0,92	0,66	0,78	-0,34	1							
Ca	-0,82	0,73	0,05	-0,84	0,88	0,88	0,83	0,41	0,84	-0,75	0,67	1						
Mg	-0,67	0,73	-0,36	-0,37	0,53	0,53	0,32	0,74	0,24	-0,66	0,45	0,27	1					
NH	-0,09	-0,14	-0,85	-0,14	0,02	0,02	-0,41	-0,53	0,04	-0,27	-0,32	0,04	0,12	1				
Fe	-0,10	-0,08	-0,96	-0,16	-0,00	-0,00	-0,42	-0,51	0,09	-0,18	-0,31	-0,08	0,13	0,92	1			
Po4	-0,07	-0,13	-0,31	-0,37	-0,31	-0,31	-0,01	-0,49	0,33	0,43	0,22	-0,07	-0,25	0,34	0,45	1		
Na	-0,06	0,19	0,08	-0,04	0,48	0,48	0,19	0,09	0,23	-0,34	-0,16	0,29	-0,23	-0,23	-0,12	-0,45	1	
K	-0,33	0,36	0,43	-0,53	0,22	0,22	0,69	0,20	0,65	0,17	0,64	0,37	-0,27	-0,55	-0,40	0,39	0,25	1

Les corrélations hautement significatives ($0,804 < r < 0,930$) sont entre :

- T°c avec MO.
- pH avec MES, Turb, Cl⁻, Hco₃⁻.
- Turb avec Ca²⁺.
- Cl⁻ avec So₄²⁻, No₃⁻, Ca²⁺.
- So₄²⁻ avec Ca²⁺.
- NH₄⁺ avec Fe.
- No₃⁻ avec pH.

B. Corrélations entre les variables et les axes principaux

Nous apporterons une attention importante à la variable ayant une forte corrélation positive ou négative à l'axe factoriel qui lui correspond (Tableau 9).

Tableau 9. Coefficients de corrélations entre les variables en saison humide et les axes principaux

	F1	F2
T°c	0,960	-0,222
pH	-0,960	0,033
CE	0,014	-0,957
MO	0,876	-0,218
MES	-0,931	0,134
Turb	-0,930	0,136
Cl-	-0,912	-0,348
Hco3-	-0,709	-0,364
So42-	-0,875	0,116
No2-	0,775	-0,373
No3-	-0,832	-0,238
Ca2+	-0,888	0,048
Mg2+	-0,574	0,316
NH4+	0,121	0,963
Fe	0,120	0,964
Po4-3	0,096	0,302
Na+	-0,256	-0,175
K+	-0,443	-0,531

L'analyse et le positionnement des individus en saison humide dans le graphique de corrélation suivant le plan factoriel F1-F2 met en évidence trois regroupements des variables (Figure 48).

- Premier groupe (octobre)

La partie positive du facteur 1 est déterminée par les paramètres (MO, NO₂⁻ et T°C), qui indiquent une décomposition de la matière organique.

- Deuxième Groupe (janvier et février)

L'axe F1, est exprimé vers son pôle négatif par des descripteurs pluvio-lessivage. Il définit un axe d'érosion par les ions majeurs indicateurs du degré de minéralisation (Mg²⁺, Ca²⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻) et par la charge en NO₃⁻, SO₄²⁻ d'une activité agricole.

Enfin, la matière en suspension et la turbidité en relation avec la vitesse du courant qui développe des eaux chargées.

- Troisième Groupe (mars)

La projection de ce groupe sur la partie positive du facteur 2 est déterminée par un enrichissement des eaux par les paramètres (Fe, NH_4^+), indicateurs d'une contamination d'origine anthropique.

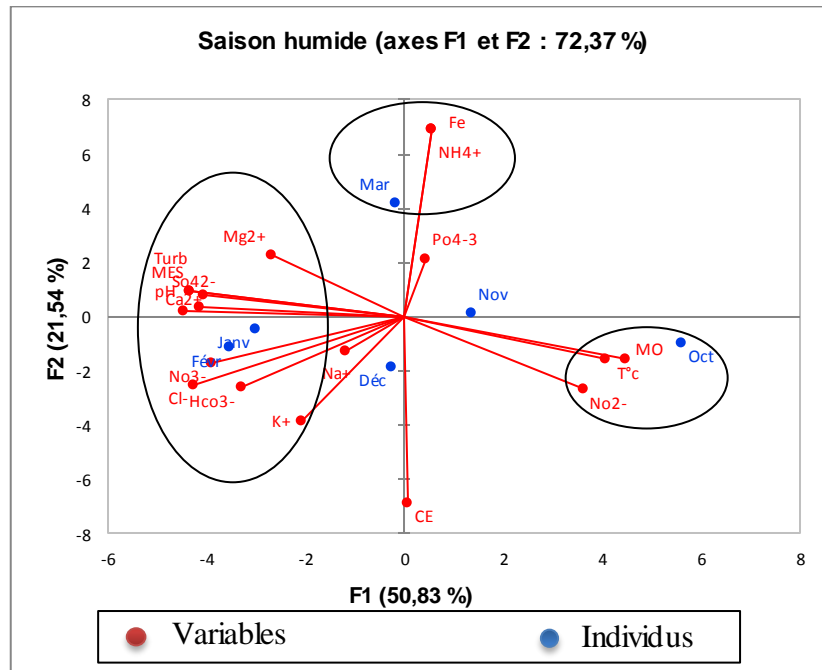


Figure 48. Graphique de corrélation des variables physicochimiques et individus en saison pluvieuse le plan factoriel F1-F2

4.3.2. Eaux brutes en saison sèche :

Le tableau 10 des valeurs propres montre que le premier plan factoriel représente 60.49 % de l'information totale à raison d'une inertie de 34.42 % et 26.07 % respectivement pour F1 et F2.

Tableau 10. Valeurs propres (saison sèche).

	F1	F2	F3	F4	F5
Valeur propre	6.195	4.693	3.146	2.434	1.532
Variabilité (%)	34.416	26.073	17.478	13.524	8.509
% cumulé	34.416	60.489	77.966	91.491	100.000

A. Matrice de corrélation entre les différentes variables :

L'analyse de la matrice de corrélations (Tableau 11) des eaux brutes en saisons sèche montre qu'il s'est établi des bonnes corrélations significatives ($0.702 < r < 0.981$) essentiellement entre :

- CE avec MO, Mg^{2+} .
- MO avec Mg^{2+} .
- MES avec Turb, Fe.
- Turb avec Fe.
- HCO_3^- avec So_4^{2-} .
- So_4^{2-} avec NH_4^+ , K^+ .
- No_2^- avec NH_4^+ .

Tableau 11. Matrice de corrélation entre les variables et la saison sèche de la période étudiée.

Variables	TC	pH	CE	MO	MES	Turb	Cl-	Hco	So4	No2	No3	Ca	Mg	NH4	Fe	Po4	Na	K+
TC	1																	
Ph	-0.23	1																
CE	0.65	-0.46	1															
MO	0.31	-0.86	0.70	1														
MES	-0.92	0.44	-0.68	-0.40	1													
Turb	-0.95	0.39	-0.61	-0.32	0.98	1												
Cl-	0.52	0.65	0.02	-0.59	-0.32	-0.41	1											
Hco	-0.14	-0.25	-0.22	-0.07	-0.17	-0.06	-0.30	1										
So4	-0.04	-0.22	-0.27	0.10	-0.10	-0.00	-0.35	0.73	1									
No2	0.41	-0.40	0.28	0.57	-0.39	-0.32	-0.24	0.14	0.69	1								
No3	-0.35	0.62	-0.62	-0.57	0.64	0.48	0.31	-0.61	-0.40	-0.39	1							
Ca	-0.08	0.32	0.23	-0.34	0.00	0.02	0.34	-0.04	-0.63	-0.78	-0.09	1						
Mg	0.28	-0.49	0.79	0.77	-0.38	-0.23	-0.37	0.06	0.19	0.57	-0.74	-0.03	1					
NH4	-0.12	-0.58	-0.02	0.59	0.01	0.11	-0.74	0.37	0.78	0.79	-0.37	-0.79	0.45	1				
Fe	-0.91	0.14	-0.48	-0.08	0.84	0.92	-0.64	0.19	0.29	-0.04	0.16	-0.12	0.04	0.42	1			
Po4	-0.17	-0.83	0.07	0.56	-0.02	-0.03	-0.71	0.17	-0.02	-0.06	-0.24	-0.16	0.05	0.35	0.07	1		
Na	0.09	-0.34	-0.24	-0.16	-0.33	-0.36	-0.01	0.63	0.19	-0.26	-0.25	0.09	-0.41	-0.08	-0.32	0.48	1	
K	0.41	0.07	-0.12	-0.16	-0.46	-0.41	0.28	0.58	0.78	0.59	-0.33	-0.40	0.04	0.32	-0.23	-0.42	0.25	1

Et d'autres moyennes (0.525 à 0.691), telles que :

- T°C avec CE, Cl⁻.
- pH avec Cl⁻, NO₃⁻.
- HCO₃⁻ avec Na⁺, K⁺.
- SO₄²⁻ avec NO₂⁻.
- MES avec NO₃⁻.
- MO avec NO₂⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻.
- NO₂⁻ avec Mg²⁺, K⁺.

B. Corrélations entre les variables et les axes principaux

Nous apporterons une attention importante aux variables ayant une forte corrélation positive ou négative aux axes factoriels F1 et F2. (Tableau 12).

Tableau 12. Coefficients de corrélations entre les variables en saison sèche et les axes principaux

	F1	F2
T°C	-0.622	-0.738
pH	0.789	-0.269
CE	-0.645	-0.436
MO	-0.790	0.220
MES	0.776	0.609
Turb	0.684	0.691
Cl ⁻	0.293	-0.866
Hco3 ⁻	-0.337	0.341
So4 ²⁻	-0.468	0.543
No2 ⁻	-0.747	0.256
No3 ⁻	0.811	-0.015
Ca ²⁺	0.388	-0.488
Mg ²⁺	-0.702	0.115
NH ₄ ⁺	-0.589	0.762
Fe	0.371	0.872
Po4 ³⁻	-0.322	0.391
Na ⁺	-0.168	-0.103
K ⁺	-0.423	-0.074

Une approche typologique des différentes variables selon leurs affinités et regroupements sur les deux premières composantes principales est présentée dans la figure 49.

L'analyse de la projection des individus dans le plan factoriel F1-F2 met en évidence un changement de position de certains paramètres au cours des deux saisons. Il s'agit MO, NO₂⁻

et T°C qui sont liés à la partie positive de l'axe F1 en saison pluvieuse et s'opposent en saison sèche. La MES, Turb, NO_3^- et pH ont affichés une certaine corrélation avec le côté positif de l'axe F1 en saison sèche à l'opposé en saison pluvieuse. En saison sèche les chlorures se sont dissociés de l'axe F1 pour afficher une certaine corrélation avec l'axe F2.

Nous identifions sur la figure trois principaux groupes :

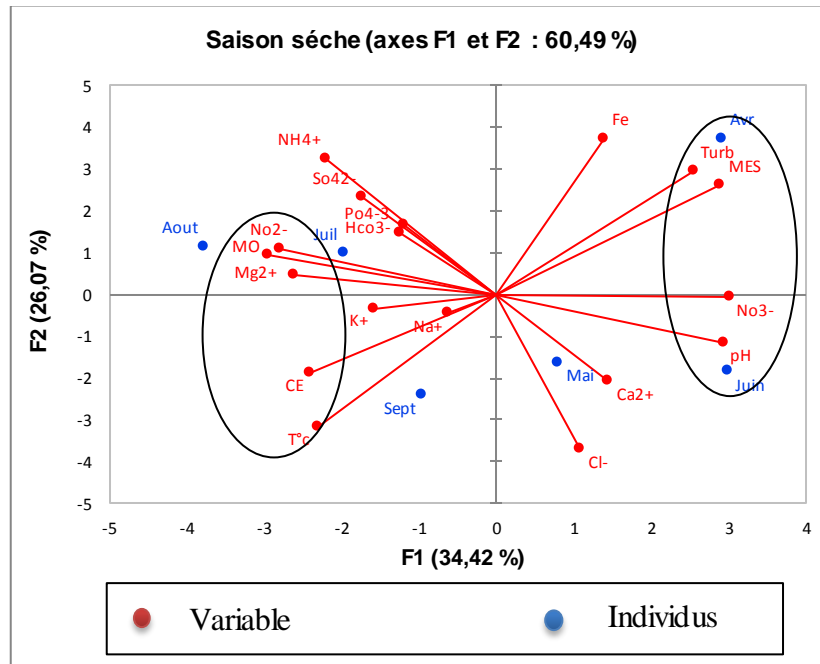


Figure 49. Corrélation des variables physicochimiques et individus en saison sèche dans le plan factoriel F1-F2

- Premier groupe (avril et juin)

Le facteur 1 est représentatif de la Turb, MES, NO_3^- et pH qui sont positivement corrélés à l'axe F1. Les paramètres associés au mois d'avril témoignent d'un lessivage des sols et ceux du mois de juin à une activité anthropique.

- Deuxième Groupe (juillet et août)

La proximité des paramètres (MO, NO_2^- , CE, T°C) aux deux mois les plus chauds de la saison, prouvent une contamination organique des eaux.

- Troisième Groupe (juillet)

La bonne corrélation du NH_4^+ et SO_4^{2-} à l'axe F2, signifie qu'ils sont mis en solution par le même phénomène. La position du Cl dans le pôle opposé témoigne d'un mécanisme différent. Le Cl est en relation négative avec le Fe.

5. Conclusion :

Cette étude a été menée dans le but de déterminer le Faciès et la qualité physico-chimique des eaux de surface du barrage de Hammam Debagh avant et après traitement.

La projection des résultats des analysés des eaux brutes et traitées sur le diagramme de Piper et Schöeller-Berkaloff révèle une dominance de faciès chimique des eaux. Ce sont des eaux essentiellement chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes pour les deux saisons tout au long de la période d'étude (2012 à 2017) avec une légère tendance bicarbonatée par évaporation et concentration pendant la période sèche (mai, juin et juillet) et par érosion des roches sédimentaires à composante carbonatée pour la période humide (octobre et novembre) respectivement pour les années (2014 - 2015, 2015 – 2016 et 2016 - 2017) et pour l'année 2015 - 2016.

L'étude statistique des eaux brutes, basée sur les analyses en composantes principales (ACP) des données physico-chimiques, a été réalisée sur 18 variables et 6 observations pour chaque saison (humide et sèche). Les graphiques issus de l'analyse factorielle mettent en évidence des regroupements et des oppositions caractérisés par une minéralisation des eaux avec des indicateurs d'une contamination d'origine anthropique (domestique et agricole).

- Selon les normes aussi bien celle de l'OMS que les normes Algériennes, on s'aperçoit que les eaux traitées provenant du barrage de Hammam Debagh présentent une potabilité permanente pour l'alimentation en eau potable et ne présentent aucun risque sur la santé. D'une manière générale sont de bonne qualité pour la consommation.



**Conclusion
générale**

Conclusion générale

L'eau destinée à la consommation humaine, doit être saine et sans danger pour la santé du consommateur, à court comme à long terme et ne doit pas se dégrader lors de son transport dans les réseaux de distribution. Ainsi, chaque eau brute prélevée dans le milieu naturel présente un nombre plus au moins important de paramètres à ajuster ou à éliminer auxquels correspondent des techniques de traitement.

L'objectif principal de ce projet consistait à faire un diagnostic sur le comportement des éléments physico-chimiques dans les eaux de surface du barrage de Hammam Debagh avant et après traitement.

Le travail a été présenté essentiellement dans son volet général représentant :

- La situation géographique de la station de traitement et du barrage de Hammam Debagh avec un aperçu géologique et hydrographique de la zone d'étude.
- Une étude hydroclimatologique sur une période de 8ans (2009 à 2017) qui a mis en évidence deux saisons, l'une saison sèche qui s'étend du mois d'avril jusqu'à la fin du mois de septembre et l'autre humide du mois d'octobre jusqu'au mois de mars. Le climat est de type subhumide avec des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 511.56mm, pour une température moyenne annuelle de 18.01°C et un ruissellement de 9.96%.

Un autre volet spécifique a concerné :

- L'étude des étapes de traitement appropriées aux eaux brutes du barrage de Hammam debagh (coagulation-floculation, décantation, filtration, combinaison avec la chloration) ainsi que le matériel et méthodes d'analyses utilisés dans le dosage des éléments physico-chimiques au niveau du laboratoire de la station.
- L'interprétation hydrochimique des résultats d'analyses des eaux et la discussion à travers des représentations graphiques sur le diagramme de Piper, de Schöeller-Berkaloff et une analyse en composante principale (ACP).

Du point de vue hydrochimique, l'interprétation des différents diagrammes a montré que les eaux brutes et traitées du barrage de Hammam Debagh ont un faciès dominant chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les deux saisons tout au long de la période d'étude (2012 à 2017) avec une légère tendance bicarbonatée liée à la nature des roches sédimentaires du terrain à composante carbonatée par évaporation et concentration en saison sèche

(mai, juin et juillet) et par érosion en saison humide (octobre et novembre) respectivement pour les années (2014 - 2015, 2015 – 2016 et 2016 - 2017) et pour l'année 2015 - 2016.

L'analyse en composante principales (ACP) des eaux brutes sur 18 variables et 6 observations pour chaque saison (humide et sèche) a montré que le chimisme des eaux du barrage de Hammam Debagh n'est pas lié seulement à la nature des terrains traversés, il peut être influencé par des indicateurs d'une contamination d'origine anthropique (domestique et agricole).

D'une façon générale, l'évolution de la teneur des éléments physico-chimiques et des paramètres indicateurs de pollution reste tout au long de la période d'étude dans les normes de potabilité admises par l'OMS et l'Algériennes. Cette caractérisation a permis de qualifier les eaux traitées du barrage de bonne qualité à la consommation humaine qui peuvent représenter des bonnes réserves pour l'approvisionnement en eau potable de la région.



**Références
bibliographiques**

Références bibliographiques

- ✓ **ANBT** (Agence Nationale des Barrages et Transfert-Guelma), (2018): Mémoire technique du barrage de Hammam Debagh-Guelma. 10p.
- ✓ **Bara Y, (2016)** : Etude comparative de la qualité physicochimique et bactériologique de l'eau du barrage de hammam debagh avant et après traitement cas de la station de traitement Hammam Debagh-Guelma. Mémoire de Master en Biologie. Université de 8 Mai 1945-Guelma. 48p.
- ✓ **Bechiri N, (2011)** : Evolution du chimisme des eaux de surface et souterraines dans le bassin versant de la seyhouse (Nord-Est Algérien). Mémoire de magister en Géologie. Université Badji Mokhtar-Annaba. 100p.
- ✓ **Ben yazza A, (2014)** : Evaluation des facies hydro-chimique des eaux souterraines de la région D'IN-SALAH (Wilaya de Tamanrasset). Mémoire de master professionnel en Hydraulique. Université de Kasdi Merbah Ouargla. 66p.
- ✓ **Boubidi W, Fardjallah S, Saidia N, (2007)** : Traitement et critères de potabilité de l'eau (les normes). Mémoire de l'ingénierie, Université de 8 Mai 1945-Guelma. 52p.
- ✓ **Boutahrine F, (2014)** : Optimisation des traitements des eaux potable de la station de Khenifra en amont de la déminéralisation. Mémoire de master Sciences et Techniques. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah. Faculté des Sciences et Techniques-Fès. 79p.
- ✓ **Bouzidi S, Chelih Z, (2017)** : Caractérisation physico-chimique et bactériologique avant et après traitement de l'eau du barrage de Hammam Debagh-Guelma. Mémoire de master, Université de 8 Mai 1945-Guelma. 43p.
- ✓ **Chaouch R, Moumed S, Mebarki F, (2009)** : Suivi de quelques paramètres physicochimique et bactériologique dans les eaux du barrage et de l'oued de Bouhamdane. Mémoire de d'ingénieur en biologie. Université de 8 Mai 1945-Guelma. 56p.
- ✓ **Djemai I, (2013)** : Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface du barrage de Foum El Gueiss (Est-Algérie). Mémoire de magister en hydraulique. Université de Batna. 87p.
- ✓ **E Ezzine S, Ezzekri H, (2015)** : Contrôle de qualité des eaux de la station de traitement DAOURAT: Province El Jadida. Mémoire de fin d'études. Université Cadi Ayyad- Marrakech. 57p.

- ✓ **El Alaoui Elfels A, Hajhouji Y, (2010) :** L'hydrochimie et qualité des eaux de surfaces et souterraines du Haouz (Maroc). Mémoire de fin d'étude. Université de Cadi Ayyad MARRAKECH. 47p.
- ✓ **Harrat N, (2013) :** Elimination de la matière organique naturelle dans une filière conventionnelle de potabilisation d'eaux de surface. Thèse de doctorat en sciences-Hydrolique. Université Mohamed Khider- Biskra. 134p.
- ✓ **Hedahdia A, Aliouche S, (2016):** Contribution à l'étude de l'origine de la contamination fécale des eaux de barrage Bouhamdane-Guelma. Mémoire de Master en Biologie. Université de 8 Mai 1945-Guelma. 44p.
- ✓ **Jarid H, Amzil K, (2012) :** Optimisation de la filtration sur sable pour le traitement des eaux potables à la compagne minière Guemassa (CMG). Mémoire de fin d'étude. Université CADI AYYAD- Marrakech. 76p.
- ✓ **Kachi N, (2016) :** Impact du périmètre irrigue sur la qualité des eaux souterraines dans le bassin versant de la Seybouse. Thèse de doctorat Es science. Université Badji Mokhtar-Annaba. 175p.
- ✓ **Kherchiche A, Bouzidi A, (2013) :** Impact de la pollution agricole et urbaine sur la qualité des eaux de surface : cas du barrage de Hammam Debagh-Guelma. Mémoire de master en Biologie. Université de 8 Mai 1945-Guelma. 46p.
- ✓ **Louamri A, (2013) :** Le bassin-versant d la Seybouse (Algérie orientale) : Hydrologie et aménagement des eaux. Thèse de doctorat en sciences. Université de Constantine (1). 300p.
- ✓ **Mekaoussi N, (2014) :** Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface de Hammam Debagh (Est Algérien). Mémoire de Magister en Hydraulique. Université Hadj Lakhdar-Batna. 124p.
- ✓ **Mouchara N, (2009):** Impacts des lâchées de Barrage Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (Nord-Est Algérie). Mémoire de magister. Université de Badji Mokhtar Annaba. 123p.
- ✓ **Reggam A, (2010) :** Evaluation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux potables cas de la station de traitement Hammam Debagh -Guelma. Mémoire de master en Biologie. Université de 8 Mai 1945-Guelma. 91p.
- ✓ **Saoudi I, (2014) :** Contribution à l'étude hydrochimique de la nappe du Sénonien dans la région de Guerrara (Ghardaïa). Mémoire de Master en Hydrogéologie. Université Kasdi Merbah Ouargla. 44p.