

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

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR- ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

FACULTE : SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT DE GEOLOGIE
Laboratoire de Géodynamique et de Ressources Naturelles

Année: 2018

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD

DOMAINE: Sciences de la Terre et de l'Univers

FILIERE: Géologie

SPECIALITE: Hydrogéologie

Thème

**CARACTERISTIQUES HYDRO CHIMIQUES DES EAUX DE
L'OUED SEYBOUSE ET SES AFFLUENTS DANS LA REGION DE
GUELMA - QUANTIFICATION DU DEGRE DE LA POLLUTION**

Présenté par:
AISSAOUI Marwa

Dirigé par:
Pr BENHAMZA Moussa

Jury de soutenance:

Président : LARABA Abdelaziz
Directeur : BENHAMZA Moussa

Pr U.B.M Annaba
Pr U.B.M Annaba

Examineur: DJORFI Saadane
Examineur: ZENATI Noureddine
Examineur: SAYAD Lamine

Pr U.B.M Annaba
MCA U. Cherif Massaadia Souk Ahras
MCA U.B.M Annaba

Résumé

La qualité des eaux de l'Oued Seybouse est menacée par différents types de pollutions, vu les rejets domestiques de la ville de Guelma et les agglomérations avoisinantes, l'utilisation intensive des engrais et produits phytosanitaires dans l'agriculture et le développement des activités industrielles.

La présente étude a pour objectif de déterminer la qualité des eaux de l'Oued Seybouse et d'évaluer le degré de pollution engendré par les différents types de rejets.

L'échantillonnage des douze (12) points de prélèvement a été choisi près des agglomérations, des activités agricoles et industrielles, le long de l'oued Seybouse et ses principaux affluents. Les prélèvements ont été réalisés durant la période des hautes eaux (Avril 2017) et les analyses chimiques ont été réalisées au niveau du laboratoire Horizon (Annaba).

Les résultats des analyses ont montré que les eaux de la région présentent les faciès chimiques dominants le chlorurée calcique et le sulfaté sodique. Les eaux de la région sont caractérisées par une minéralisation très élevée, avec des concentrations supérieures aux normes recommandées par l'OMS et les Normes Algériennes.

Le rapport de la Biodégradabilité DCO/DBO₅, montre que la pollution des eaux de l'oued Seybouse est d'origine diverse, elle est d'origine agroalimentaire dans la partie amont de la zone d'étude, d'origine domestique dans la partie aval du côté de Bouchegouf et enfin d'origine industrielle dans la partie centrale, suite aux rejets de la ville de Guelma (rejets de la zone industrielle de la Cité des Frères Rahabi) et les rejets à Boumahra (Entreprise nationale du marbre).

L'indice de pollution organique au niveau de l'oued Seybouse varie de 1.75 (pollution très forte) à 2.5 (pollution forte), ceci nous permet de dire que dans la région d'étude est caractérisée par une pollution organique de type très forte à forte.

La pollution par les matières phosphorées touche l'ensemble des points de prélèvement. Le classement des eaux dans la très mauvaise qualité est dû principalement à la présence excessive d'ortho phosphates dans la zone d'étude, en raison des rejets domestiques et des activités agricoles au niveau du secteur du périmètre d'irrigation Guelma-Bouchegouf.

L'aptitude des eaux à l'irrigation de l'oued Seybouse montre que ses eaux appartiennent aux différentes classes admissible, médiocre et par endroits mauvaises pour l'irrigation.

Les valeurs du Cadmium dépassent la norme tolérée dans tous les points de prélèvements. Le manganèse dans certains points de prélèvement de la partie centrale de notre zone étude est caractérisé par de fortes valeurs. Les eaux de l'oued Seybouse sont d'une qualité mauvaise vis-à-vis du Cuivre et du Chrome.

L'analyse en composante principale (ACP) a permis de définir des zones de contamination homogènes. La contamination organique et métallique est marquée beaucoup plus au niveau de la partie centrale de la région d'étude Oued Skhoun et Oued Maiz, caractérisant les points de rejets non traités de la ville de Guelma et Belkheir.

Mots clés : Oued Seybouse, Guelma, Qualité, Normes, Pollution, ACP

Abstract

The water quality of the Seybouse River is threatened by various types of pollution, due to domestic discharges from the city of Guelma and neighbouring agglomerations, the intensive use of fertilizers and agrochemical products in agriculture and the development of industrial activities.

The purpose of this study is to determine the water quality of the Seybouse River and to evaluate the degree of pollution caused by the different types of discharges.

Sampling at twelve different collecting points was chosen near agglomerations, agricultural and industrial activities and along the Seybouse and its main tributaries to monitor the river's water quality. Samples were taken during high water period (April 2017). The chemical analyses were carried out at the Horizon laboratory (Annaba).

The results of the analyses showed that the dominant chemical facies of the region's waters are calcium chloride and sodium sulphate. The waters of the region are characterized by very high mineralization, with concentrations higher than the standards recommended by the WHO and the Algerian standards.

The COD/BOD₅ biodegradability report, shows that the pollution of the waters of the Seybouse is of diverse origin, it is of agri-food origin in the upstream part, of domestic origin in the downstream part near the town of Bouchegouf and finally of industrial origin in the central part of the study area, linked to the rejections of the city of Guelma (industrial waste from the industrial area Cityofbrothers Rahabi) and the rejections at Boumahra (National Company of Marble exploitation).

The index of organic pollution in the SeybouseRiver varies from 1.75 (very strong pollution) to 2.5 (strong pollution), this leads us to state that in our study area, there is a pollution dominance ranging from strong to very strong.

Phosphorus pollution appears to affect all sampling points. The classification of waters in the very poor quality category is mainly due to the excessive presence of orthophosphates in the study area, due to domestic discharges and agricultural activities in the area of the Guelma-Bouchegouf irrigation area.

The analysis of the suitability of the Seybouse waters for irrigation shows that the river waters belong to various classes, i.e.: *acceptable*, *mediocre* and in some places, *bad*, for irrigation.

Cadmium values exceed the tolerated standard in all sampling points.

Manganese in some sampling points in the central part of our study area is characterized by high values. The waters of the Seybouse are of poor quality in terms of copper and chrome.

Principal Component Analysis (PCA) has allowed to identify homogeneous areas of contamination. Organic and metallic contamination is markedly higher in the central part of the OuedSkhoun and OuedMaiz study area, corresponding to the release points of the cities of Guelma and Belkheir.

Key words: Seybouse, River, Guelma, Quality, Standards, Pollution,PCA

ملخص

شهدت منطقة قالمة خلال السنوات الأخيرة تدهورا في جودة مياه واد سيبوس ' نظرا للتطور الكبير الذي مس كل القطاعات و بالأخص الزراعي منها.

جاءت هذه الدراسة لتبين الغرض من تحديد جودة مياه واد سيبوس وتقييم درجة التلوث فيه ' من أجل ذلك قمنا بأخذ 12 عينة خلال شهر أبريل 2017 على طول واد سيبوس ' تم اختيارها بالقرب من التجمعات السكانية و مختلف الأنشطة الزراعية و الصناعية للمنطقة.

بينت نتائج التحاليل أن مياه المنطقة تتميز بالسحن الكيميائي السائد كلور الكالسيوم وكبريتات الصوديوم حيث وجدنا أن مياه المنطقة تميزت بالمعدنة العالية جداً ، مع تراكيز أعلى من معايير منظمة الصحة العالمية والمعايير الجزائرية .

يوضح تقرير التحلل الأحيائي DCO / DBO_5 أن تلوث مياه وادي سيبوس هو من أصل متنوع ، فهو ذو أصل غذائي في الجزء العلوي من واد سيبوس' ذو أصل زراعي منزلي بالقرب من بوشوقوف وأخيراً من أصل صناعي في الجزء المركزي من منطقة الدراسة

يتراوح مؤشر التلوث العضوي في وادي سيبوس من 1.75 (تلوث قوي جدا) إلى 2.5 (تلوثقوي)، مما يسمح لنا على القول أن هناك تلوث في المنطقة من النوع القوي إلى القوي جدا

التلوث بالمواد الفسفورية مس جميع نقاط العينات مما سمح لتصنيف المياه في نوعية رديئة للغاية دون نسيان وجود مفرط من الاختوفوسفات في منطقة الدراسة الناتجة ، بسبب التصريفات المنزلية والأنشطة الزراعية في محيط الري قالمة- بوشوقوف

توضح قدرة مياه الري في وادي سيبوس أن مياهه تنتمي إلى الطبقات المختلفة المقبولة والمتوسطة وفي أماكن سيئة للري. قيم الكادميوم قد تجاوزت المعيار المسموح به في جميع نقاط العينات.

المنغنيز في بعض نقاط أخذ العينات وخاصة الجزء المركزي من منطقة الدراسة تميز بتراكيز عالية. تتميز مياه واد سيبوس بجودة رديئة بالنسبة للكروم و النحاس

أدى تحليل المكون الرئيسي (ACP) من تحديد كل من المناطق الملوثة ' تواجدت عناصر التلوث العضوي بالمعدني أكثر في الجزء المركزي من منطقة الدراسة في وادي سخون ومنطقة وادي المعيز وهو ما يميز فضلات كل من مدينتي قالمة وبلخير.

الكلمات المفتاحية: واد سيبوس ' قالمة ' جودة ' معايير ' تلوث ' ACP

Remerciements

Je tiens à exprimer mes remerciements à tous ceux qui m'ont aidé pour la réalisation de ce travail. Que ceux que j'ai oubliés me pardonnent.

A mes Parents et mon Mari d'abord, à toute ma famille proches et amis pour leur soutien moral ;

A mon oncle Ouari Ahmed, Professeur à l'université de Badji Mokhtar- Annaba de m'avoir guidée au long de ces trois années ;

Monsieur le Professeur Benhamza Moussa, mon directeur de thèse, pour tous les efforts qu'il a fourni pour l'aboutissement de ce travail ;

Monsieur : Bellolou Laroussi, Professeur à l'université BADJI Mokhtar-Annaba qui a toujours manifesté sa disponibilité à aider, orienter et proposer le fruit de sa longue expérience et savoir faire ;

Madame Hadj Zoubir, Professeur à l'université Badji Mokhtar-Annaba, qui m'a fait également bénéficier de son expérience

Je tiens à souligner que j'ai bénéficié du soutien du directeur de laboratoire (LGRN), Monsieur le Professeur Chouabbi Abdelmadjid de l'université Badji Mokhtar -Annaba, durant la formation du 3^{ème} cycle ;

Je remercie vivement Messieurs les Professeurs et Maîtres de conférences qui ont accepté de faire partie du jury de soutenance:

Benhamza Moussa, Pr. à l'université Badji Mokhtar Annaba, Directeur de thèse

Laraba Abdelaziz, Pr. à l'Université Badji Mokhtar Annaba, Président de Jury

Djorfi Saadane, Pr. à l'Université Badji Mokhtar Annaba, examinateur

Sayad Lamine, Maitre de conférences (A), Université Badji Mokhtar Annaba, examinateur

Zenati Nouredine, Maitre de conférences (A), Université Souk Ahras, examinateur

Mes remerciements aux autres enseignants et personnels du département de Géologie pour le soutien moral, leurs conseils et orientation pendant toute la période de mon travail :

Monsieur Kamel Khanchoul, Pr à l'université de Badji Mokhtar - Annaba ;

Madame Sonia, Secrétaire de Direction du Département de Géologie, pour ses services et sa gentillesse avec nous.

Cette thèse n'aurait pu voir le jour sans les données qui m'ont été gracieusement fournies par les ingénieurs et responsables des différents services (ONA, ABH, Direction de L'environnement, D.R.E.W) et les responsables du barrage Hammam Debagh.

Je remercie notamment Mr Kamel Bahri, Gestionnaire du barrage de Hammam Debagh qui m'a facilité l'accès aux données météorologiques de la Station.

A toutes ces personnes, ma gratitude et mes remerciements les plus sincères.

Sommaire

Résumé

Abstract

ملخص

Remerciement

Liste des abréviations

CHAPITRE I : CADRE GENERALE

page

I. Situation de la zone d'étude	6
I.1. Situation Géographique	6
I.2. Situation Hydrographique	6
II. Contexte Socio-économique	8
II.1. Découpage administratif et population	8
II.2. Agriculture et production végétale	12
II.3. Industrie	14
II.4. Tourisme	14
II.5. Ressources en eau de la région d'étude	15
II.5.1. Ressource en eau de surface	15
II.5.1.1. L'apport de l'oued Seybouse	15
II.5.1.2. Barrages et Retenues collinaires	15
II.5.2. Eaux Souterraines	16
III. Géomorphologie	16
Conclusion	17

Chapitre II : Cadre Géologique de la zone d'étude

I. Introduction	20
II. Cadre Géologique régionale	20
III. Cadre géologique locale	20
III.1 Stratigraphie des différentes unités structurales	22
III.1.1. Le Primaire	22
III.1.2. Le Trias	22
III.1.3. Domaine para-autochtone	22
III. 1.3.1. Nappe néritique constantinoise	22
III. 1.3.1.1. A l'Est de Djebel Debar	23
III. 1.3.1.1.1. Les Dolomies noires	23
III. 1.3.1.1.2. Les Calcaires massifs Organo-détritiques	23
III. 1.3.1.1.3. Les niveaux siliceux	23
III.1.3.1.2. A Hammam Ouled Ali	23

III.1.3.1.3. Au Douar Bouzitoune-Heliopolis	23
III.1.3.1.4. A la station Nador	24
III.1.4. Le Domaine Allochtone	24
III.1.4.1. Nappe tellienne	24
III.1.4.1.1. La nappe ultra-tellienne	24
III.1.4.1.1.1. La nappe ultra-tellienne du Djebel Haouara	24
III.1.4.1.1.2. La nappe ultra-tellienne de Djebel bouSbaa	24
III.1.4.1.2. Les unités telliennes sensu stricto (s.s)	24
III.1.4.1.3. La nappe tellienne de Hammam Ouled Ali	24
III.1.4.1.4. La nappe tellienne de la région de Ras El Agba-SellaouaAnnouna	25
III.1.4.2. La nappe des Flyschs	27
III.1.4.2.1. Les Flyschs de Penthièvre	27
III.1.4.2.2. Les Flyschs à micro brèches rousses	27
III.1.4.2.3. Les Flyschs de type Guerouche	27
III.1.4.3. La nappe numidienne	27
III.1.5. Les formations du Mio-Pliocène	27
III.1.6. Les formations récentes du Quaternaire	28
III.2. Cadre structurale	28
III.2.1. Phase fini-éocène (atlasique)	28
III.2.2. Phase miocène inférieure	28
III.2.3. Phase tectonique post-nappe	29
III.3. Reconstitution paléogéographique	29
Conclusion	30

Chapitre III : Cadre Hydro-climatologique

I-Introduction	33
I.1. Stations de mesures	33
II. Facteurs Climatiques	34
II.1. la Pluviométrie	34
II.1.1. Précipitations Moyennes Mensuelles	34
II.1.2. Précipitations saisonnières	35
II.1.3. Précipitations moyennes annuelles	36
II.1.3.1. Coefficient pluviométrique	38
II.2. Température	40
III. Classification climatique en fonction des indices de l'aridité	41
III.1. Indice de l'aridité de De Martonne	41
III.1.1. Indice d'aridité annuel	41
III.1.2. Indice d'aridité mensuel	42
III.2. Diagramme pluviométrique de Gaussen (P=2T) (courbe ombrothermique)	43
IV. Estimation des paramètres du Bilan Hydrique	45
IV.1. Evapotranspiration	45
IV.1.1. Evapotranspiration réelle	46
IV.1.2. Evapotranspiration potentielle	47
IV.2. Estimation du Ruissellement	51
IV.3. Estimation de l'infiltration	52
Conclusion	53

Chapitre IV : Hydrogéologie

I. Introduction	55
II. Identification des aquifères	55
II.1. les nappes de la plaine de Guelma	56
II.1.1 l'aquifère des alluvions Mio-Plio Quaternaire de Guelma	56
II.1.2. la nappe de Hammam Bradaa	60
II.2. Nappes de la plaine de Bouchegouf	61
III. Piézométrie	63
III.1. Carte Piézométrique	63
III.2. piézométrie de l'aquifère alluvionnaire de Guelma	63
Conclusion	65

Chapitre V : Hydrochimie

Partie I	
Types de pollutions des eaux dans la région d'étude	
I. Introduction	68
II. Pollution des eaux	68
II.1. Différents types de pollution	68
II.1.1 Types de pollutions dans la région d'étude	69
II.1.1.1. Pollution d'origine urbaine et domestique	69
II.1.1.2. Pollution d'origine agricole	74
II.1.1.2.1. Présentation du Périmètre d'irrigation Guelma-Bouchegouf	74
II.1.1.2.2. Pollution d'origine agricole	75
II.1.1.3. Pollution d'origine industrielle	76
Partie 2	
Distribution et interprétation des résultats des analyses chimiques des eaux de l'Oued Seybouse et ses affluents	
I. Introduction	81
II. Matériels et Méthodes	81
II.1. Inventaire des points de prélèvement	81
II.2. Matériels et Méthodes d'analyses	84
III. Résultats et discussion	84
III.1. Distribution spatial des paramètres physico-chimiques	85
III.1.1 paramètres physico-chimique (mesure in situ)	85
III.1.1.1. Température	85
III.1.1.2. Potentiel d'hydrogène	85
III.1.1.3. Conductivité électrique CE	86
III.1.1.4. Total des sels Dissous (TDS)	88
III.1.1.5. Turbidité	89
III.1.1.6. Oxygène dissous	90
III.1.2. Paramètres physico-chimiques mesurés au laboratoire	91
III.1.2.1. les éléments majeurs	91

III.1.2.1.1. Silice (SiO ₂ ⁻)	91
III.1.2.1.2. Sodium	91
III.1.2.1.3. Potassium	92
III.1.2.1.4. Calcium	93
III.1.2.1.5. Magnésium	93
III.1.2.1.6. Chlorures	94
III.1.2.1.7. Bicarbonates	95
III.1.2.1.8. Sulfates	95
III.1.2.2. Les éléments de pollution	96
III.1.2.2.1. Les matières en suspension	96
III.1.2.2.2. Demande Chimique en Oxygène	97
III.1.2.2.3. Demande Biochimique en Oxygène (DBO ₅)	97
III.1.2.2. Eléments nutritifs	98
III.1.2.3.1. Les Nitrates	98
III.1.2.3.2. Nitrites NO ₂ ⁻ ou Azote nitreux	99
III.1.2.3.3. Ammonium NH ₄ ⁺	100
III.1.2.3.4. Ortho phosphates (PO ₄ ³⁻)	100
III.2. Distribution spatial des éléments traces métalliques	101
III.2.1. Origine des ETM	101
III.2.2 Le plomb	101
III.2.2.1 Impacts du Plomb sur la santé et l'environnement	102
III.2.2.1.1. Sur la santé	102
III.2.2.1.2. sur l'environnement	102
III.2.3. Le Fer	102
III.2.3.1 Impact du Fer sur la santé et l'Environnement	103
III.2.3.1.1. Sur la santé	103
III.2.3.1.2. Sur l'environnement	103
III.2.4. Le cuivre	103
III.2.4.1. Impacts du Cuivre sur la santé et l'Environnement	104
III.2.4.1.1. Sur la santé	104
III.2.4.1.2. Sur l'environnement	104
III.2.5. Le Manganèse	104
III.2.5.1. Impacts du Manganèse sur la santé et l'environnement	105
III.2.5.1.1. Sur la santé	105
III.2.5.1.2. Sur l'environnement	105
III.2.6. Le chrome	106
III-2.6.1. Impacts du Chrome sur la santé et l'Environnement	106
III.2.6.1.1. Sur la santé	106
III.2.6.1.2. Sur l'environnement	106
III.2.7. Le Nickel	107
III.2.7.1. Impacts du Nickel sur la santé et l'Environnement	107
III.2.7.1.1. Sur la santé	107
III.2.7.1.2. Sur l'environnement	108
III.2.8. Le Cadmium	108
III.2.8.1 Impacts du Cadmium sur la santé et l'Environnement	109
III.2.8.1.1. Sur la santé	109
III.2.8.1.2. Sur l'environnement	109

Partie 3	
Evaluation de la qualité des eaux de l'Oued Seybouse et ses affluents	
I. Classification chimique des eaux	111
II.1. Formules ioniques et faciès chimiques	111
II.2. Représentation graphique des Faciès Chimiques	112
II.2.1. Classification des eaux d'après le diagramme de Piper	112
II.2.2. Diagramme de Stabler	113
Estimation de la qualité des eaux d'irrigation dans la région d'étude	114
III.1. Normes et recommandation	114
III.1.1 La réglementation	114
III.1.1.1 Recommandations de l'USEPA	115
III.1.1.2. Directives de la FAO	115
III.1.1.3. Normes Algériennes JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°41	117
III.2 Interprétation des résultats	117
III.2.1. Paramètres Physiques	117
III.2.1.1 Potentiel d'Hydrogène	117
III.2.1.2. Conductivité, TDS, et Salinité	118
III.2.1.3.Matière en Suspension	118
III.2.2. Paramètres chimiques	118
III.2.2.1.Chlorures	118
III.2.2.2. Bicarbonates	119
III.2.3.Eléments toxiques	119
III.2.3.1.Le Fer et le Plomb	119
III.2.3.2.Manganèse et Cuivre	119
III.2.3.3.Cadmium et Nickel	120
III.2.3.4.Chrome	121
III.3. Aptitude des eaux de l'oued Seybouse à l'irrigation	121
III.3.1. Risque de Salinité	121
III.3.2.Risque de Sodium	122
III.3.3.Risque des Bicarbonates	122
III.4. Le sodium adsorption ratio (SAR), le pourcentage de sodium (NA%)	123
III.4.1.Classification de richards	123
III.4.2.Classification de Wilcox	123
III.5. Interprétation des Résultats	126
IV. Biodégradabilité	127
V. Etude de l'Indice de la pollution organique (IPO)	128
V.1. Définition	128
V.2. Evaluation de la pollution organique	128
V.2.1. Indice de pollution organique (IPO, Leclercq & Maquet, 1987)	129
V.3. Évolution de la pollution organique et pouvoir auto-épuration de l'oued Seybouse	129
V.3.1. Représentation graphique de l'indice de pollution organique	130
V.4. Discussion des résultats	131
VI. Classification de la qualité des eaux superficielles selon l'ANRH	132
VI.1. Discussion et Cartographie des résultats	133
VI.1.I Matière minérale	133

VI.1.2.Matières organiques et oxydables	135
VI.1.3.Matière Azotées	137
VI.1.4.Matières phosphorées	139
VI.1.5. Éléments trace métalliques	139
VII. Application de l'Analyse Composante Principale (A.C.P)	141
VII.1. Introduction	141
VII.2. Application de l'ACP	141
VII.2.1. Statistiques élémentaires	142
VII.2.2. Matrice de corrélation	142
VII.2.3. Diagonalisation et vecteurs propres	146
VII.2.4. Etude des variables	146
VII.2.4.1. Représentation des variables : cercles de corrélation	146
VII.2.4.2. Interprétation des résultats	148
VII.2.5.1. Représentation des individus	149
VII.2.5.2. Interprétation des résultats	150
Conclusion	151
Conclusion générale	153
Références bibliographiques	156

Liste des Tableaux

Tableau 1. Découpage administratif et superficies des Dairas de la wilaya de Guelma	9
Tableau 2. Répartition de la population par Daira (année 2008, 2009, 2010 et 2011)	10
Tableau 3. Population par Commune et par Daira (situation 31/12/2011)	10
Tableau 4. Type de culture, superficies agricoles et surfaces irriguées en 2009(DSA, 2012)	13
Tableau 5. Retenues collinaires	16
Tableau 6. Répartition des capacités d'eau souterraine par type	16
Tableau 7. Caractéristiques des stations météorologiques	33
Tableau 8. Précipitations moyennes mensuelles en (mm) « 1996-2016 »	34
Tableau 9. Variation des précipitations saisonnière	36
Tableau 10. Coefficients pluviométriques des stations (1996-2016)	39
Tableau 11. Température moyenne mensuelle (C°)	40
Tableau 12. Type de climat selon la valeur de l'indice de DE Martonne :	41
Tableau 13. Tableau 13 : Indice annuel d'aridité (A)	42
Tableau 14. Tableau 14 : Indices d'aridité mensuels (IDM)	43
Tableau 15. Résultats de l'ETR par la méthode de Turc	46
Tableau 16. Comparaison de l'ETR selon turc et thornthwaite	47
Tableau 17. Bilan hydrique selon Thornthwaite - Station de Belkheir (1996/97-2015/16)	48
Tableau 18. Tableau 18 : Bilan hydrique selon Thornthwaite. Station de H.Debagh (1996/97-2015/16)	49
Tableau 19. Tableau 19: Bilan hydrique selon Thornthwaite. Station de Bouchegouf (1996/97-2015/16)	50
Tableau 20. Paramètres du bilan hydrique dans la zone d'étude (mm) (1996-2016)	51
Tableau 21. Ruissellement selon la formule de Tixiront-Berkaloff	52
Tableau 22. Répartition des lames d'eau dans la zone d'étude	52
Tableau 23. Description Hydrogéologique des formations de la plaine de Guelma	57
Tableau 24. Réseau d'assainissement de la région d'étude (Source : DHW Guelma 2007)	71
Tableau 25. Récapitulatif des infrastructures de l'assainissement par commune	72
Tableau 26. Désignation des décharges sauvages dans la zone d'étude	73
Tableau 27. Superficies des secteurs irrigués et leurs besoins en eau	75
Tableau 28. Types et quantités de fertilisants utilisés dans la wilaya de Guelma durant la Campagne (2005-2006). (Mouchara, 2007 et Kachi N., 2015)	75
Tableau 29. Principaux engrais utilisés dans le périmètre Guelma-Boumahra (Kachi N., 2015)	76
Tableau 30. Pourcentage des établissements dans les zones industrielles ou d'activités (Direction de l'environnement, 2018)	77
Tableau 31. Désignation des installations classées dans la région de Guelma et leurs milieux récepteurs (Direction de l'environnement Guelma, 2016)	77
Tableau 32 : Localisation des points de prélèvements	81
Tableau 33. Echelle du Potentiel d'Hydrogène	86
Tableau 34. Relation : Conductivités – Minéralisation des eaux de surfaces	87
Tableau 35. Tableau 35 : Grille de classement des TDS dans les eaux	88
Tableau 36. Formules ioniques et faciès chimiques	111

Tableau 37. Directive pour l'interprétation de la qualité des eaux d'irrigation d'après la FAO (Ayers and Westcot, 1994)	115
Tableau 38. Concentrations maximales des éléments traces recommandées pour les eaux d'irrigation (Pescod, 1992; Ayers and Westcot, 1994)	116
Tableau 39. Paramètres physico chimiques (journal officiel de république algérienne) Du 15 juillet 2012	117
Tableau 40 : Classe de salinité selon Richards (Faby et al, 2000)	122
Tableau 41. Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR	124
Tableau 42. Résultats du rapport (DCO/DBO ₅)	127
Tableau 43. Grille de qualité IPO	129
Tableau 44. Grille du degré d'indice de pollution organique	129
Tableau 45. Valeurs des indices et classes de la pollution organique	130
Tableau 46. Grille utilisée pour signaler les problèmes des matières minérales et organiques	132
Tableau 47. Grille utilisée pour signaler les problèmes du Phosphore	132
Tableau 48. Grille utilisée pour signaler les problèmes de l'azote	133
Tableau 49. Grille utilisée pour signaler les problèmes des éléments toxiques et indésirables	133
Tableau 50. Grille utilisée pour signaler les problèmes des éléments toxiques et indésirables	142
Tableau 51. Statistiques élémentaires des variables	144
Tableau 52. Matrice de corrélation	145
Tableau 53. Tableau de diagonalisation	146
Tableau 54. Corrélation des variables avec les axes	148
Tableau 55. Corrélation des individus avec les axes	148

Liste des Figures

Figure 1. Situation géographique de la zone d'étude	8
Figure 2. Réseau Hydrographique de la zone d'étude	8
Figure 3. Carte de répartition des populations 2011	11
Figure 4. Esquisse structurale de la région de Guelma. (In Villa 1971, modifiée par Aissaoui 2018)	21
Figure 5. Coupe des différentes unités telliennes entre Bensmih et Bardou (Nouar, 2007 modifiée)	22 26
Figure 6. Plan de position et coupures stratigraphiques des séries néritiques constantinoises (Vila, 1980)	27
Figure 7. Localisation des stations pluviométriques	34
Figure 8. Variation des précipitations moyennes mensuelles	35
Figure 9. Répartition saisonnière des précipitations	36
Figure 10. Précipitations moyennes annuelles de la station de Belkheir	37
Figure 11. Précipitations moyennes annuelles de la station de Barrage H. Debagh	37
Figure 12. Précipitations moyennes annuelles de la station de Bouchegouf	37
Figure 13. Représentation du coefficient pluviométrique dans les trois stations	39
Figure 14. Température moyenne mensuelle dans les trois stations	40
Figure 15. Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne	42
Figure 16. Courbe ombrothermique : Station du Barrage H. Debagh	44
Figure 17. Courbe ombrothermique – Station de Belkheir	44
Figure 18. Courbe ombrothermique – Station de Bouchegouf	45
Figure 19. Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite - Station de Belkheir (1996/97- 2015/16)	48
Figure 20. Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite - Station de H. Debagh (1996/97- 2015/16)	49
Figure 21. Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite - Station de Bouchegouf (1996/97- 2015/16)	50
Figure 22. Esquisse des zones hydrogéologiques versant de la Seybouse (D'après Ghachi, 1982, modifiée)	56
Figure 23. Coupe hydrogéologique au niveau de la plaine de Guelma (d'après B. Gaud, 1974)	58
Figure 24. Coupe hydrogéologique Nord-Sud dans la plaine de Guelma (D'après Brahmia, 2009, modifiée par Béchiri)	59
Figure 25. Coupe hydrogéologique Ouest-est (Nappe Hammam Bradâa) (D'après Brahmia, 2009. modifiée)	60
Figure 26. Coupe schématique illustrant la limitation de la zone non saturée et la zone saturée dans la plaine de Bouchegouf (Chaoui, 2008)	61
Figure 27. Coupe hydrogéologique N° 4 dans la région de Bouchegouf	62
Figure 28. Carte piézométrique de l'aquifère alluvionnaire de Guelma (avril/2009)	63
Figure 29. Représentation schématique des différents types de rejets et de pollution (Edwards et al., 2000 in Chaguer, 2013)	69
Figure 30. Carte de situation du périmètre irrigué Guelma- Bouchegouf	74
Figure 31. Carte de désignation des différentes sources de dans la zone d'étude	79
Figure 32. Carte de situation des points de prélèvements	82

Figure 33. Carte de Spécification des points de prélèvements	83
Figure 34. Evolution de la température des eaux de surfaces de la zone d'étude	85
Figure 35. Evolution du potentiel d'Hydrogène des eaux de surfaces de la zone d'étude	86
Figure 36. Evolution de la conductivité électrique des eaux de surfaces de la zone d'étude	88
Figure 37. Evolution de la TDS dans les eaux de surfaces de la zone d'étude	89
Figure 38. Evolution de la Turbidité dans les eaux de surfaces de la zone d'étude	90
Figure 39. Evolution de l'Oxygène dissous des eaux de surfaces de la zone d'étude	90
Figure 40. Evolution du Sodium dans les eaux de surfaces de la zone d'étude	91
Figure 41. Evolution du Potassium dans les eaux de surfaces de la zone d'étude	92
Figure 42. Evolution du Calcium dans les eaux de surfaces de la zone d'étude	92
Figure 43. Evolution du Calcium dans les eaux de surfaces de la zone d'étude	93
Figure 44. Evolution du Magnésium dans les eaux de surfaces de la zone d'étude	94
Figure 45. Evolution des chlorures dans les eaux de surfaces de la zone d'étude	94
Figure 46. Evolution des Bicarbonates dans les eaux de surfaces de la zone d'étude	95
Figure 47. Evolution des Sulfates dans les eaux de surfaces de la zone d'étude	96
Figure 48. Variation des valeurs de la MES	96
Figure 49. Variation des valeurs de la DCO	97
Figure 50. Fig. N° 51 : Variation des valeurs de la DBO ₅	98
Figure 51. Variation des Nitrates dans les eaux de la région d'étude	99
Figure 52. Variation des valeurs en Nitrites	99
Figure 53. Variation des valeurs de l'Ammonium	100
Figure 54. Variation des valeurs en Orthophosphates	101
Figure 55. variation des concentrations de Plomb dans la zone d'étude	102
Figure 56. variation des concentrations en Fer dans la zone d'étude	103
Figure 57. variation des concentrations de cuivre dans la zone d'étude	104
Figure 58. Variation des concentrations en Manganèse dans la zone d'étude	105
Figure 59. variation des concentrations de Chrome dans la zone d'étude	106
Figure 60. variation des concentrations de Nickel dans la zone d'étude	107
Figure 61. variation des concentrations de Cadmium dans la zone d'étude	108
Figure 62. Représentation des résultats des analyses chimiques sur le Diagramme de Piper	113
Figure 63. Représentation graphique des faciès chimiques selon le diagramme de Stabler	114
Figure 64. Classification des eaux d'irrigation de la zone d'étude d'après le diagramme de Richards	125
Figure 65. Classification des eaux d'irrigation d'après le diagramme de Wilcox	126
Figure 66. Représentation du rapport de la Biodégradabilité	128
Figure 67. Carte de la qualité des eaux de l'Oued Seybouse	130
Figure 68. Carte de qualité Minérale des eaux de l'Oued Seybouse	134
Figure 69. Carte de qualité Organique des eaux de l'Oued Seybouse	136

Figure 70. Carte de qualité des éléments de l'Azote dans les eaux de l'oued Seybouse	138
Figure 71. Carte de qualité des Ortho phosphates des eaux de l'oued Seybouse	138
Figure 72. Carte de qualité des éléments traces métalliques des eaux de l'oued Seybouse	139
Figure 73. Valeurs propres	140
Figure 74. Projection des variables selon le plan (F1-F2)	145
Figure 75. Projection des variables selon le plan (F1-F3)	147
Figure 76. Projection des individus selon le plan (F1-F2)	149
Figure 77. Projection des individus selon le plan (F1-F3)	149

LISTE DES ABREVIATIONS

ABH :	Agence des Bassins Hydrographiques
SAU :	Superficie agricole utile
DSA :	Direction des services agricoles
DHW :	Direction hydraulique de wilaya
Sogréah :	Société française d'ingénierie
AEP :	Alimentation en eau potable
P :	Précipitations
T :	Température
ETP :	Evapotranspiration Potentielle
ETR :	Evapotranspiration Réelle
BH :	Bilan Hydrique
DA :	Déficit Agricole
R :	Ruissellement
I :	Infiltration
SR :	Station de relevage
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
FAO :	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
SIG :	Système Information géographique
ONA :	Office Nationale d'assainissement

INTRODUCTION GENERALE

En Algérie, la qualité des eaux superficielles se trouve menacée par plusieurs facteurs comme l'urbanisme anarchique, l'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et pesticides, les protections contre les crues, les décharges publiques, les loisirs et les rejets d'eaux résiduaires, ces dernières sont aussi responsables à détérioration des milieux aquatiques récepteurs et le déséquilibre de l'écosystème, c'est pour cela l'Algérie à élaboré en 1989 deux lois très importantes qui sont : la loi relative à la protection de l'environnement N° 83-03 qui traite spécifiquement de la protection contre la pollution de l'eau et la loi N°83-17 (sous le code des eaux). Ce code fut révisé modifié et complété en 1996 aux termes de la loi N° 96-13 (Journal, 1983).

La wilaya de Guelma, région à vocation essentiellement agricole a connu ces dernières années un important essor industriel. L'intensité agricole avec l'entrée en activité du périmètre irrigué Guelma – Bouchegouf a engendré une forte pollution des eaux de surfaces et souterraines.

Le bassin versant de la Moyenne Seybouse, où se localise notre région d'étude, n'échappe pas au fléau de la pollution, l'Oued Seybouse, 2^{ème} principal cours d'eau en Algérie après l'Oued Cheliff, s'étend vers le Sud sur une distance de 160 km jusqu'aux confins de l'atlas Saharien. Il résulte de la confluence de deux Oueds qui sont l'oued Charef et l'oued Bouhamdane. Cette ressource en eau a engendré un sérieux problème de pollution suite aux activités agricoles (utilisation des produits phytosanitaires dans l'agriculture), la croissance des agglomérations riveraines et le développement du secteur industriel.

Les rejets liquides d'origine domestiques et industriels générés par la ville de Guelma, des Communes de Medjez Amar, El Fedjoudj, Heliopolis, Belkheir, Boumahra et Bouchegouf, sont déversés directement dans l'oued Seybouse d'une façon précaire et sans traitement préalable, à l'exception de ($\frac{3}{4}$) des rejets de la ville de Guelma qui se déversent dans l'Oued Skhoun et l'Oued Maiz, qui sont collectés et épurés par la station d'épuration de Guelma. Le reste des rejets qui représente le quart ($\frac{1}{4}$) des rejets de la ville ne sont pas encore raccordés à la station de relevage N° 2 et par conséquent à la STEP.

Le périmètre irrigué Guelma-Bouchegouf est situé dans le Nord-est du pays, il s'étend sur environ 80 Km, de la confluence de l'oued Bouhamdane et de l'oued Cherf (wilaya de

Guelma) qui donnent naissance à l'oued Seybouse, jusqu'au Nord de la commune de Dréan (wilaya d'El Taref).

Étalé sur les deux rives de l'Oued Seybouse, ce périmètre irrigué est divisé en cinq secteurs de distribution autonomes, caractérisés par un plan d'aménagement et de desserte en eau totalement indépendant l'un de l'autre, ce qui leur donne un cadre spatial particulier.

Il a été mis en service en 1996, avec une superficie totale irrigable de 9250 ha.

Il est alimenté par le barrage de Bouhamdane et l'Oued Seybouse qui draine toutes les eaux usées qui augmentent sa charge polluante.

La région de Guelma connaît une intensification des pratiques agricoles, qui a un effet positif sur les rendements agricoles, mais l'utilisation intensive des pesticides va dégrader la qualité des eaux et des sols.

La présente étude concerne l'évaluation de la qualité physico-chimique et organique des eaux de surfaces de l'Oued Seybouse et ses affluents.

L'étude de la biodégradabilité a permis l'estimation de la matière organique oxydable présente dans l'oued Seybouse et ses affluents. Le calcul du rapport DCO/DBO₅ a permis de donner l'origine et le degré de pollution des effluents de la région d'étude.

En effet l'amont et l'aval de la zone d'étude présentent une pollution d'origine agricole et domestique, tandis que la région centrale de la zone d'étude présente en plus de ces deux types de pollution, un autre type de pollution d'origine industrielle.

Objectifs de la thèse :

Les principaux objectifs de la thèse sont :

- Déterminer les principaux types de la pollution dans les eaux de surfaces de la région d'étude.
- Evaluer la qualité des eaux de l'Oued Seybouse et ses affluents,
- Quantification du degré de la pollution des eaux de l'Oued Seybouse
- Application des logiciels aux résultats des analyses chimiques, pour visualiser la cartographie hydro chimique.
- Application de la méthode statistique : Analyse en composante principale, aux résultats des analyses chimiques, dans le but de visualiser l'évolution de la pollution, dans les différents points analysés.

Organisation de la thèse

Cette thèse est structurée en cinq parties, avec une introduction et une conclusion générale :

La première partie présente une synthèse physico-géographique, comprenant une situation géographique, hydrographique et socio-économique de la région de Guelma.

La seconde partie est consacrée à une synthèse géologique de la région, en se basant sur une synthèse des travaux réalisés des études antérieures.

La troisième et la quatrième partie ont été consacrées à une étude hydro climatique et Hydro géologique dans la région, permettant ainsi la caractérisation des principaux facteurs naturels intervenant dans l'alimentation en eau et dans l'écoulement des eaux superficielles et souterraines.

La dernière partie, partie principale de la présente thèse de doctorat, a porté sur l'évaluation de la qualité des eaux de l'Oued Seybouse dans la région.

Après une synthèse des travaux réalisés ces dernières années dans le contexte de la qualité des eaux de l'oued Seybouse. L'état Algérien, par le biais des directions de l'environnement s'est intéressé à cet oued, plusieurs études ont été réalisées, pour la détermination de la qualité et l'état de la pollution de ces eaux. On a fait une synthèse détaillée des types de pollution pouvant être engendrées dans les eaux de cet oued.

La méthode de l'indice de pollution organique IPO établi par Leclercq & Maquet a permis de conclure que les eaux de l'oued seybouse et ses affluents présentent une dominance de la pollution forte suivie par une pollution très forte, vis-à-vis de la DBO_5 , NH_4^+ , NO_2^- et PO_4^{3-}

La classification des eaux par le degré d'aptitude à l'irrigation et le Diagramme de Richards ont montré que les eaux de la région d'étude sont classées en deux qualités :

- Des eaux appartenant à une catégorie convenant à l'irrigation des cultures tolérantes en sels sur des sols bien drainés, cependant l'évolution de la salinité du sol irrigué doit être contrôlée.
- Des eaux appartenant à une classification médiocre, elles sont considérées comme fortement minéralisées et pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces tolérantes au sel et sur des sols lessivés.

Selon la classification des eaux par la méthode de Wilcox, les résultats montrent que les eaux de l'oued Seybouse appartiennent à trois classes suivantes: Bonne, Médiocre et Mauvaise.

Vis-à-vis des éléments traces métalliques, selon les normes de la Grille utilisée pour signaler les problèmes des éléments traces métallique, le Fer se caractérise par une qualité excellente à moyenne, contrairement les valeurs du Cd qui dépassent la norme toléré dans tous les points de prélèvements et appartiennent à la dernière classe (pollution importante).

Le Mn dans certains points de prélèvements de la partie centrale de notre zone étude se caractérise par des fortes teneurs, correspondant à la classe mauvaise a très mauvaise et inacceptable au niveau de Oued Maiz.

Les eaux de l'oued Seybouse sont d'une qualité mauvaise vis-à-vis du Cu et moyenne vis-à-vis du Cr.

CHAPITRE I

CADRE GENERAL

I. Situation de la zone d'étude

I.1. Situation géographique

Sur le plan administratif, La wilaya de Guelma se situe à 116 km à l'est de Constantine, à 65 km au sud-ouest d'Annaba, à 77 km à l'Ouest de Souk Ahras et à 537 km à l'est d'Alger. Elle culmine à la côte de 290 m et recouvre une superficie de 4101 km² (A.B.H, 2005), la région occupe une position médiane entre le Nord du pays, les Hauts plateaux et le Sud. (Fig. N° 1)

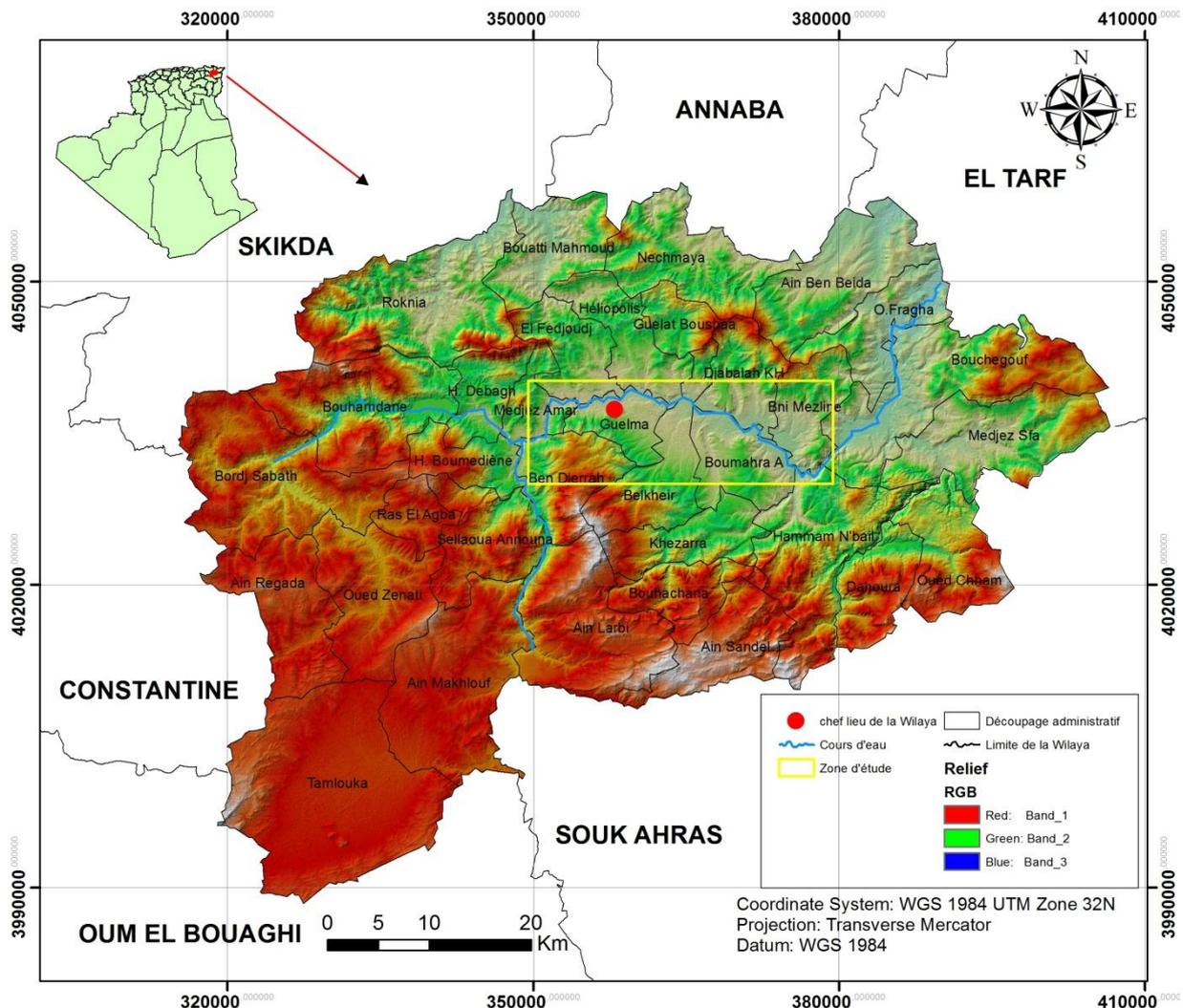


Fig. N° 1: Situation géographique de la zone d'étude (Aissaoui, 2018)

I.2. Situation hydrographique

La région de Guelma appartient au bassin versant de la Seybouse, qui constitue l'un des principaux collecteurs des eaux de pluie qui tombent sur les régions de l'extrême Nord Est Algérien. Elle est située au Nord de l'Atlas Tellien, domaine à vocation agricole, et se caractérise par un relief fort et contrasté à pentes fortement inclinées.

Selon la nouvelle structuration des unités hydrologiques en Algérie, le bassin versant de la moyenne Seybouse appartient à l'ensemble du côtier Constantinois.

Le bassin de la Seybouse est divisé en trois (03) parties (la haute Seybouse, la moyenne Seybouse et la basse Seybouse).

La situation Hydrographique de la zone d'étude fait partie de la moyenne Seybouse (si on fait abstraction du dernier point de prélèvement (S12), situé au niveau de l'Oued Seybouse et qui se situe dans le bassin versant de la basse Seybouse). (Fig. N° 2)

Le bassin de la moyenne Seybouse est une région montagneuse formée d'une chaîne imposante, au relief accidenté, c'est l'Atlas tellien, il est constitué de quatre (04) sous bassins qui sont :

- Le Sous bassin du bas de Charef (Code 14-02)
- Le Sous bassin de Bouhamdane (Code 14-03)
- Le Sous bassin de Guelma. (Code 14-04)
- Le Sous bassin de Mellah. (Code 14-05)

Le bassin versant de la Seybouse s'étend sur une longueur de 240 km. Il touche près de 86 communes sur 7 wilayas de l'Est du pays : Annaba, El Tarf, Skikda, Oum El Bouaghi, Constantine, Souk Ahras et Guelma. Avec un réseau hydrographique, constitué principalement de l'oued Seybouse et de ses affluents et draine une superficie de 6471 km², ce dernier prend naissance dans les hautes plaines de Haracta et de Sellaoua et se déverse dans la méditerranée à l'Est de la ville d'Annaba. Il est formé par la confluence des oueds Cherf et Bouhamdane au niveau de Medjez Amar et il reçoit deux autres affluents d'importance inégale : l'Oued Maleh et l'Oued Ressoul. (A.B.H., 2005)

Les principaux cours d'eau qui constituent le réseau hydrographique du bassin sont :

L'Oued Seybouse (57,15 km, second Oued d'Algérie après l'Oued Chélif), il présente l'axe de drainage du bassin versant. Il a un apport annuel de 408 Hm³/An à la station de Boudaroua et prend naissance dans les hautes plaines de Haracta, Ain Abid et Sedrata et se jette dans la Méditerranée après un parcours de 160 km (Debbieche, 2002). Son débit non régulier varie de 0 à 100 m³/S, mais peut atteindre des valeurs de 630 m³/S (observées le 01/01/1985, selon l'Agence Nationale des Ressources Hydriques d'Annaba). Ses principaux affluents sont:

- L'oued Bouhamdane (45,37km), constitué des oueds Sabath et oued Zénati, apporte 96 Hm³/An à la station de Medjez Amar II (point de confluence avec l'oued Cherf).
- L'oued Cherf (36,46 km), au Sud-ouest, apporte 107 Hm³/An à la station de Medjez Amar I.
- L'Oued Mellah au Sud-est avec un apport de 151 Hm³/An à la station de Bouchegouf.

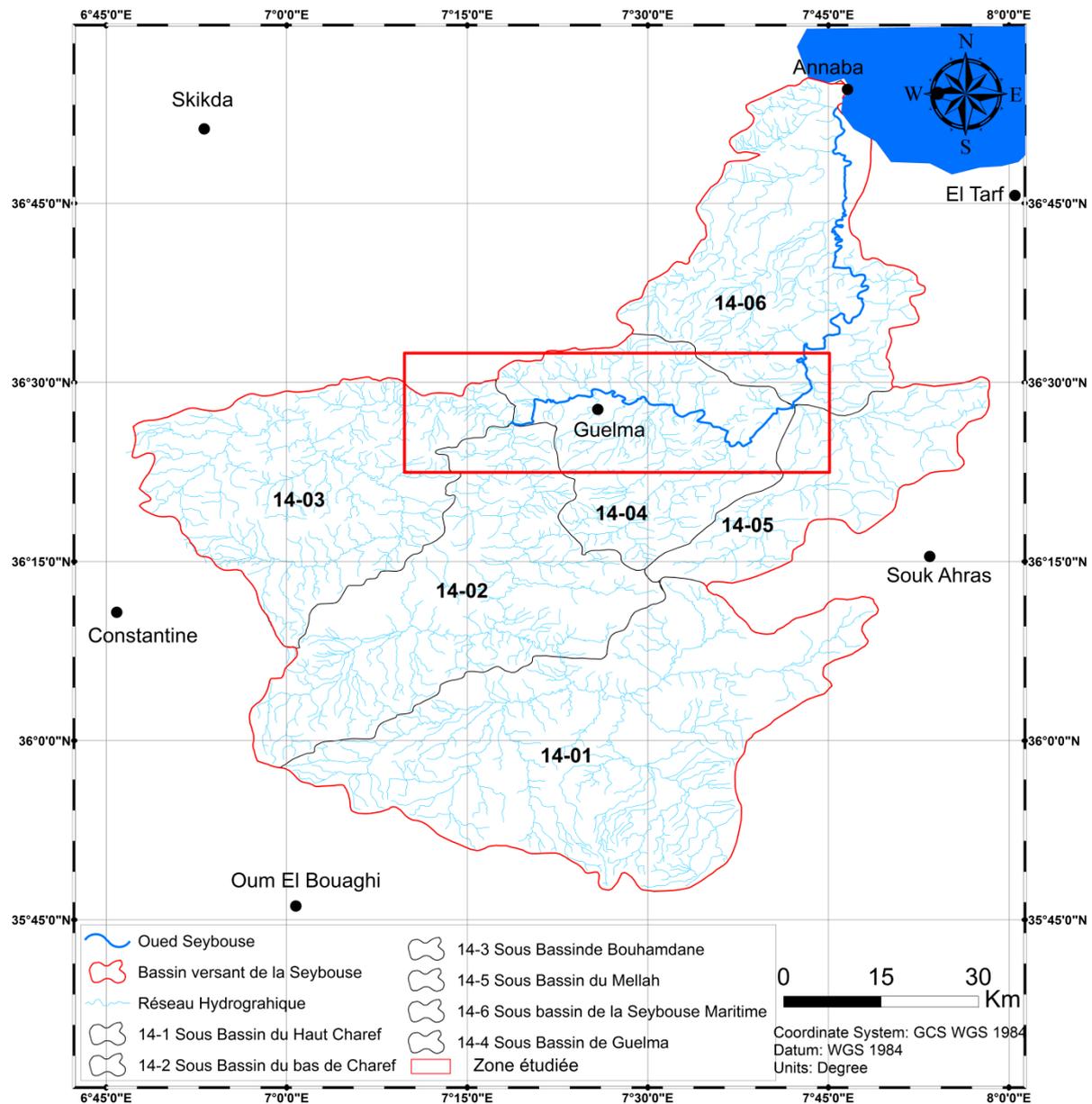


Fig. N° 2: Réseau Hydrographique de la zone d'étude (Aissaoui, 2018)

II. Contexte socio-économique

II.1. Découpage administratif et population

Le territoire de la Wilaya de Guelma comprend actuellement 34 communes qui constituent les unités territoriales et 10 Dairas après le découpage administratif de 1990 dont 04 Daïras créent nouvellement : Héliopolis, Ain-Makhlouf, Ain-Hessainia (Houari Boumediene) et Hammam N'bails. (Tableau 1)

Il est à remarquer que ce découpage fait ressortir des communes d'un niveau intermédiaire d'urbanisation, des communes semi Urbaines et des communes rurales.

Tableau 1 : Découpage administratif et superficies des Dairas de la wilaya de Guelma (ONA, 2017)

Dairas	Communes	Superficie (km ²)	Observations
Guelma	Guelma	45,00	Urbaine
	Ben Djerrah	79.37	Rurale
Guelaât Bou Sbaâ	Guelaât Bou Sbaâ	36,25	Semi urbaine
	Boumahra Ahmed	71.25	Urbaine
	Beni Mezline	63.25	Rurale
	Djeballah Khémissi	66.62	Rurale
	Belkheir	94.00	Urbaine
	Nechmaya	121.75	Semi urbaine
Boucheougouf	Boucheougouf	193.55	Urbaine
	Ain Ben Beida	131.25	Semi urbaine
	Oued Fragha	99.26	Rurale
	Medjez Sfa	142.03	Rurale
Oued Zénati	Oued Zénati	135.00	Urbaine
	Ain Regada	118.79	Semi urbaine
	Bordj Sabath	198.70	Rurale
Hammam Debagh	Hammam Debagh	58.75	urbaine
	Roknia	201.87	semi urbaine
	Bouhamdane	159.62	rurale (fortement)
Héliopolis	Héliopolis	76.87	urbaine
	Bouati Mahmoud	88.70	semi urbaine
	El Fedjoudj	66,25	semi urbaine
Khezaras	Khezaras	71.22	semi urbaine
	Bouhachana	63.62	rurale (fortement)
	Ain Sandal	91.47	rurale (fortement)
Ain Makhlouf	Ain Makhlouf	190.08	semi urbaine
	Ain Larbi	167.50	rurale
	Tamlouka	303.17	rurale
Ain Hessainia	Ain Hessainia	50.18	semi urbaine
	Ras El Agba	37.27	rurale
	Sellaoua Announa	93.55	rurale
	Medjez Ammar	38.67	semi urbaine
Hammam N'Bails	Hammam N'Bails	164.22	rurale
	Oued Cheham	98.26	semi urbaine
	Dahouara	68.90	rurale
Total : 34 Communes		3686,84 km²	

La wilaya de Guelma compte 506.007 habitants, pour une superficie de 3686,84 km², soit une densité de 136 habitants par km² en 2011 (Tableau 2 et 3). (Fig. N° 3).

Les communes situées à proximité de l'oued Seybouse au centre de la région sont les plus peuplées, pour la plupart plus de 10 000 habitants. Dans la région, la population est moins concentrée au niveau des petits villages et communes dont la population est inférieure à 7000 habitants.

Tableau 2 : Répartition de la population par Daïra (Année 2008, 2009, 2010 et 2011)
(site web : wilaya-guelma.dz/population/)

Dairas	Pop. RGPH 2008	Population 2009	Population 2010		Population 2011		Observations
			Total	Agglomération	Total	Agglomération	
Guelma	127400	130476	132042	130676	133626	132245	Urbaine
Guelaât Bou Sbaâ	60452	61912	62654	56871	63406	49154	Hétérogène
Boucheougouf	49794	50996	51609	44736	52227	29964	Semi Urbaine
Oued Zénati	50716	51940	52564	46243	53195	36773	Urbaine
Ain Makhoulouf	38798	39735	40211	29816	40694	26413	Rurale
Ain Hessainia	20760	21261	21515	17204	21774	13780	Rurale
Khézaras	20738	21239	21493	11906	21751	11485	Fortement Rurale
Hammam Debagh	30537	31274	31649	26270	32029	23746	Urbaine
Héliopolis	45108	46197	46751	43595	47312	37536	Semi Urbaine
Hammam N'Bails	38128	39049	39517	25048	39991	20395	Rurale
Total Wilaya	482430	494097	500007	432365	506007	381482	

Tableau 3 : Population par Commune et par Daïra (situation 31/12/2011)
(site web : wilaya-guelma.dz/population/)

Commune	Population 2009	Population 2010	Population 2011	Superficie (km ²)	Densité (hab / km ²)
Guelma	123765	125250	126753	45,00	2783
Ben Djerrah	6.711	6792	6873	79,37	86
Total Daïra	130476	132042	133626	124,37	1062
Guelaât Bous baâ	5771	5840	5910	36,25	161
Nechmeya	10205	10327	10451	121,75	85
Belkheir	18075	18292	18512	94,00	195
Béni Mezline	5001	5061	5122	63,25	80
Boumahra Ahmed	18265	18484	18706	71,25	259
Djeballah Khémissi	4595	4650	4706	66,62	70
Total Daïra	61912	62654	63407	453,12	138
Boucheougouf	26057	26370	26686	121,75	217
Oued Fragha	7325	7413	7502	99,26	75
Ain Ben Beida	9721	9838	9956	131,25	75
Medjez Sfa	7893	7988	8084	142,03	56
Total Daïra	50996	51609	52228	566,09	104
Oued Zénati	33664	34068	34476	135,00	252
Bordj Sabath	10403	10528	10654	198,70	53
Ain Regada	7874	7968	8064	118,79	67
Total Daïra	51940	52564	53194	452,49	116
Ain Makhoulouf	12597	12748	12901	190,08	67
Tamlouka	19350	19582	19817	303,17	65
Ain Larbi	7788	7881	7976	167,50	47
Total Daïra	39735	40211	40694	661,35	61
Ain Hessainia	7286	7372	7461	50,18	147

Medjez Ammar	7.889	7.984	8.079	38,67	206
Ras El Agba	2.764	2.797	2.831	37,27	75
Sellaoua Announa	3.322	3.362	3.403	93,55	36
Total Daïra	21.261	21.515	21.774	219,67	98
Khézaras	10.633	10.760	10.889	71,22	151
Ain Sandal	4.875	4.933	4.993	91,47	54
Bouhachana	5.731	5.800	5.869	63,62	91
Total Daïra	21.239	21.493	21.751	226,31	95
Hammam Débagh	16.787	16.988	17.192	58,75	289
Bouhamdane	4.500	4.554	4.609	159,62	29
Roknia	9.987	10.107	10.229	201,87	50
Total Daïra	31.274	31.649	32.030	420,24	75
Héliopolis	26.964	27.287	25.615	76,87	355
Bouâti Mahmoud	9.891	10.010	10.130	88,70	113
El Fedjoudj	9.342	9.454	9.568	66,25	143
Total Daïra	46.197	46.751	47.312	231,82	202
Hammam N'Bails	16.590	16.789	16.991	164,22	102
Dahouara	8.076	8.173	8.271	68,90	119
Oued Cheham	14.382	14.555	14.729	98,26	148
Total Daïra	39.049	39.517	39.991	331,38	119
Total Wilaya	494097	500007	506007	3.686,84	136

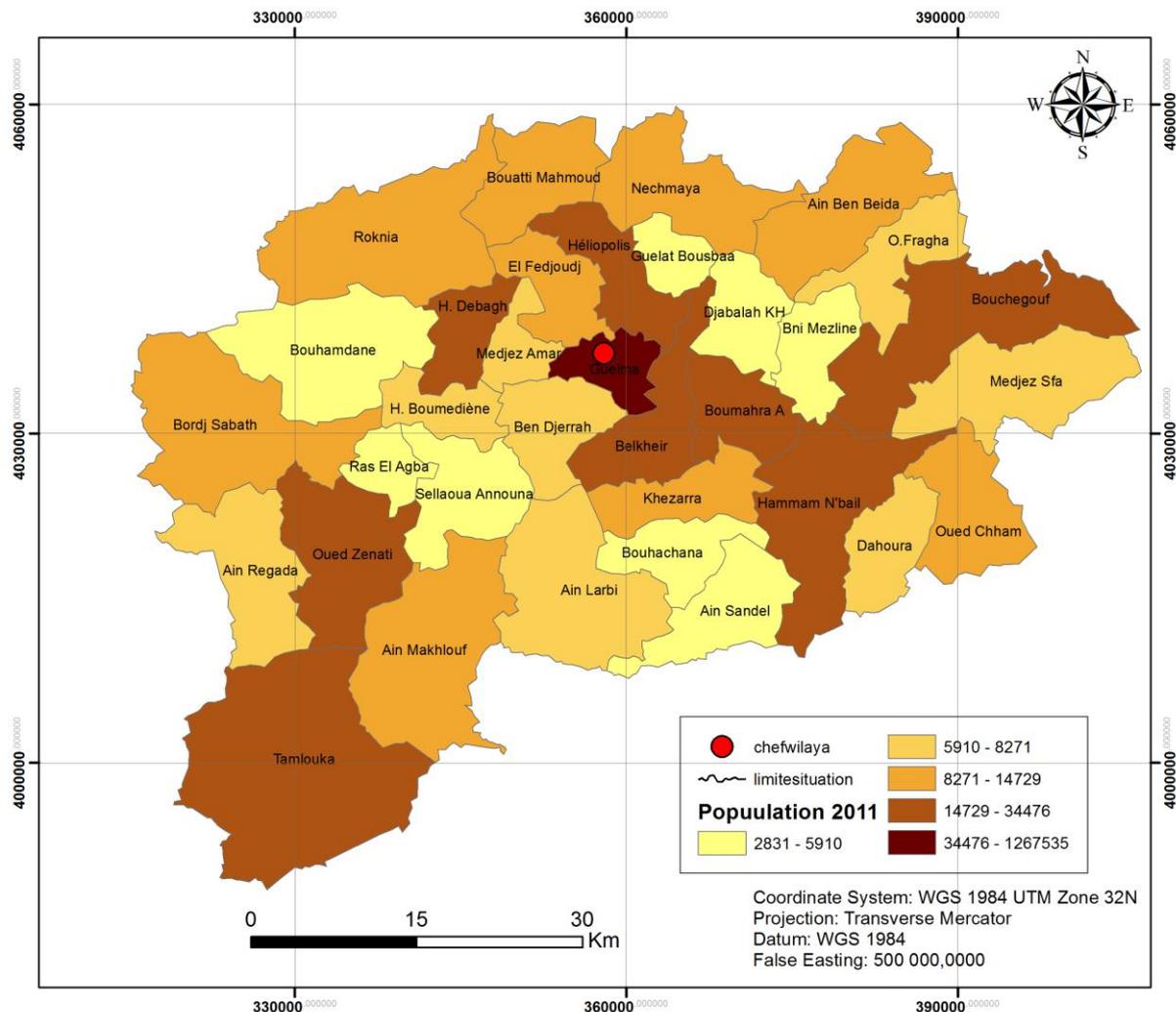


Fig. N° 3 : Carte de répartition des populations en 2011 (Aissaoui 2018)

II.2. Agriculture et production végétale

La région de Guelma totalise une superficie agricole de 370.013 Ha dont 187.400 Ha de superficie agricole utile (SAU) où les céréales occupent annuellement 45 % (186 122 ha) suivi par les cultures maraichères et industrielles (30%) le reste étant reparti entre les différentes espèces arboricoles. (Slatni Ibtissem, 2014).

La surface réservée pour les cultures céréalières est répartie en 93630 ha de blé dur, 26455 ha de blé tendre, 47195 ha d'orge et 6160 ha d'avoine. Pour les cultures maraichères, la superficie réservée est de 586,79 ha, les légumes secs sont limités à 425 ha, l'oignon est représenté par plus de 30 ha et l'arboriculture est présentée sur 24197 ha.

La surface réservée pour la plantation de tomates industrielles pendant la saison agricole 2011/2012 est de l'ordre de 3000 ha, avec une production de tomates qui a dépassée les 2 millions de quintaux et un rendement de 600 quintaux à l'hectare (DSA, 2012).

Pour les cultures fourragères, la superficie totale réservée est de 13574 ha. Les fourrages naturels occupent des superficies relativement importantes que les fourrages artificiels qui ont une superficie de 919 ha en 2007. (Tableau 4)

Les terres à grand potentiel agricole se situent dans le sud-ouest (plaines d'Oued Zénati et Tamlouka réputées pour la céréaliculture et l'élevage). Quant à la vallée de l'Oued Seybouse qui s'étend sur près de 45 km, elle offre toutes les conditions nécessaires à la production des cultures intensifiées en irrigué et de l'élevage bovin.

**Tableau 4: Types de cultures, superficies agricoles et surfaces irriguées en 2009
(DSA, 2012)**

Commune	Types de cultures		Surface (ha)	Fourrage (ha)	Culture maraichère	Culture Maraichère Superficie (ha)	Surface Totale Irriguée (ha)
Guelma	Céréales	Blé dur	30	Fourrage Naturelle = 3	Pomme de terre	02	650
		Blé tendre	3		Tomate maraichère	01	
		Orge	2		Salade	0.5	
		Avoine	0		Oignon sec	01	
					Piment et poivron	02	
					Tomate industrielle	10	
El-Fedjoudj	Céréales	Blé dur	30	Orge + avoine = 220 Fourrage naturelle = 120	Pomme de terre	40	290
		Blé tendre	3		Tomate maraichère	12	
		Orge	2		Salade	05	
					Petit pois	15	
					Oignon sec et vert	16	
					Piment et poivron	18	
Héliopolis	Céréales		53	/	maraichère	30	96
Medjez Amar	Céréales	Blé dur	652	/	Pomme de terre	62	540
					Oignon sec et vert	09	
					Petit pois	06	
					Courgette	02	
	Blé tendre	120	Salade		02		
			Haricot vert + blanc		40		
			Ail		02		
	Orge	80	Pastèque		10		
			Melon		30		
			Concombre		01		
		Fève vert	50				
		Tomate industrielle	70				

II.3. Industrie

L'essor industriel qu'a connu la région de Guelma a donné naissance à beaucoup de petites et grandes industries, les zones industrielles les plus importantes sont situées respectivement à l'amont de l'Oued Zimba (zone d'alimentation de la nappe alluvionnaire) ; sur la rive gauche de Oued Maiz (zone industrielle de Cité Frères Rahabi) et à la zone industrielle d'El Fedjoudj sur la rive gauche de l'Oued Seybouse. (Bedou Y, 2014)

A cause de ces zones industrielles, la région d'étude a subi durant des années la pollution industrielle de type minérale de plusieurs unités parmi lesquelles on peut citer:

- CYCMA : Complexe de fabrication cycles et cyclomoteurs, avec des rejets d'eau chargée en Eléments traces métalliques.
- Unité de céramique et de vaisselle (ETER)
- Plusieurs unités de fabrication de carreaux (carrelage) (rejet d'eau minéralisée)
- Plusieurs d'autres unités d'agro-alimentaire (SLATNI Ibtissem, 2014)

II.4. Tourisme

La wilaya de Guelma possède une richesse touristique importante et diversifiée, comporte les sources thermales, les sites archéologiques et les sites naturels.

Parmi les plus importantes sources thermales de Guelma, on cite:

La source thermale de Hammam Debagh (ex-Hammam Meskhoutine), Hammam Ouled Ali, Hammam N'Bails, Hammam Guerfa et Belhachani), offrant de grandes possibilités de développement de thermalisme et de tourisme.

A cela, s'ajoutent aussi les sites naturels et archéologiques respectivement (comme la réserve de Béni Salah, les forêts de Haouara et Mahouna, les plans d'eau des barrages et retenues collinaires), et historiques (les dolmens et grottes de Roknia, les ruines romaines de Sellaoua Announa, le jardin archéologique, le square, l'enceinte de l'ex-caserne, les restes de la muraille et le théâtre Romain de Guelma qui sont des atouts pour l'épanouissement de la région.

II.5. Ressources en eau de la région d'étude

A l'échelle régionale, les ressources en eau proviennent des eaux souterraines, des eaux de surface et conventionnelles

De point de vue géographique, le bassin versant de la moyenne Seybouse où se localise notre région d'étude serait marqué par des étiages prononcés avec souvent des débits nuls en Été et des crues fortes et rapide en saison humide, provoquant des inondations au niveau du bassin aidant à la production agricole et à la satisfaction des besoins des populations et du secteur industriel. (Guettaf, 2015)

II.5.1. Ressource en eau de surface

II.5.1.1. L'apport de l'oued Seybouse

D'après la direction de l'Hydraulique de la wilaya de Guelma, la ressource en eau de surface provient essentiellement de l'Oued Seybouse et ses principaux affluents, qui sont alimentés principalement par les eaux pluviales.

D'après Djabri.L en 1996, l'apport hydrique annuel de l'oued Seybouse a été estimé à 203.15 Hm³

II.5.1.2. Barrages et Retenues collinaires

La région d'étude dispose de deux barrages :

-Le Barrage **Hammam Debagh** d'une capacité théorique de 220 millions de m³ et qui dispose d'une station de traitement et d'une retenue créée par le barrage d'une capacité totale de 220 hm³ permettant une régularisation annuelle de 55 hm³ à 60 hm³

-Le deuxième Barrage, celui de **Medjez Beggarr**, est un petit barrage d'une capacité de 2.8 millions de m³, il a été mis à la disposition de la direction des services agricoles).

Le barrage de Medjez Beggarr est implanté sur l'oued Charef précisément au niveau la commune d'Ain-Makhlouf, à une cinquantaine de kilomètres du chef lieu de la wilaya, il est destiné à l'irrigation de 317 ha de terres agricoles.

Le barrage de Hammam Debagh est implanté sur l'Oued Bouhamdane à 3 km en amont de la localité de Hammam Debagh (ex hammam Meskhoutine), à 20 km de l'ouest de la ville de Guelma.

Le barrage est destiné principalement au périmètre d'irrigation Guelma-Boucheougouf pour une superficie de 13000 ha, et à l'alimentation en eau potable de la ville de Guelma. (Brahmia.N, 2016)

Selon la DHW de Guelma, la région d'étude comporte au total 21 retenues collinaires qui ont une capacité totale de 0.65 millions m³ d'eau, dont 5 retenues collinaires uniquement installées dans le sous bassin de Guelma. (Tableau 5)

Tableau 5 : Retenues collinaires (Source : DHW de Guelma)

Commune	Dénomination	Capacité (m ³)	Etat de l'ouvrage	Destination
Belkheir	Besbessa	30000	Moyen	Irrigation
Belkheir	Medroua	50000	Précaire	Irrigation
Boumahra.A	Chaabat lobra	80000	Précaire	Irrigation
Héliopolis	El goutrat	28000	Bon état	Irrigation
khezara	Ben mabrouk	25000	Bon état	Irrigation
Total		213000		

Le tableau 5 montre qu'il ya que deux ouvrages en bon état, situés au niveau des communes d'Héliopolis et de khezara avec des capacités qui peuvent atteindre les 53000 m³/An.

II.5.2. Eaux Souterraines

Les eaux souterraines constituent une des réserves emmagasinée depuis de longues années, qui s'alimentent grâce à l'infiltration des eaux de pluie dans le sol.

A l'échelle du sous bassin de Guelma, plusieurs nappes contribuent au développement du bassin, en assurant l'approvisionnement en eau potable d'une grande partie des centres urbains et ruraux et en participant à la mise en valeur de grandes superficies irriguées au moyen de multiples stations de pompage. Parmi ces sources, on peut citer la nappe alluviale de Guelma et la nappe de hammam Bradaa.

D'après le tableau ci-dessous, dans l'ensemble de la wilaya, on recense près de 1590 points d'eau dont 83 Forages qui présentent une moyenne de 48 Hm³ destinés à l'AEP, 62 forages (87.5 %) pour l'irrigation agricole avec 10 forages (8.3 %) à usage industriel. (Guettaf, 2015) D'autres sources hydriques à divers usages à partir de 467 points traditionnels et 1040 sources en milieu rural. L'ensemble des eaux souterraines totalisent un volume mobilisé de 91.85 Hm³/An. (Direction du développement agricole dans les zones arides et semi arides, 2010) (Tableau 6)

Tableau 6: Répartition des capacités d'eau souterraine par type (Direction du développement agricole dans les zones arides et semi arides, Guelma, 2010)

Désignation	nombre	Volume (Million m ³ /An)
puits	22	0.80
Sources captées et /ou aménagées	19	1.30
Forages (AEP+ IRR+IND)	78	20
Ensemble	119	22.10

III. Géomorphologie

La région d'étude présente des formes géographiques diversifiées dont le relief est composé dans sa majorité de (37,82 %) de montagnes, parmi les reliefs les plus élevés de la région d'étude, on cite Djebel Taya avec un altitude de 1208 m constituant le point culminant du

tell Nord - Guelmien, en passant par Djebel Debar (1060 m), un mont faillé, il est le plus étendu des massifs néritiques Nord-Guelmien (Marre, 1987) et au sud Djebel Mahouna qui culmine à 1411 m.

A cela s'ajoute aussi l'existence d'environ 75% dans la partie Nord-est de la région, un relief montagneux et les immenses étendues forestières de Beni Mezline, Beni Salah et Ouled Bechiah.

Le reste du relief est composé de plaines et de plateaux (27,22%) de collines et de piémonts (26,29%), (Monographie, 2016). Le creusement de la plaine par l'oued Seybouse offre des pentes peu accentuées entre 0 et 12.5% avec un fond plat caractérisé par la présence d'une faille longitudinale et transversale (Bechiri, 2011).

Le sud de la région d'étude, comporte la chaîne centrale de la Medjerda où s'impose l'important massif du Ras El Alia. Vers le sud-est la haute chaîne se poursuit par les massifs calcaires Sénoniens du Dj. El Arous (1160m) et calcaires éocènes du Dj. Safiet, puis les monts d'Ain Seymour couverts par les grès numidiens. Tout le massif constituant la haute chaîne centrale des monts de la Medjerda se noie sous les plaines de Sellaoua au sud-ouest de la zone d'étude.

A l'est, les montagnes boisées du versant septentrional des monts de la Medjerda s'abaissent rapidement par gradins vers la vallée de l'oued Seybouse, dont kef Erramoul (797 m) et kef Djemmel (812 m).

Au nord, s'étendent les monts d'Ain Berda qui séparent la dépression de Guelma de celle du lac Fetzara, au-delà des limites septentrionales de la zone d'étude.

Au nord-ouest, les derniers massifs abrupts des calcaires du chaînon du Débar (1060 m) viennent se noyer dans les formations marneuses ou gréseuses à relief plus mou. Une autre chaîne de calcaire, Dj. Taya (1208 m) continue vers l'ouest, séparant le bassin d'Oued Saf saf au nord de l'Oued Bouhamdane au sud.

Enfin, l'ouest de la zone d'étude comprend des régions très variées, allant de larges et profondes vallées de l'Oued Cherf en amont, qui s'écoule du sud au nord, des plaines élevées de la région de Ain Makhlouf, Ras El Agba (700 – 800 m) vers les vallées profondes de Guelma à l'aval.

Le relief montagneux et collinaire de la région de Guelma donne aux affluents de la Seybouse un caractère torrentiel et cette succession de sommets joue aussi le rôle de ligne de partage des eaux entre les oueds.

Conclusion

Géographiquement parlant, la région d'étude occupe une position médiane et constitue un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum el Bouaghi et Souk Ahras).

Malgré le Développement du tissu industriel de la région observé sur les deux rives de la Seybouse, La wilaya de Guelma est une région à vocation essentiellement agricole caractérisée par une grande variété de culture. L'implantation dans cette région du périmètre d'irrigation Guelma – Bouchegouf, entré en service en 1996, avec une superficie agricole de 9250 ha, il s'étale sur les deux rives de l'Oued Seybouse et il est subdivisé en cinq secteurs de distribution autonomes. Ceci est une preuve quant à la vocation agricole.

CHAPITRE II

CADRE GEOLOGIQUE DE LA REGION D'ETUDE

I. Introduction

La région de Guelma a suscité l'intérêt de beaucoup de chercheurs : Darest de la Chavane, 1910 ; J. Blayac, 1912 ; L. Joleaud, 1912 ; M. Roubault, 1934 ; J. Flandrin, 1948 ; P. Deleau, 1952 ; J.M. Vila et Magné, 1969 ; J.M. 1978-1980 ; Bouilin, 1986; A. Chouabbi, 1987 et J.C. Lahondère, 1987.

II. Cadre géologique régional

La région de Guelma fait partie de la chaîne des Maghrébides d'Algérie orientale (la chaîne alpine d'Afrique du Nord). Cette chaîne fait partie de l'orogénèse alpine péri méditerranéenne d'âge Tertiaire (Durand Delga, 1969). Elle s'étend de l'Ouest à l'Est sur 2000km, depuis le sud de l'Espagne (Andalousie) jusqu'à la Calabre (Italie) et englobe notamment ; le Rif marocain, l'Atlas littoral d'Algérie (kabylie et Tell), de Tunisie (kroumirie- Nefza) et enfin la Sicile Calabre (Italie) (Lahondère, 1987 ; Chouabbi, 1987, in Benmarce, 2015).

Elle se trouve prise entre la paléo-marge de la plaque Afrique (au Sud) et la plaque Europe (au Nord). Dans ce domaine en forme d'anneau très aplati, on distingue classiquement les zones internes, situées à l'intérieur de l'anneau et représentées aujourd'hui par différents massifs, dispersés le long de la côte méditerranéenne et les zones externes situées à sa périphérie.

La chaîne des Maghrébides a connu des phases de déformations méso-cénozoïques aboutissant à la mise en place de l'Atlas tellien. C'est le domaine des nappes de charriage ou domaine allochtone.

III. Cadre géologique local

La région d'étude fait partie de l'ensemble géologique du Tell d'Algérie. Cet ensemble s'étend de la région de Constantine à la frontière Algéro-tunisienne. Sa structure est très complexe et essentiellement due à des mouvements Tertiaire, surtout Miocène. (Fig. N° 4)

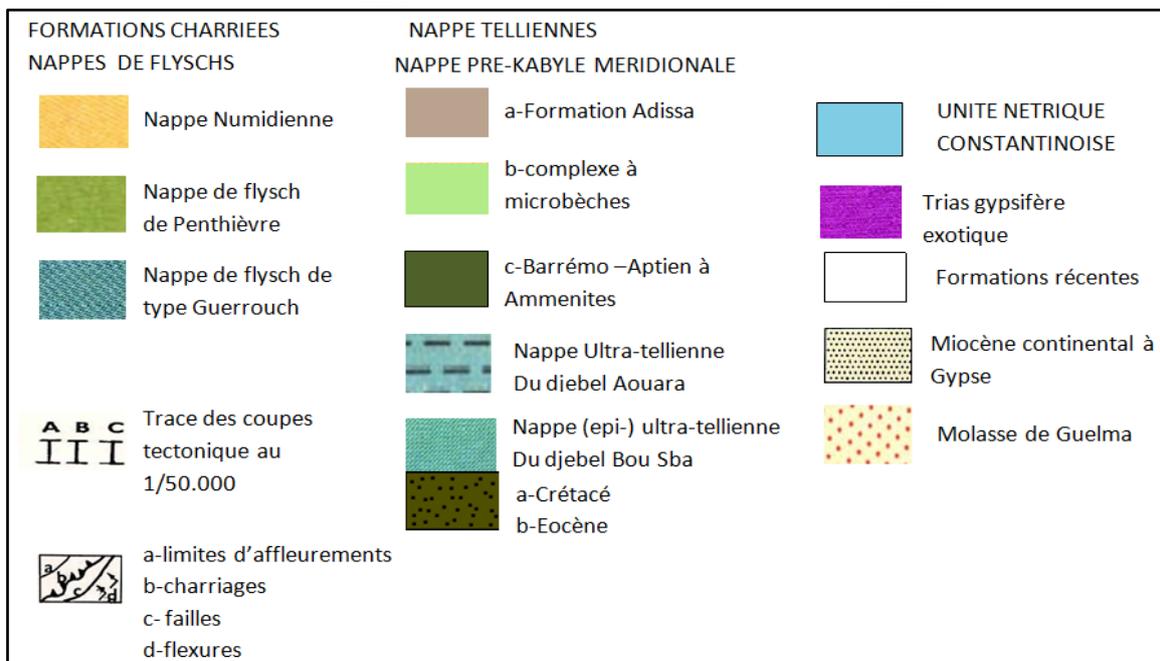
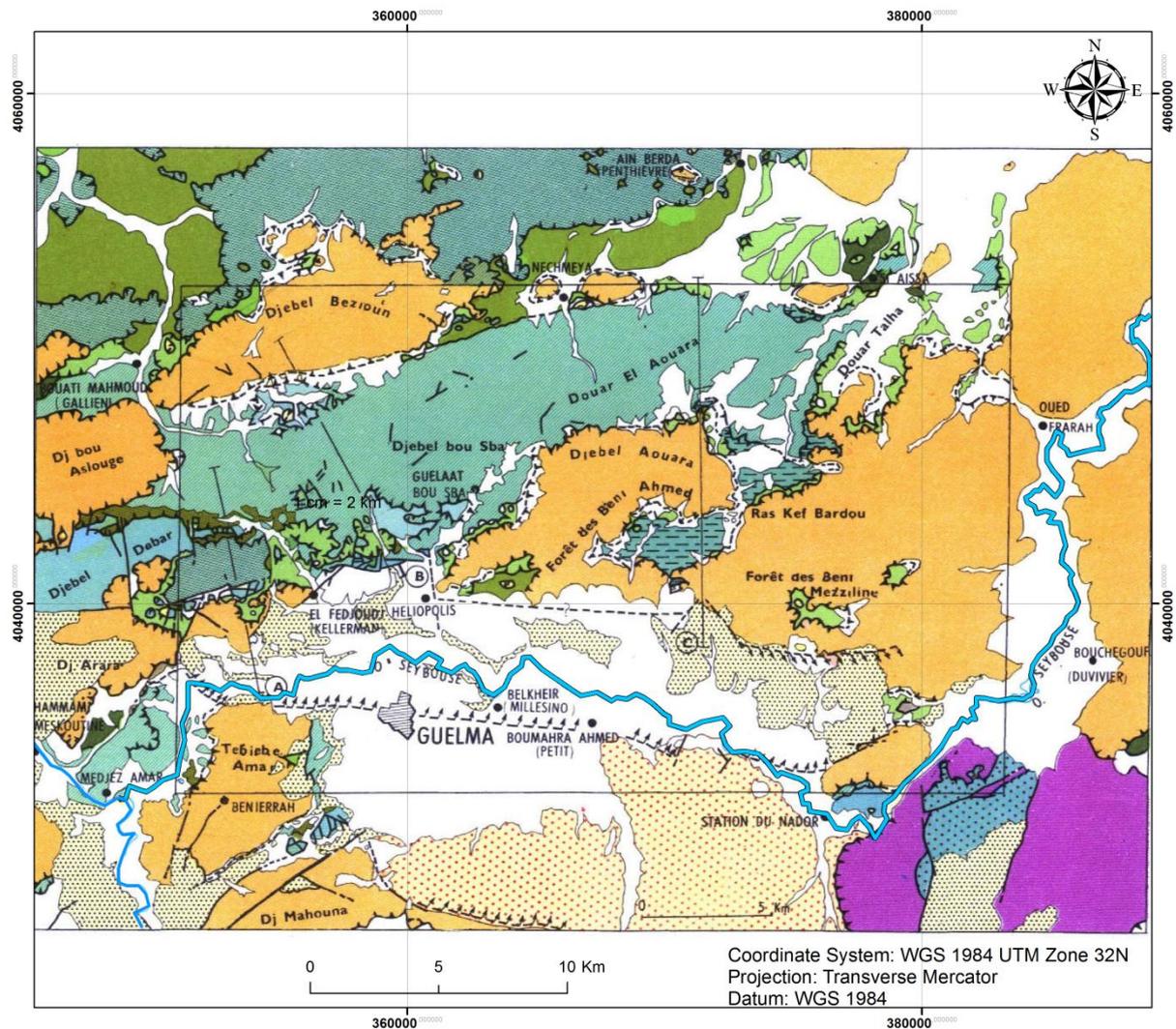


Fig. N° 4 : Esquisse structurale de la région de Guelma. (In Villa 1971, modifiée par Aissaoui 2018)

III.1. Stratigraphie des différentes unités structurales

Nous décrivons successivement les principales formations géologiques de bas en haut : les formations du Primaire et du Trias, la nappe néritique constantinoise, les écailles de Sellaoua, la nappe tellienne, les nappes des flyschs, la nappe numidienne, les formations du Mio-Pliocène, et enfin les formations récentes du Quaternaire.

III.1.1. Le Primaire

Les formations du Primaire ne présentent pas beaucoup d'affleurements, on ne les trouve qu'au Nord du massif de Nador N'Bail à l'entrée des gorges de l'Oued Seybouse.

Ces affleurements sont formés par des schistes satinés alternants avec des petits bancs de Grés.

III.1.2. Le Trias

On le trouve uniquement à l'extrémité Est de la plaine alluviale. Il est formé d'Argiles bariolées injectées de Gypse, cargneules et de bancs disloqués de Calcaires dolomitiques sombres.

III.1.3. Domaine para-autochtone

III. 1.3.1. Nappe néritique constantinoise

La néotectonique a dispersé les affleurements des séries néritiques constantinoises en massifs isolés de taille variable (Vila, 1980), étudiés par plusieurs auteurs avant que la micro-paléontologie des milieux de plate-forme ait été mise au point.

Les affleurements néritiques dans la région de Guelma, représentent la terminaison orientale du domaine néritique. Ces affleurements sont isolés et de tailles variables. Ils apparaissent au Djebel Débar, à Hammam Ouled Ali, au Douar Bouzitoune, à la piscine romaine d'Héliopolis et enfin à l'Ouest de la station ferroviaire de Nador.

Parmi ces massifs, c'est le groupe nord-oriental qui est traité dans cette étude. La corrélation et la description lithologique sont résumées dans la figure 5.

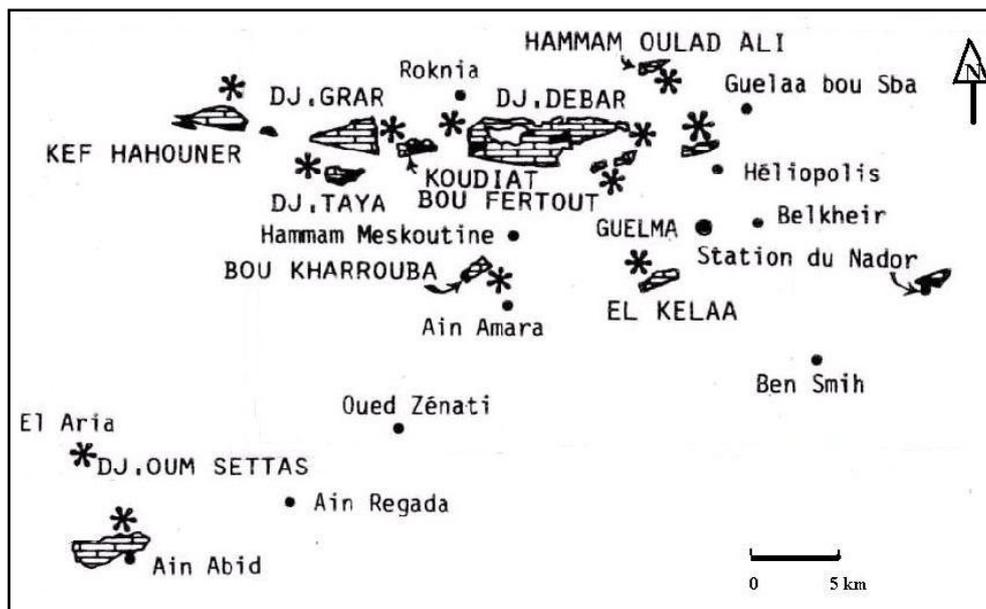


Fig. N° 5 : Plan de position et coupures stratigraphiques des séries néritiques constantinoises (Vila, 1980)

III. 1.3.1.1. A l'Est de Djebel Debar

Le djebel Débar qui fait partie du môle néritique constantinois présente des terrains autochtones d'âge Jurassique et Crétacé supportant les formations allochtones des unités telliennes.

Les formations autochtones essentiellement carbonatées correspondent à des dépôts de plateforme interne parfois confinés avec une nette tendance à l'ouverture au crétacé supérieur. On distingue de bas en haut :

III. 1.3.1.1.1. Les Dolomies noires à la base, épaisses de 250 à 300 m largement cristallines supportent toute la série.

III. 1.3.1.1.2. Les Calcaires massifs Organo-détritiques à (*orbitoides cf. Média*) D'ARCH attribués au Campanien.

III. 1.3.1.1.3. Les niveaux siliceux

Ce sont des roches très minéralisées et mal stratifiées résultant d'une silicification au niveau d'une zone de broyage entre le Calcaire à silex du sommet du Sénonien supérieur et les Calcaires à silex de l'Eocène allochtone tellien.

III.1.3.1.2. A Hammam Ouled Ali

A l'Est de la station thermale, affleure une fenêtre d'une série à faciès carbonatés biodétritiques d'âge Sénonien sous les Marno-calcaires de la série ultra-tellienne.

III.1.3.1.3. Au Douar Bouzitoune-Heliopolis

Ces affleurements présentent une série complète où sont datés : l'Aptien supérieur à (*Orbitolina Subconcava Parocoskinolina Sunnilandensis*), le Vraconien-Cénomaniens inférieur à (*Orbitolines*) roulées et à (*Mélobésiées*) et le Sénonien transgressif sur des niveaux à

(orbitoides Medina), (Sidérolites Vidali), (Globotruncana Linnei) du Campanien ou du Maestrichtien basal.

III.1.3.1.4. A la station Nador

Près de la gare ferroviaire de Nador, sous les Calcaires massifs à (*Rudistes*) du Barrémien, les niveaux à (*Favreina Salevensis*) et (*F.Prusensis*) au dessus d'un ensemble de couches pélitiques ou gréseuses rouges attribuées au Trias moyen et supérieur témoignent du passage Jurassique Crétacé (Ilavsky et Snopkova, 1987).

III.1.4. Le Domaine Allochtone

On distingue de bas en haut :

III.1.4.1. Nappe tellienne

La nappe tellienne correspond au domaine tellien externe constitué de formations paléogènes. Il s'agit de séries épaisses à dominance marneuse issues du sillon tellien. (Fig N° 6)

On distingue trois grandes unités :

III.1.4.1.1. La nappe ultra-tellienne

Sous le terme ultra-tellien, Durand Delga (1969), désigne les séries superposées anormalement au Crétacé néritique constantinois du Djebel Débar et du Douar Bouzitoune dans la région de Guelma. Ces séries sont définies par le critère simple de dominance des faciès clairs durant tout le Crétacé.

III.1.4.1.1.1. La nappe ultra-tellienne du Djebel Haouara

Ce sont de vastes affleurements qui se situent entre la forêt de Beni Ahmed et celle de Beni Mezline, au Nord du Kef Ras Bardou et du Djebel Haouara. Les formations sont constituées par l'alternance de Marnes claires beiges ou jaunes et de Marno-calcaires en petits bancs de même teinte, riches en (*Rosalines*). L'âge de la série est compris entre le Barrémien supérieur qui contient (*Phylloporachyeras Barodense Cop*) et le Sénonien inférieur.

III.1.4.1.1.2. La nappe ultra-tellienne de Djebel bou Sbaa, (Lahondère, 1987)

L'âge de la série est compris entre l'Aptien et le Lutétien. Elle est développée essentiellement dans la région de Guelaat Bou Sbaa. On trouve aussi des témoins de cette série près de Medjez Amar au Tebiebe Amar, au Sud-Ouest de Guelma et près de la station de Nador à l'Est. On peut citer entre autres, un affleurement avec une microfaune à (*Truncorotalia gr*), visible sur la berge est de l'Oued Seybouse près de Medjez Amar avec (*Globorotalia rex Martin*) et au nord de Djebel Débar dans les Marno-calcaires à cassure noire fétide et bitumineuse (Vila et al, 1968) avec (*G.cf.Velascoensis*).

III. 1.4.1.2. Les unités telliennes sensu stricto (s.s)

Ce sont les unités méridionales à Globigérines et à Nummulites.

III. 1.4.1.3. La nappe tellienne de Hammam Ouled Ali

Elle affleure au pied du Djebel Bou Sbaa et autour du pointement néritique du Djebel Débar. Cette unité regroupe tous les terrains situés sur la série néritique constantinoise et sous la

nappe ultra-tellienne du djebel Bou Sbaa (Vila, 1971). Ce regroupement est justifié par une remarquable dominance des teintes noires dans les faciès. La microfaune est représentée par (*Globo truncana stuartiformis*), (*Rotalipora sp*) et (*Hedbergella Washitensis*).

III. 1.4.1.4. La nappe tellienne de la région de Ras El Agba-Sellaoua Announa

Elle correspond au domaine tellien externe constitué de formations paléogènes. On distingue :

- L'unité tellienne à Globigérines qui comprend un Paléocène constitué de Marnes, un Yprésien à Calcaires en bancs à lumachelles et à (Globigérines) et un Lutétien inférieur à moyen avec des Marnes noires à débris d'huîtres et à boules jaunes carbonatées (Kef Er Rih, Bouhachana).

- L'unité tellienne à Nummulites qui comprend un Paléogène à Marnes noires et un Eocène Calcaire massif à Nummulites surmontés par une puissante série marneuse à boules jaunes et à huîtres d'âge Lutétien (Dj.Bardou).

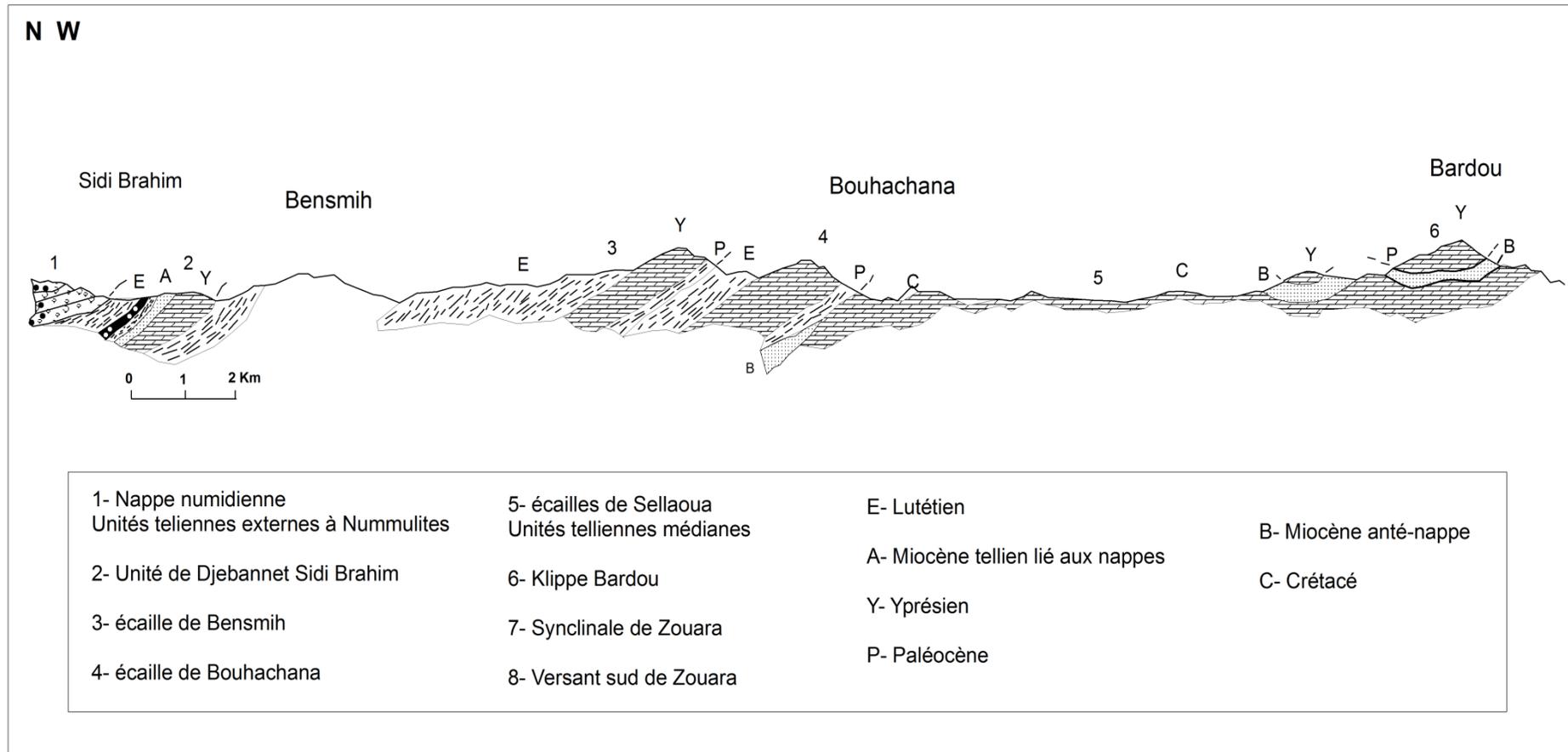


Fig. N° 6 : Coupe des différentes unités telliennes entre Bensmih et Bardou (Nouar, 2007 modifiée par Aissaoui 2018)

III.1.4.2. La nappe des Flyschs

Ce sont des dépôts de Mer profonde d'âge allant du Crétacé inférieur jusqu'à l'Oligocène. On distingue :

III.1.4.2.1. Les Flyschs de Penthivière

Ils sont formés au Nord-Est de Djebel Debagh par une série sensiblement continue depuis le Cénomaniens jusqu'à l'Oligocène. Les Flyschs grés-micacé à patine jaunâtre d'âge Oligocène avec une épaisseur variant de 450m à 500m, représentant une puissante formation de Grès micacés.

III.1.4.2.2. Les Flyschs à micro brèches rouges

Formés par des Argiles à micro-brèches assez fines en bancs bien réglés de 15 à 60 cm et renfermant de nombreux débris organiques. Ces Flyschs sont datés du Priabonien à l'Oligocène. Les Flyschs conglomératiques à Nummulites d'âge Lutétien sont formés par une alternance de Microconglomérats et des Argiles rouges ou vertes, avec prédominance de lie de vin très remarquable.

III.1.4.2.3. Les Flyschs de type Guerouche

C'est une série gréseuse à intercalations argilo-schisteuses grises ou brunâtres. Elle affleure à Ain Sefra au piémont de Mahouna. A la base, elle montre quelques bancs Calcaires à (*Nannoconus*).

- Le complexe de base avec Calcaires fins: C'est une série Argilo-gréseuse à intercalations de biomicrites claires en bancs centimétriques très froissés à (*Nannoconus*).

Ces affleurements apparaissent dans la partie Sud de la pointe orientale du Djebel Debar.

III.1.4.3. La nappe numidienne

Elle forme les hauteurs des reliefs gréseux de part et d'autre de la Seybouse, on la retrouve :

- Au Nord-Est et au Sud-Est (Djebel Bezioun),
- Au centre et à l'Est (les massifs boisés de Houara et Beni Mezline).

Elle affleure largement au Nord et au Sud des massifs néritiques constantinois, et repose sur n'importe laquelle des autres unités allochtones.

Généralement, la nappe numidienne est marquée par la présence de deux faciès essentiels formée d'une série Argilo-gréseuse de 400m (Djebel Mahouna), c'est une série gréseuse de type Flysch en grand bancs parfois décamétriques à intercalations argileuses claires (vila, 1980). L'Argile numidienne est de couleur verte et rouge à Tubotomaculum, d'âge Oligocène moyen à supérieur (Lahondère et al, 1979) en petits affleurements rares de part et d'autre de la série gréseuse. Elle est recouverte par de vastes épandages sableux qui les oblitèrent.

III.1.5. Les formations du Mio-Pliocène

Ce sont des Argiles grises avec intercalations de Marno-calcaires et Gypse en couches minces. Elles surmontent des Argiles et des Conglomérats rouges.

La mollasse de Guelma : c'est une épaisse série d'intercalations d'Argile et de Sable jaunâtres friables bien développée au Sud et à l'Est de Guelma.

III.1.6. Les formations récentes du Quaternaire

Les formations d'âge Quaternaire sont localisées le long de la vallée de l'oued Seybouse et représentées par les terrasses:

- **La basse terrasse** (Soltanien) : Elle est constituée des alluvions du lit de l'Oued actuel avec 15 m d'épaisseur (limons et cailloux enroulés brun clair ou grisâtres).
- **La moyenne terrasse** (Tensiftien) : Elle est située surtout entre 30 à 50 m d'altitude et constituée de sable et limons et des blocs roulés dans une matrice argileuse de couleur ocre.
- **La haute terrasse** (Salétien) : Ce sont des formations qui présentent un épandage en pente douce. Elles sont constituées de gros galets de type (*Ranà*) dans le djebel Zemzouma au Nord et peuvent atteindre les 100 m d'épaisseur. Au Sud, ce sont des Calcaires lacustres et Tufs d'âge Pliocène supérieur à Quaternaire ancien qui occupent de grandes surfaces. Les croûtes calcaires qui apparaissent aussi au centre d'Héliopolis sont parfois tuffacés ou massifs gris à blanc rosé riches en oogones de (*Charophytes*) (Vila ,1980).

Ces terrasses sont en général emboîtées mais peuvent être étagées et laissent apparaître le substratum marneux gypsifère qui les sépare, comme c'est le cas entre l'Oued Maiz et le centre du village de Belkheir.

III. 2. Cadre structural

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

L'histoire géologique et les principales phases tectoniques de la région se résument comme suit:

III. 2. 1. Phase fini-éocène (atlasique)

Elle marque la fin d'un grand cycle de sédimentation dans le bassin maghrébin qui a commencé avec les dépôts du Trias supérieur jusqu'au Lutétien. Elle est responsable de la genèse des flyschs et des nappes telliennes, y compris les plus méridionales où sont enregistrés des plis couchés spectaculaires.

III. 2 .2. Phase miocène inférieure

Elle est responsable de la naissance de l'édifice actuel (Ecaillage et charriage des nappes telliennes vers l'avant-pays, Ecaillage de l'avant pays).

III. 2. 3. Phase tectonique post-nappe

Du Tortonien à l'actuel, la région a connu le jeu de plusieurs déformations plicatives et cassantes qui se sont remplacées et accordées (Vila ,1980). Ces accidents ont dessiné un

réseau spectaculaire de failles de direction atlasique (NE-SW). L'accident qui borde au Nord du bassin Mio-Pliocène de Guelma est bien défini de direction Est-Ouest. Cette grande faille est interceptée par de petites failles qui lui sont perpendiculaires.

Le bassin de Guelma a connu plusieurs cycles de remplissage liés à la tectonique régionale. On peut remarquer que les sources thermo minérales se situent le long des failles de direction (NE-SW et Nord-Sud). Dans la première direction, il s'agit de la tectonique de mise en place des nappes, dans la deuxième orientation (N-S), c'est la tectonique de réajustement de l'édifice et la naissance du relief actuel.

III.3. Reconstitution paléogéographique

D'après de la Chavane (1910) et d'après les données géologiques régionales et locales, la région correspondant au bassin de la Seybouse, devait se trouver au début du secondaire complètement immergée. En effet, les importants dépôts triasiques, très développés dans toute cette région et qui en forment pour ainsi dire le substratum, est représenté par un faciès laguno-marin. Ces dépôts montrent qu'à cette époque une mer peu profonde recouvrait cette région. La mer s'approfondit au cours de l'Infra-lias et prend un caractère bathyal assez prononcé pendant le lias moyen, avec apparition d'une faune renfermant déjà quelques Céphalopodes. Cette époque paraît correspondre à un maximum de transgression marine.

Si l'on excepte le lias, le jurassique semble faire complètement défaut dans la région de Guelma. L'absence de sédiments de cet âge dans toute la région de Guelma peut être interprétée de différentes manières : soit, leur absence est liée à des phénomènes d'érosion intense, soit à leur situation en profondeur.

La mise à jour des formations triasiques sous-jacentes aux formations jurassiques étant favorisée par des phénomènes de compression mécanique et qui ont engendré la mise en contact directe des formations triasiques avec les terrains créacés.

Les assises jurassiques sont restés en profondeur et seuls quelques lambeaux de calcaires liasiques ont été amenés à jour et noyés dans les marnes triasiques. Au créacé inférieur (au Valanginien, Hauterivien et au Barrémien inférieur), le faciès des calcaires récifaux, indique mer peu profonde. Pendant le Barrémien, la mer s'approfondit à nouveau et un vaste géosynclinal occupant à peu près la zone du Tell, favorise le dépôt de sédiments vaseux à faunes bathyales durant tout le créacé et une partie de l'Eocène. Les dépôts et la faune de l'Aptien, Vraconnien, Cénomaniens, Turonien et Sénonien témoignent d'une transgression marine qui atteint son maximum au Sénonien. Au paléocène inférieur, une régression générale de la mer commence à se produire. Le géosynclinal du Tell paraît diminuer de profondeur. Les faunes de l'Eocène indiquent d'une façon générale que la mer occupait approximativement les mêmes régions qu'occupait la mer au Créacé. Il devait y exister des seuils bas et des hauts fonds, étant donné les très brusques changements latéraux de faciès qui s'observe dans ces terrains. Les marnes et les calcaires éocènes montrent par endroits un caractère littoral. Ce dernier se trouve traduit par la présence d'assises conglomératiques et de nombreux bancs de phosphates intercalés dans les masses de calcaires à silex, ainsi que par la faune à polypiers et foraminifères.

Après cette longue période de repos, des mouvements tectoniques les plus intenses affectent cette région. Ces mouvements ont provoqué des poussées tangentielles du nord vers le sud.

Des écaillages et des plissements.

Cette phase tectonique est responsable des plissements et des alignements orographiques de direction sud ouest-nord est, qui marque la région de Guelma.

Le Miocène débute par une transgression marine, en effet, le Miocène inférieur transgressif contient à sa base des assises détritiques grossières, représentées par des conglomérats à galets de calcaires nummulitiques et de calcaires à incérâmes. Au Miocène moyen les dépôts deviennent alternativement marins et lacustres (molasse sableuse, grès et marnes à Hélix) et ensuite au Miocène supérieur, d'abord des sédiments laguno-saumâtres transgressifs (marnes gypseuses et sulfo-gypseuses à faune et poissons d'eau saumâtre et d'estuaire). Enfin, lorsque le phénomène de dessalure devient complet, se déposent des marnes blanches lacustres à faune d'eau douce. La fin du Miocène a été encore marquée par une dernière phase de mouvements tectoniques, toutefois un peu moins intenses que les précédents. Une des conséquences de ces mouvements dans la région de Guelma est marquée par le redressement des dépôts du Miocène supérieur.

Au début du Pliocène, le relief actuel était sensiblement formé. Le comblement des grandes vallées commence à ce produire et se poursuivra jusqu'au début du Pliocène supérieur. A partir du Pliocène supérieur, commence le creusement progressif des vallées et qui se poursuivra jusqu'à nos jours. Dans la région de Guelma, pendant le Pliocène se sont formées, en de nombreux points, des nappes de calcaires travertineux et des carapaces tufacées (de la chavane, 1910).

Conclusion

La zone d'étude fait partie du domaine externe de la chaîne alpine de l'Algérie orientale, elle est caractérisée par des formations âgées du Trias au Quaternaire, présentant ainsi une lithologie très variée.

La géologie du bassin de Guelma comprend :

- 1- une formation néritique autochtone d'âge crétacé, composé principalement par une formation calcaire épaisse et massive (Toubal, 1984) ;
- 2- une nappe tellienne composée de marnes et calcaire du Crétacé,
- 3- une formation du flysch mauritanien d'Ain Berda, l'âge varie du Cénomaniens à l'Oligocène, est composée de divers lithologie : brèche, de la marne, schiste, calcaire et de grès micacé ;
- 4- la Dorsale Kabyle est composée de deux unités : unité inférieure (Néocomien à Eocène) constituée de formations pélagiques et une unité supérieure (de l'Eocène à l'Oligocène) composée de formations à caractère néritique ;
- 5- le flysch Massylien du crétacé est constitué de grès, schiste et marnes ;
- 6- et enfin le flysch numidien composé de grès d'âge Oligo-miocène.

La majeure partie de ces roches sédimentaires est recouverte par des formations du Miocène, du Pliocène et par une couverture quaternaire de sable, de gravier et d'alluvions. La formation triasique est observée quelques kilomètres au sud de la ville Bouchegouf.

Du point de vue géomorphologique, la région d'étude correspond à une dépression à valeur de bassin allongé d'Est en Ouest dans laquelle se sont accumulés des dépôts du Néogène et du Quaternaire.

Ce bassin est adossé au Nord comme au Sud à des reliefs appartenant pour l'essentiel au domaine tellien constitué de marnes et de carbonates d'âge méso-cénozoïque et dont la sédimentation de mer ouverte, s'est effectuée en domaine pélagique (unités telliennes).

Les formations néritiques constantinoises qui représentent la terminaison orientale du domaine, apparaissent à la faveur de fenêtres, à Djebel Débar, à l'Est de Hammam Ouled Ali, à Héliopolis et à Nador. D'Ouest en Est ces formations carbonatées constituent le substratum des nappes telliennes de Guelma.

CHAPITRE III

CADRE HYDRO CLIMATOLOGIQUE

I. Introduction

L'analyse des données climatiques reste primordiale pour mener à bien toute étude hydrogéologique, elle permet de mettre à jour les facteurs les plus importants qui régissent le climat intervenant dans les écoulements et enfin d'établir le bilan hydrique.

L'établissement de ce dernier est nécessaire pour le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, avec la connaissance des paramètres suivants : les précipitations, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement.

L'étude climatologique a pour objet de comprendre des mécanismes de circulation des eaux superficielles et souterraines. Elle informe également sur l'évolution des éléments chimiques, la protection et la résolution des problèmes de pollution. Elle se base sur l'exploitation des données pluviométriques qui ont été collectées des trois stations climatiques : la station du barrage Hammam Debagh, la Station de Belkheir et la station de Bouchegouf sur une série d'observation de 20 ans allant de 1996 à 2016.

I.1. Stations de mesures

Le choix des stations de mesure est basé sur la représentativité de la zone d'étude et la disponibilité de l'information pluviométrique couvrant une période longue, récente et complète. (Fig. N° 7)

Pour la réalisation de ce chapitre, nous avons pris en considération trois stations réparties sur trois sites différents :

- La station de Belkheir installée dans la commune de Belkheir, à environ 5 km de la ville de Guelma
- la station de Hammam Debagha située au niveau du barrage Hammam Debagh, située à l'Ouest de la ville de Guelma distante d'environ de 20 km.
- La station de Bouchegouf, située dans la commune de Bouchegouf, à l'Est de la ville de Guelma à environ de 36 km de distance.

Les données recueillies au niveau de ces stations, sont sous forme de moyennes mensuelles des précipitations et des températures sur une période de 20 ans de 1996 à 2016.

Ces données permettent d'estimer :

- la répartition de la pluviométrie dans le temps et dans l'espace
- La quantité d'eau infiltré et évaporée.

Les coordonnées des trois stations sont indiquées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Caractéristiques des stations météorologiques

stations	Coordonnées				
	Longitude		Latitude		Altitude (m)
Belkheir	7°28'45" E	363 723.03 m	36°27'39" N	4 035 848.68m	218
Hammam Debagh	07° 15' E	343 164.56 m	36°27' N	4034 995.34 m	350
Bouchegouf	07°43' E	385 063.66 m	36°30' N	4 039 883.79 m	180

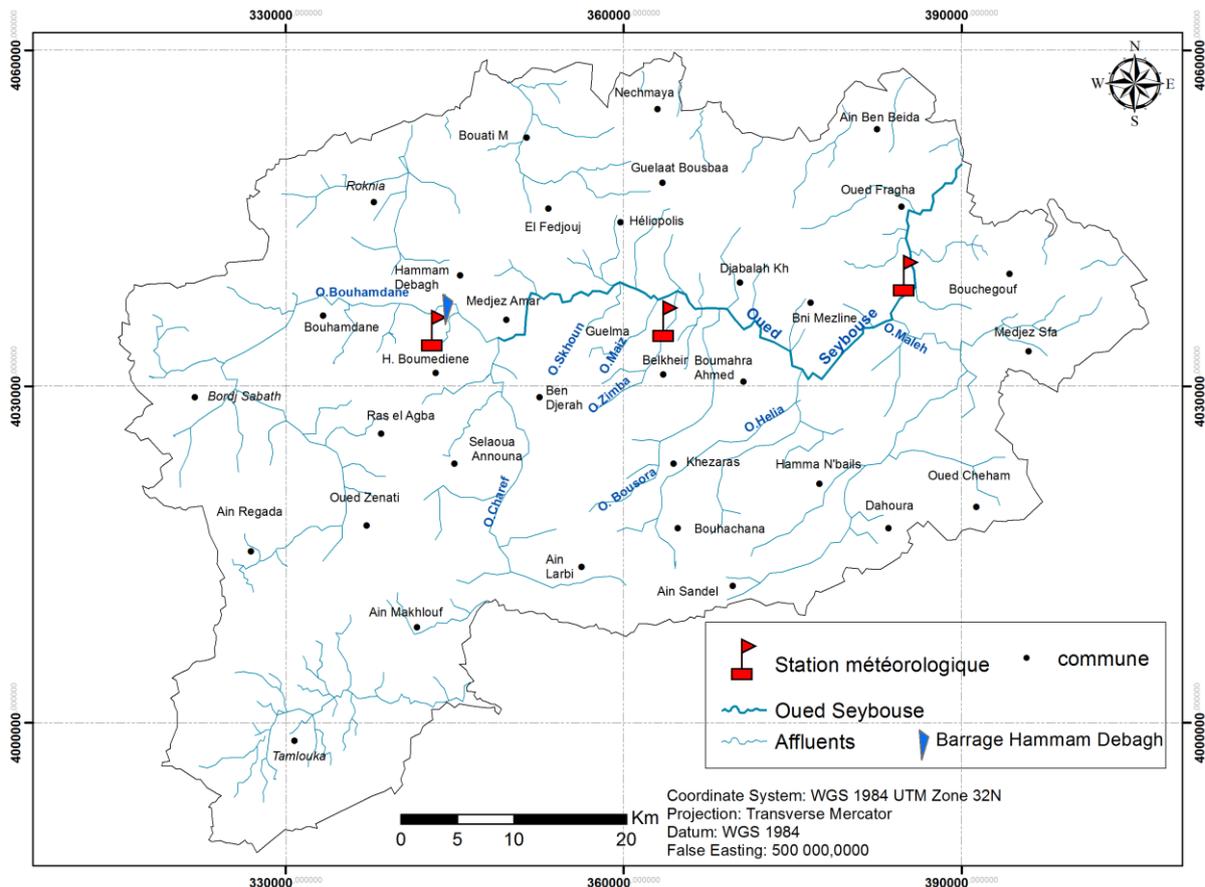


Fig. N° 7 : Localisation des stations pluviométriques (Aissaoui, 2018)

II. Facteurs Climatiques

II.1. La Pluviométrie

Les précipitations et principalement les pluies, constituent le poste entrée du cycle de l'eau, elles représentent une composante fondamentale en hydrologie. Leur mesure et leur étude détaillées sont primordiales pour la connaissance du régime des oueds, de l'état des réserves en eau du sol et de la recharge des nappes (Laborde, 2000 ; Cosandey et al. 2000).

Elles jouent un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eaux et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines pour constituer à moyen terme des ressources mobilisables non négligeables.

L'analyse des précipitations enregistrées, apporte des informations sur les tendances évolutives des périodes sèches et des périodes humides.

II.1.1. Précipitations moyenne mensuelles

Le calcul de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré sur la période de 20 ans donne un aperçu sur les variations mensuelles pluriannuelles des précipitations, la variation des précipitations est soumise aux fluctuations saisonnières. Les valeurs calculées pour les stations étudiées sont représentées dans le tableau 8.

Les moyennes mensuelles des hauteurs pluviométriques enregistrées dans les trois stations de Belkheir, Bouchegouf et Hammam Debagh indiquent que le maximum est observé durant le mois de Janvier avec respectivement 86.15 mm, 84.30 mm, et 78.76 mm, alors que le minimum est observé durant Juillet avec 2.67 mm, 4.63 mm et 3.91 mm.

Tableau 8 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) « 1996-2016 »

Station/mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Tot.
Guelma	45.97	48.04	74.24	77.94	86.15	67.08	68.66	56.20	44.98	14.32	2.67	15.94	602.22
Bouchegouf	48.7	50.83	70.20	82.65	84.30	70.45	71.99	58.38	41.1	12.48	4.63	18.14	613.88
H.Debagh	40.44	38.65	64.89	81.98	78.76	71.87	63.85	49.66	45.21	15.19	3.91	9.64	564.09

La représentation graphique des précipitations moyennes mensuelles pour les stations étudiées est représentée dans la Fig. N° 8.

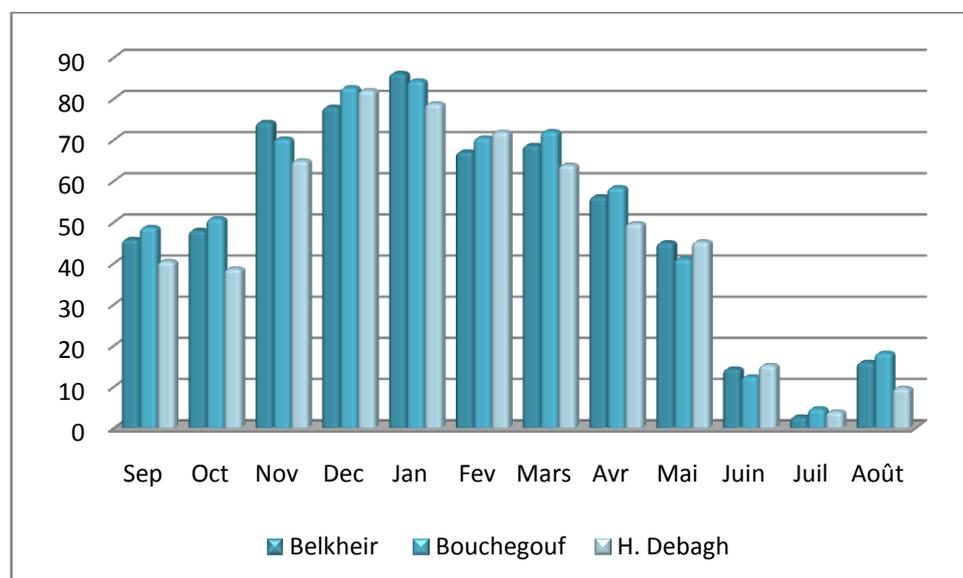


Fig. N° 8 : Variation des précipitations moyennes mensuelles

II.1.2. Précipitations saisonnière

Il est connu que les précipitations diffèrent d'une saison à l'autre, pour déterminer les quantités, le tableau 9 récapitule les valeurs des hauteurs saisonnières des trois stations prises en considération lors de cette étude.

Tableau 9 : Variation des précipitations saisonnière

Station	Automne		Hiver		Printemps		Eté		Totale	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Belkheir	168.26	27.93	231.17	38.38	169.84	28.20	32.93	5.46	602.22	100
Bouchegouf	169.73	27.64	237.4	38.67	171.47	27.93	35.25	5.74	613,885	100
H.Debagh	143.98	25.52	232.61	41.23	158.72	28.13	28.74	5.09	564.09	100

D’après le tableau 9, la saison la plus pluvieuse pour les trois stations est l’hiver avec un pourcentage de 38 à 41 %, cependant la saison sèche est l’été avec un pourcentage de 5 % de total annuel dans les trois stations.

La Fig. N° 9 montre la répartition des précipitations saisonnières par apport aux précipitations moyenne annuelles.

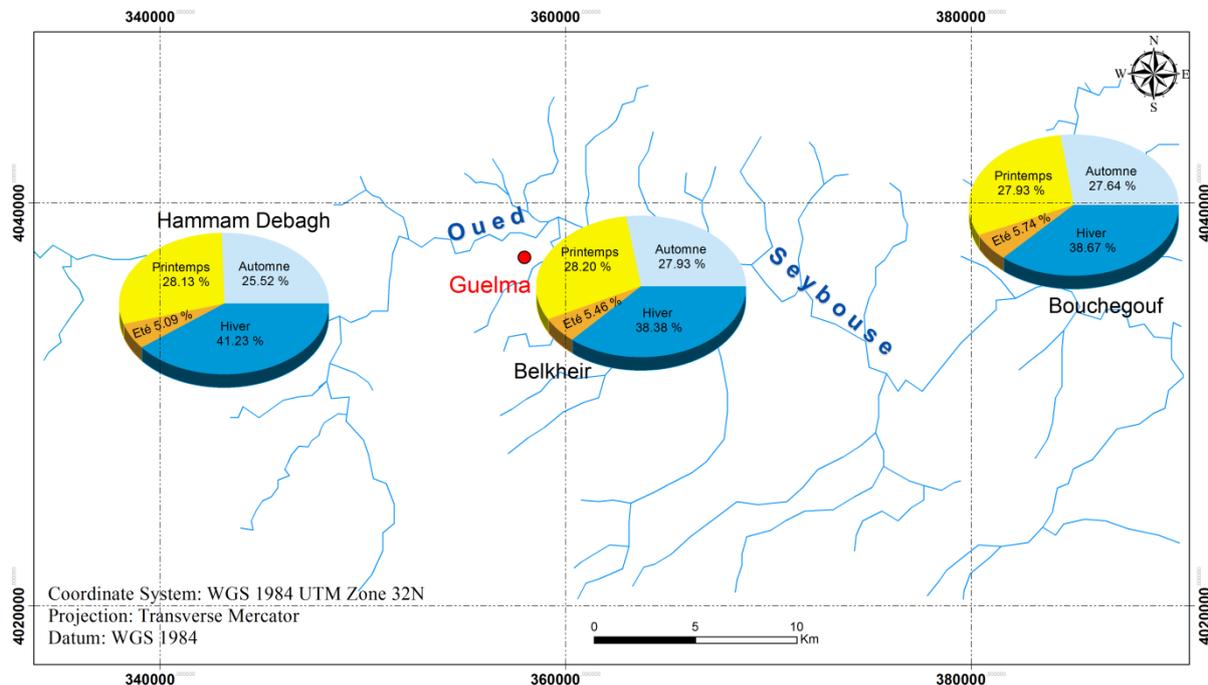


Fig. N° 9 : Répartition saisonnière des précipitations (Aissaoui, 2018)

II.1.3. Précipitations moyennes annuelles

Les valeurs des précipitations moyennes annuelles permettent de caractériser la pluviosité pour chaque année.

La répartition des pluies annuelles présente d'importantes irrégularités, ce phénomène peut être exprimé par la variabilité interannuelle des précipitations. Les valeurs extrêmes des précipitations et plus particulièrement celles des années humides changent souvent d'une station à l'autre

Les précipitations moyennes annuelles pour les 03 stations sont les suivantes :

Satation de Belkheir : 602,225 mm

Station de H. Debagh : 564,09 mm

Station de Bouchegouf : 613,885 mm

Les précipitations sont résumées dans les Figures. N° 10, 11 et 12, qui illustrent les variations des précipitations par rapport à la moyenne atteinte au niveau de la station sur une période de 20 ans.

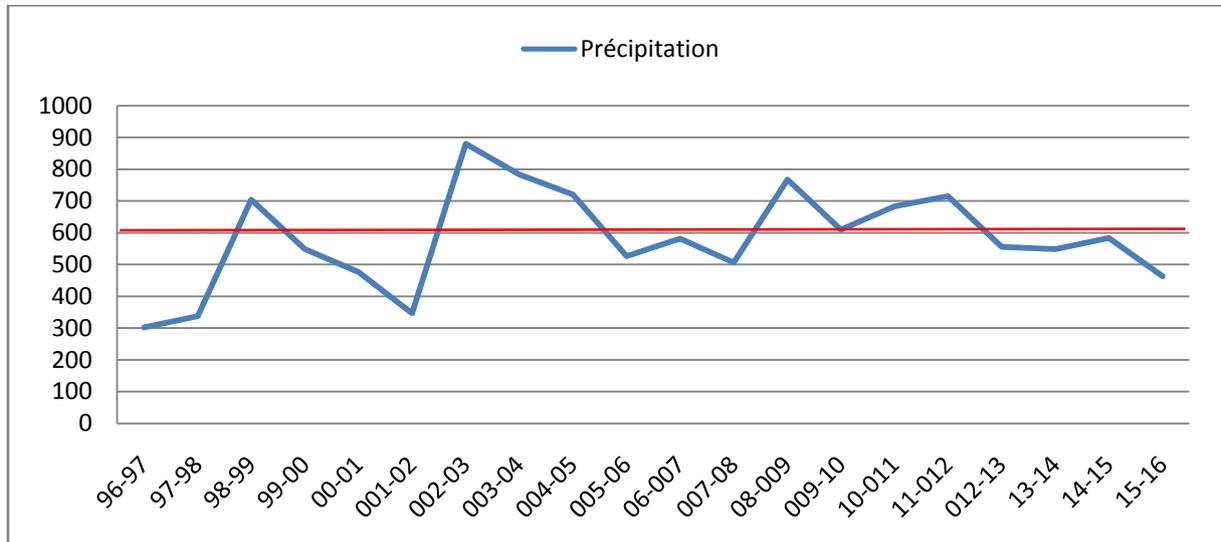


Fig. N° 10: Précipitations moyennes annuelles de la station de Belkheir

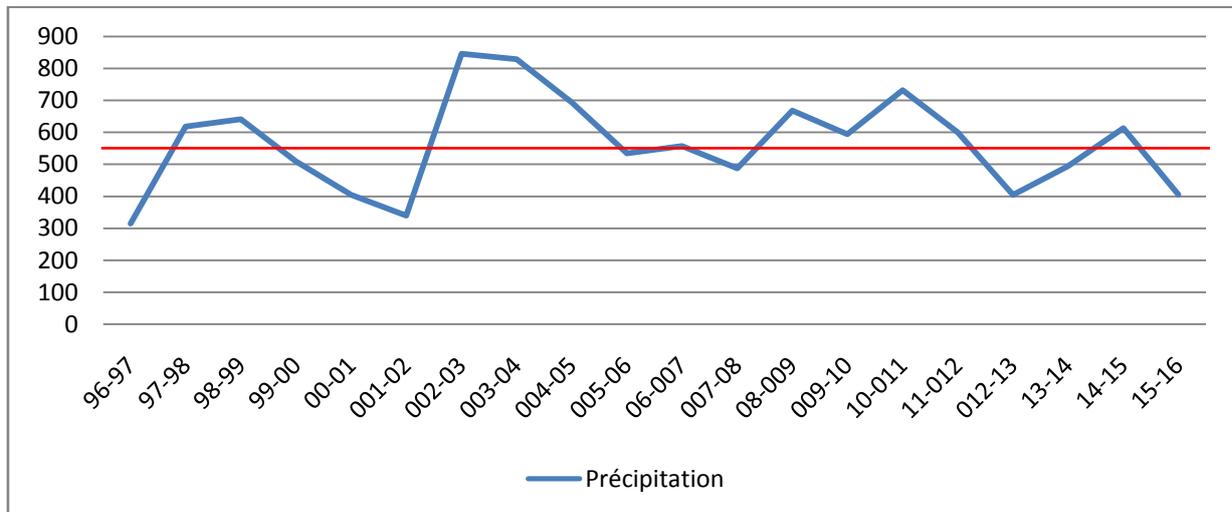


Fig. N° 11: Précipitations moyennes annuelles de la station de Barrage H. Debagh

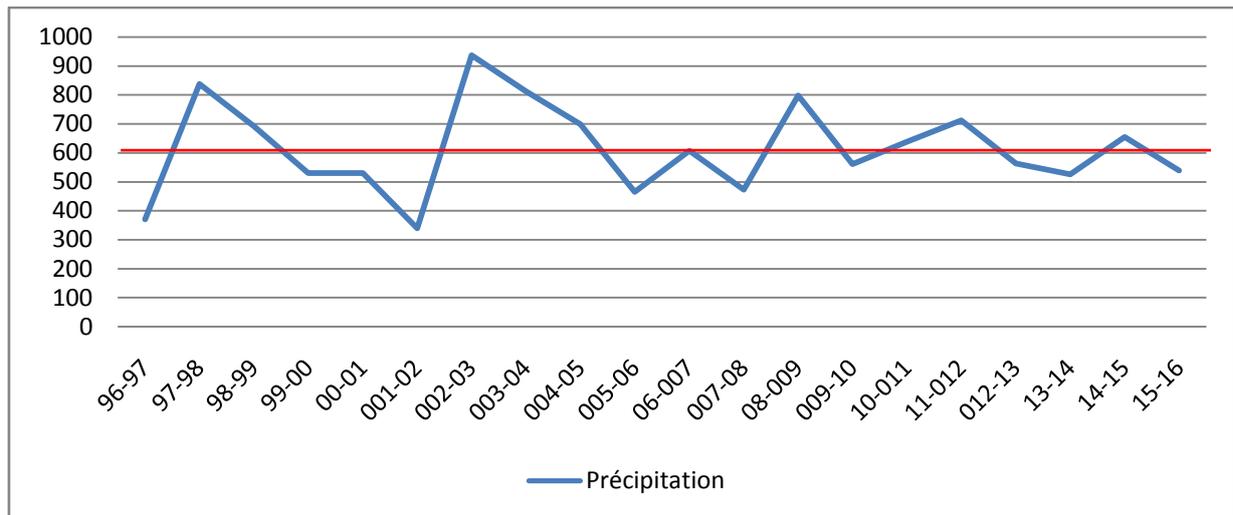


Fig. N° 12: Précipitations moyennes annuelles de la station de Bouchegouf

II.1.3.1. Coefficient pluviométrique : C.P

La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le coefficient pluviométrique (C.P).

Ce paramètre est très important pour la détermination des années excédentaires et des années déficitaires, le coefficient pluviométrique est donné par la formule suivante :

$$CP = P/P_{moy}$$

CP : coefficient pluviométrique.

P : pluviométrie annuelle de l'année en (mm).

P_{moy} : pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

Ce paramètre est proportionnel avec la pluviométrie.

Si :

$CP > 1 \rightarrow$ Année excédentaire,

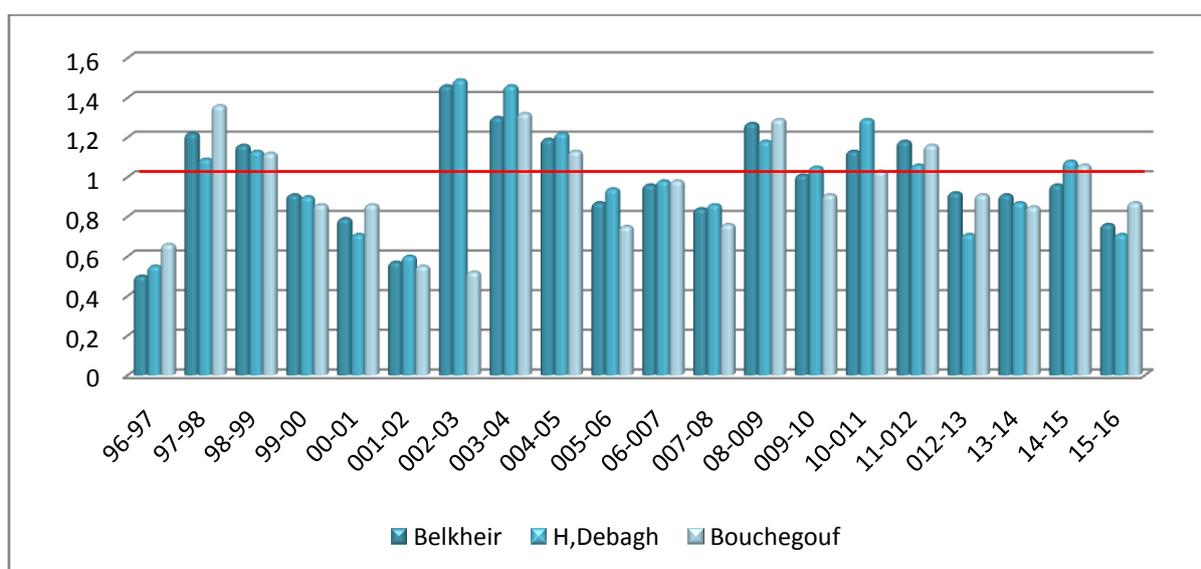
$CP < 1 \rightarrow$ Année déficitaire.

Le calcul du coefficient de variation durant les périodes d'observation met en évidence les années déficitaires et excédentaires pour les trois stations. (Tableau 10 et Fig. N° 13)

Tableau 10 : Coefficients pluviométriques des stations (1996-2016)

Année	Pluies annuelles station Belkhier	Cp station Belkheir	observation	Pluies annuelles Station de H Debagh	Cp Station De H Debagh	observation	Pluies Annuelles Station Bouchegouf	Cp Station Bouch-gouf	Observation
96-97	302.5	0.5	déficitaire	314.8	0,55	Déficitaire	370.4	0.66	Déficitaire
97-98	737.5	1.22	excédentaire	618.1	1,09	excédentaire	836.9	1.36	excédentaire
98-99	704.4	1.16	excédentaire	641.3	1,13	excédentaire	691.5	1.12	excédentaire
99-00	548.9	0.91	déficitaire	508.8	0,9	Déficitaire	529.4	0.86	Déficitaire
00-01	476.8	0.79	déficitaire	404.8	0,71	Déficitaire	529.9	0.86	Déficitaire
01-02	347.1	0.57	déficitaire	339.4	0,6	Déficitaire	339.4	0.55	Déficitaire
02-03	880.5	1.46	excédentaire	845.2	1,49	excédentaire	936.4	1.52	excédentaire
03-04	783.5	1.3	excédentaire	827.9	1,46	excédentaire	811.9	1.32	excédentaire
04-05	720.5	1.19	excédentaire	693.6	1,22	excédentaire	698.4	1.13	excédentaire
05-06	527	0.87	déficitaire	533.8	0,94	Déficitaire	465.1	0.75	Déficitaire
06-07	581.6	0.96	déficitaire	557.3	0,98	Déficitaire	607	0.98	Déficitaire
07-08	507	0.84	déficitaire	487.2	0,86	Déficitaire	472.5	0.76	Déficitaire
08-09	767.9	1.27	excédentaire	667.7	1,18	excédentaire	797.5	1.29	excédentaire
09-10	609.8	1.01	excédentaire	593.6	1,05	excédentaire	560.5	0.91	Déficitaire
10-11	683	1.13	excédentaire	731.4	1,29	excédentaire	637.3	1.03	excédentaire
11-12	715.2	1.18	excédentaire	600	1,06	excédentaire	712.2	1.16	excédentaire
12-13	555.5	0.92	déficitaire	404.6	0,71	Déficitaire	563.2	0.91	Déficitaire
13-14	549.1	0.91	déficitaire	494.2	0,87	Déficitaire	225.3	0.85	Déficitaire
14-15	583.5	0.96	déficitaire	612.5	1,08	excédentaire	654.3	1.06	excédentaire
15-16	463.2	0.76	déficitaire	405.6	0,71	Déficitaire	538.7	0.87	Déficitaire

Le tableau 10 montre l'évolution de la pluviométrie au cours des différentes années de 1996-2016. Cette méthode a l'avantage de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires.

**Fig. N° 13 : Représentation du coefficient pluviométrique dans les trois stations**

II.2. Température

La température joue un rôle déterminant dans l'étude de l'évaporation et de l'évapotranspiration. Elle permet d'étudier l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement annuel et saisonnier et intervient dans le développement du rythme biologique des végétaux, et elle facilite l'établissement du bilan hydrique.

Pour l'étude des températures nous avons utilisé les données moyennes mensuelles mesurées au niveau des trois stations sur une période de 20 ans. (Tableau 11)

Tableau 11 : Température moyenne mensuelle (C°)

Station / mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Belkheir	24.19	20.49	15	11.31	10.22	10.30	12.97	15.59	19.74	24.41	27.53	27.96
H. Debagh	24.07	20.41	15.10	11.74	10.64	11.16	13.58	17.46	20.62	25.30	28.09	28.29
Boucheougouf	23.93	20.2	14.9	11.69	10.43	10.87	13.22	17.11	20.61	25.21	27.97	27.34

Dans l'histogramme de la température moyenne mensuelle nous constatons une variation progressive des températures au cours de la période étudiée, nous remarquons ainsi que le mois le plus chaud est le mois d'Aout dans les stations de Hammam Debagh et Belkeir avec une température de l'ordre 28.29 et 27.87 respectivement, par contre le mois de juillet est le plus chaud dans la station de Boucheougouf avec une température de l'ordre de 27,97 ° C. (Fig. N° 14)

Les trois stations météorologiques indiquent que Le mois le plus froid est le mois de Janvier avec une température de l'ordre 10°c.

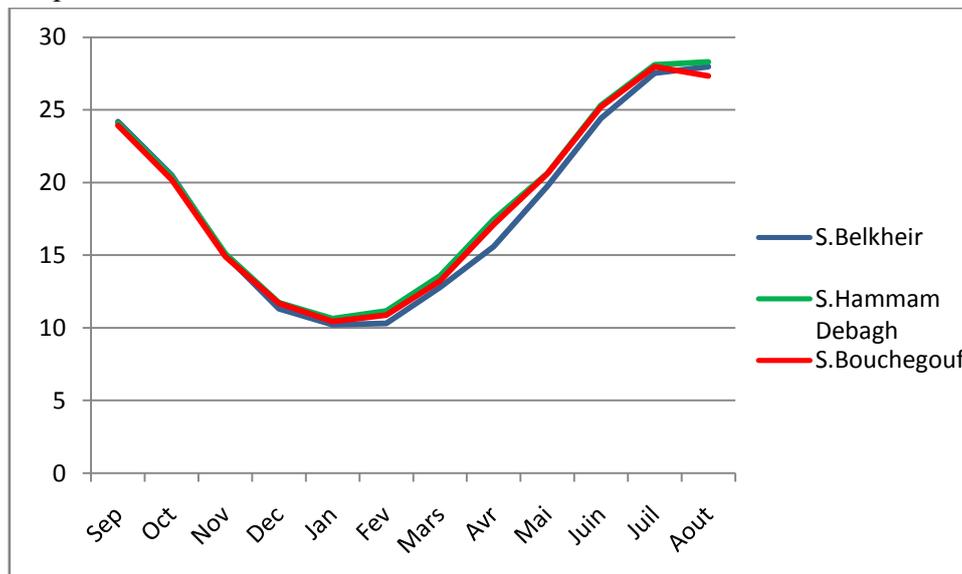


Fig. N° 14 : Température moyenne mensuelle dans les trois stations

Du point de vue hydro chimique, les valeurs de la température, indiquent que pendant la période d'été, on observera une évaporation de l'eau et en même temps une augmentation de la concentration en éléments chimiques dans les eaux de l'Oued Seybouse.

III. Classification climatique en fonction de l'indice d'aridité

L'indice climatique donne un aperçu sur les caractéristiques du climat de la région. Nous calculons en premier l'indice de Martonne, qui va nous renseigner sur les caractéristiques régionales du climat.

III.1. Indice d'aridité de Martonne

III.1.1. Indice d'aridité Annuel

Le géographe français Emmanuel de Martonne élabore un système de classification des climats par une méthode statistique (Tableau 12). Il utilise un indice synthétique regroupant des données hydrométriques et thermiques, De Martonne (1923) a défini l'aridité du climat à l'échelle annuelle par le quotient A. (Fig. N°15)

Cet indice est calculé d'après la formule suivante (Foucault, 2009):

$$A = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

P: précipitation moyenne annuelle en (mm).

T : température moyenne annuelle en C°.

A : indice d'aridité annuelle.

Tableau 12 : Type de climat selon la valeur de l'indice de DE Martonne

Valeur de I	Type de Climat	Type de végétation potentielle
$A < 5$	climat hyperaride.	Désert absolu
$5 < A < 7,5$	climat désertique.	Désert
$7,5 < A < 10$	Climat steppique	Désert
$10 < A < 20$	Climat Semi-aride	steppe
$20 < A < 30$	Climat Tempéré	Prairie naturel, foret
$30 < A < 55$	Climat Humide	foret

D'après cette classification nous observons que l'aridité augmente quand l'indice diminue. L'interprétation des données météorologiques des stations étudiées, fait ressortir les résultats suivants (Tableau 13) :

Tableau 13 : Indice annuel d'aridité (A)

Station	T	P	A	Observation
Belkheir	18,31	602,22	21.27	Climat Tempéré
H.Debagh	18,87	564,09	19.53	Climat Semi-aride
Bouchegouf	18,62	613,88	21.44	Climat Tempéré

D'après le tableau 13, la région d'étude est soumise aux deux types de climat, un tempéré pour la zone de Belkheir et Bouchegouf, et l'autre Semi-aride au niveau de la commune Hammam debagh, où on note que la station de Bouchegouf représente la station la plus tempérée.

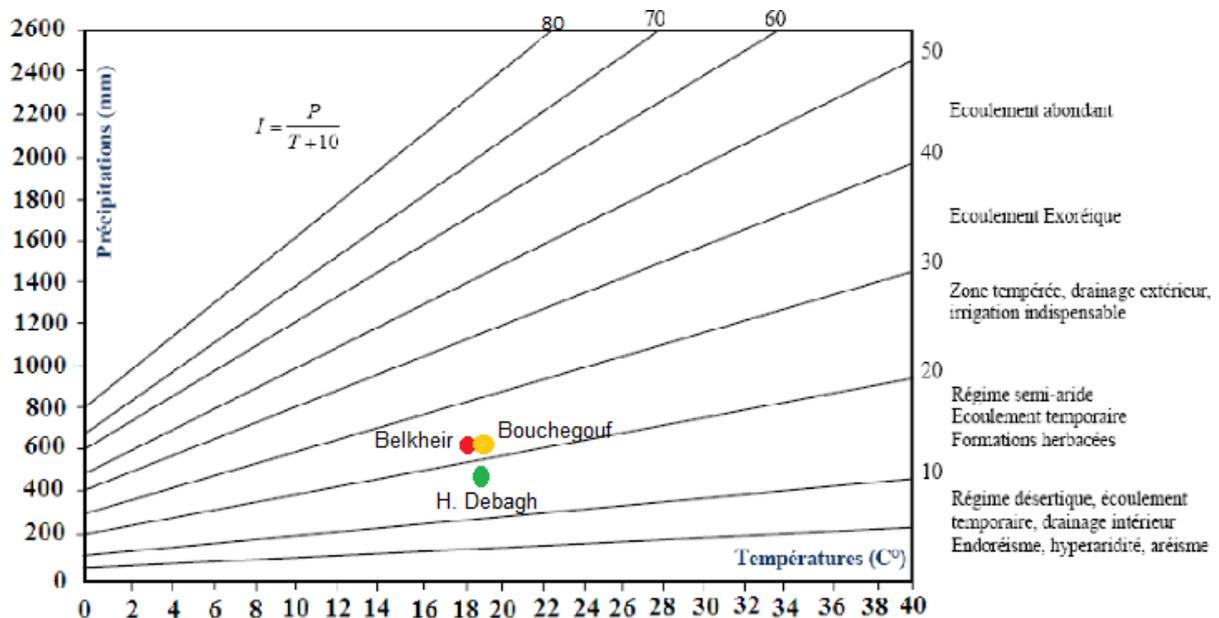


Fig. N° 15 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne

III.1.2. Indice d'aridité mensuel

De Martonne a également défini un indice utilisable à l'échelle mensuelle, pour un mois donné caractérisé par une précipitation et une température.

L'indice d'aridité mensuel est :

$$\text{IDM} = \frac{12P}{T + 10}$$

Où :

IDM : Indice d'aridité mensuel.

P : Précipitations moyennes mensuelles en mm.

T : Température moyenne mensuelle en °C.

Cette équation définit l'évolution des conditions climatiques au cours de l'année d'observation, les résultats obtenus sont représentés dans le Tableau 14 ci-dessous.

Tableau 14 : Indices d'aridité mensuels (IDM)

Mois	Station de Belkheir	Station de H.Debagh	Station de Bouchegouf	Moyenne IDM	Etage bioclimatique
Septembre	16.13	14.24	17.22	15,863	Semi-aride
Octobre	18.90	15.25	20.19	18,113	Semi-aride
Novembre	35.63	31.02	33.83	33,493	Humide
Décembre	43.88	45.25	45.72	44,95	Humide
Janvier	51.12	45.79	49.51	48,807	Humide
Février	39.65	40.75	40.50	40,3	Humide
Mars	35.86	32.49	37.20	35,183	Humide
Avril	26.35	21.7	25.84	24,63	tempéré
Mai	18.14	17.71	16.11	17,32	Semi-aride
Juin	4.99	5.16	4.25	4,8	hyperaride
Juillet	0.85	1.23	1.46	1,18	hyperaride
Aout	5.03	3.02	5.82	4,6233	hyperaride

III.2. Diagramme pluviométrique de Gausson ($P=2T$) (courbe ombrothermique)

L'indice d'aridité de Gausson est encore valable jusqu'à l'heure actuelle, c'est un des indices les plus utilisés, Il s'agit de la combinaison des températures et des précipitations moyennes mensuelles, il permet de déterminer les saisons sèches et humides. Il donne ainsi une expression relative de la sécheresse estivale en durée et en intensité (Gausson et Bagnouls, 1952).

Les diagrammes établis font ressortir deux périodes pour les trois stations (Fig. 16, 17 et 18):

- Une saison estivale sèche et chaude qui s'étend du mois de Mai jusqu'à Octobre à la station de Barrage Hammam Debagh , du mois Mai jusqu'à Septembre à la station de Belkheir et du mois Mai jusqu'au mois d'Aout au niveau de la station de Bouchegouf.
- Une saison hivernale humide qui dure environ sept mois qui s'étale du mois de Novembre jusqu'à Mai à la station de Hammam Debagh, d'Octobre jusqu'à Mai à la station de Belkheir et enfin de Septembre jusqu'à Mai à la station de Bouchegouf.

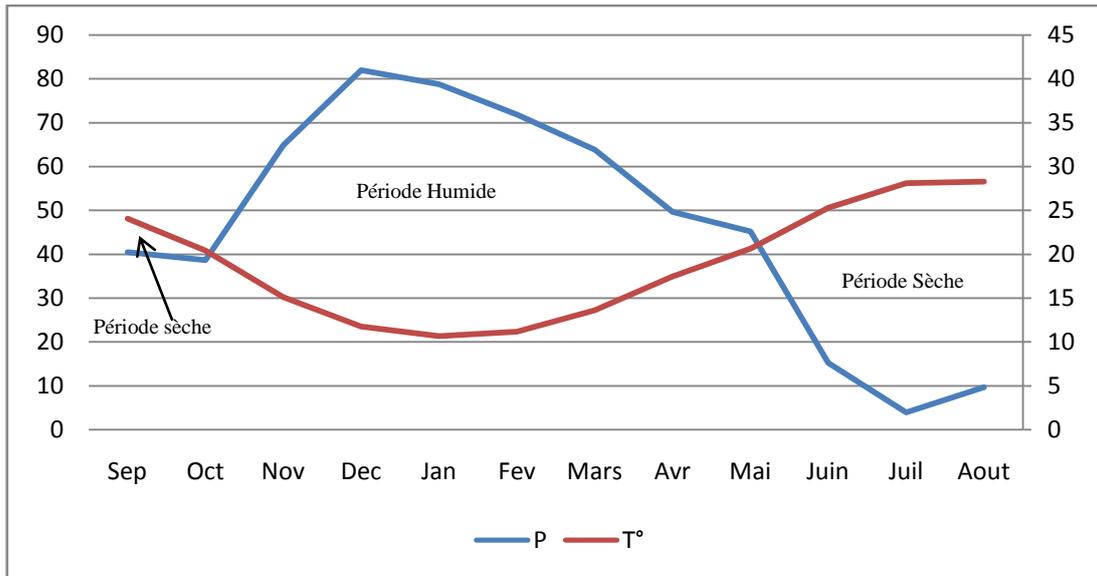


Fig. N° 16 : Courbe ombro thermique : Station du Barrage H.Debagh

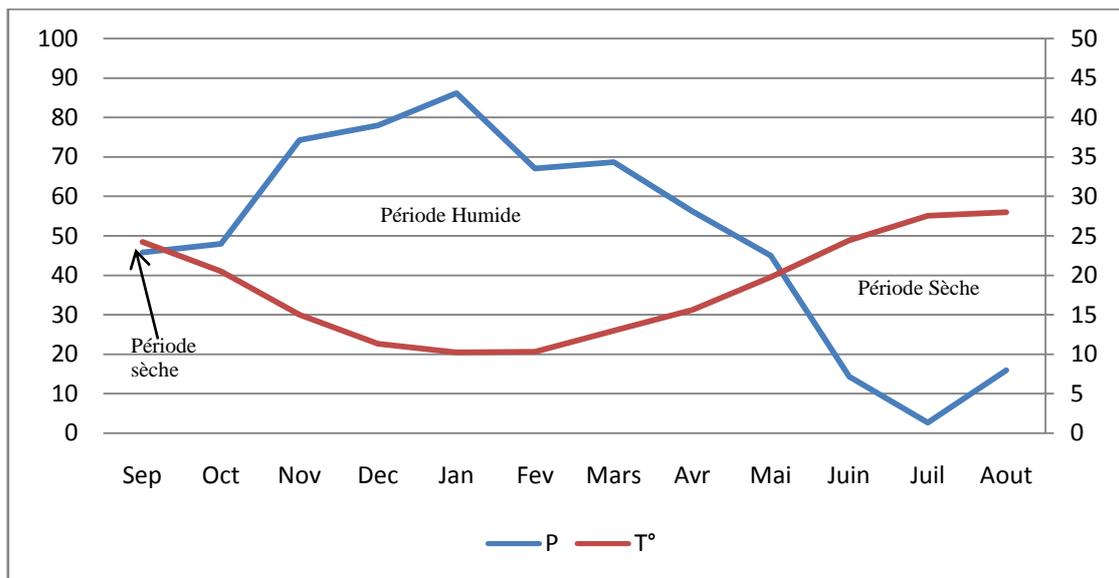


Fig. N° 17 : Courbe ombrothermique – Station de Belkheir

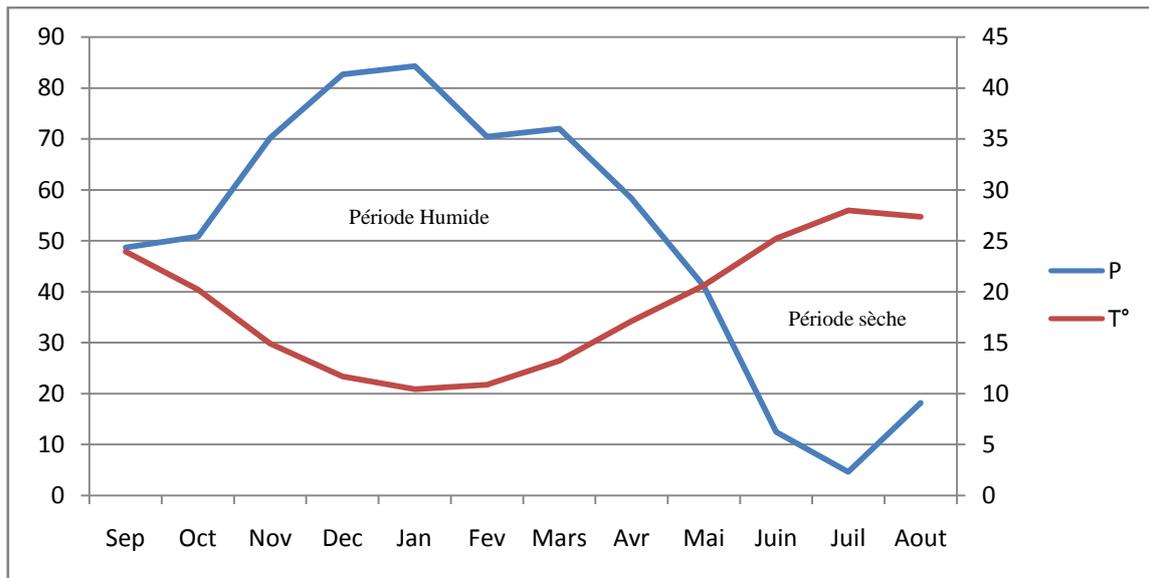


Fig. N° 18 : Courbe ombrothermique – Station de Bouchegouf

IV. Estimation des paramètres du Bilan Hydrique

Le bilan de l'eau est fonction d'un certain nombre de facteurs : les précipitations, l'infiltration, le ruissellement et surtout l'évapotranspiration. L'étude de ce dernier facteur permet d'évaluer la répartition de la quantité d'eau reçue dans un bassin versant entre ses différents composants (écoulement, infiltration et évaporation).

Il est calculé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETR : Evaporation réelle moyenne annuelle en (mm).

R : Ruissellement moyen annuel en (mm).

IV.1. Evapotranspiration

Dans les études hydrogéologiques, les deux éléments principaux du bilan, évaporation et transpiration sont réunis en un seul : l'évapotranspiration.

L'évapotranspiration ou l'évaporation totale (E.T) est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (phénomène biologique).

On distingue :

- L'évapotranspiration réelle (E.T.R)

- L'évapotranspiration potentielle (E.T.P)

IV.1.1 Evapotranspiration réelle

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement (ETR) la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique pour une surface donnée et une période définie.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR), nous avons essayé de faire son estimation par les deux formules suivantes :

- Formule de Thornthwaite.
- Formule de Turc.

a. Formule de Thornthwaite (Tableau 17,18 et 19).

Cette méthode est décrite en détail plus loin et les résultats sont représentés dans le tableau du bilan hydrique.

b. Formule de Turc

La formule de L. Turc permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle mensuelle moyenne et tenant compte de la durée réelle de l'insolation.

$$ETR = \frac{p}{\sqrt{0.9 + \frac{p^2}{L^2}}} \quad \text{Avec : } L = 300 + 25 \times T + 0,05 \times T^3$$

P : Précipitations moyennes annuelles (mm)

T : Températures moyennes annuelles (°C)

ETR : Evapotranspiration réelle (mm)

L : Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

A partir de cette méthode les résultats sont récapitulés dans le tableau 15.

Tableau 15 : Résultats de l'ETR par la méthode de Turc

Paramètres	P (mm)	T	ETR (mm/an)
Station de Belkheir	602,225	18.31	545.24
Station de Hammam Debagh	564,09	18.87	523.89
Station de Boucehgouf	613,885	18.62	556.19

D'après les résultats trouvés, l'ETR, calculée par la méthode de Turc semble être surestimée pour tous les mois de l'année, par contre la méthode de Thornthwaite présente des résultats assez proches de la réalité de la zone d'étude.

Tableau 16 : Comparaison de l'ETR selon turc et thornthawaite

Méthode	Belkheir	H.Debagh	Boucehgouf
Turc	545.24	523.89	556.19
Thornthwaite	450.3	431.1	461.7

IV.1.2. Evapotranspiration potentielle (ETP)

Dans les études hydrogéologiques, les deux éléments principaux du bilan, évaporation et transpiration sont réunis en un seul terme: l'évapotranspiration.

On appelle évapotranspiration potentielle (ETP), la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifié (gazon) bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance. Elle comprend donc l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration du couvert végétal pendant le temps considéré pour un terrain donné.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle nous avons utilisé la formule de Thornthwaite (1954) qui a établi une correction entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration mensuelle, l'auteur définit d'abord un indice thermique mensuel (i),

Où :

$$I = \sum_1^{12} i ; \quad a = \left(\frac{1.6}{100}\right) I + 0.5 ; \quad i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.5}$$

$$\text{ETP} = 16 \left(\frac{10 T}{I}\right)^a \cdot K$$

Avec:

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle en (mm).

T : température moyenne mensuelle en (c°).

i : indice thermique mensuel.

I : la somme des indices mensuels de l'année.

K : facteur correctif intégrant la durée d'insolation et la température.

Le principe de calcul du bilan hydrologique de Thornthwaite est le suivant :

- si pour un mois $P \geq ETP$ on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste ($P - ETR$) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 m) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès (WS) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous forme de ruissellement.
- si $P < ETP$, la valeur de ETR = P + RFU, jusqu'à égalisation avec ETP.
- si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $Da = ETP - ETR$, ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

Les pertes d'eau d'un sol atteignent l'ETP si elles sont supérieures ou égales au stock d'eau de la RFU. En cas d'insuffisance elles sont limitées à une quantité plus petite, cette limite est appelée l'évapotranspiration réelle (Castany, 1982). Cette estimation se fera à partir des formules de Turc et de Thornthwaite.

Les valeurs de l'ETP mensuelle calculées, sont multipliées au moyen d'un coefficient d'ajustement mensuel (K) qui tient compte du nombre de jours et d'heures réelles entre le lever et le coucher du soleil. Ces coefficients utilisés par la station météorologique de Guelma sont tirés d'abaques. (Benmarce, 2015)

Les résultats obtenus des différents paramètres du bilan hydrique sont récapitulés dans les tableaux 17, 18 et 19 et les Fig. N° 19, 20 et 21.

Tableau 17: Bilan hydrique selon Thornthwaite - Station de Belkheir (1996/97-2015/16)

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	24,19	10,9	1,03	112,4	45,97	-66,5	-0,6	0,0	0,0	46,0	66,5	0,0
O	20,49	8,5	0,97	76,8	48,04	-28,8	-0,4	0,0	0,0	48,0	28,8	0,0
N	15,00	5,3	0,86	37,3	74,24	37,0	1,0	37,0	37,0	37,3	0,0	0,0
D	11,31	3,4	0,81	20,3	77,94	57,6	2,8	57,6	94,6	20,3	0,0	0,0
J	10,22	3,0	0,87	17,9	86,15	68,2	3,8	5,4	100,0	17,9	0,0	62,8
F	10,30	3,0	0,85	17,8	67,08	49,3	2,8	0,0	100,0	17,8	0,0	49,3
M	12,97	4,2	1,03	33,7	68,66	35,0	1,0	0,0	100,0	33,7	0,0	35,0
A	15,59	5,6	1,10	51,3	56,20	4,9	0,1	0,0	100,0	51,3	0,0	4,9
M	19,74	8,0	1,21	89,1	44,98	-44,2	-0,5	-44,2	55,8	89,1	0,0	0,0
J	24,41	11,0	1,22	135,5	14,32	-121,2	-0,9	-55,8	0,0	70,2	65,4	0,0
J	27,53	13,2	1,24	173,8	2,67	-171,2	-1,0	0,0	0,0	2,7	171,2	0,0
A	27,96	13,5	1,16	167,6	15,94	-151,6	-0,9	0,0	0,0	15,9	151,6	0,0
Annuel	18,3	89,6		933,6	602,2	-331,5				450,3	483,4	151,9

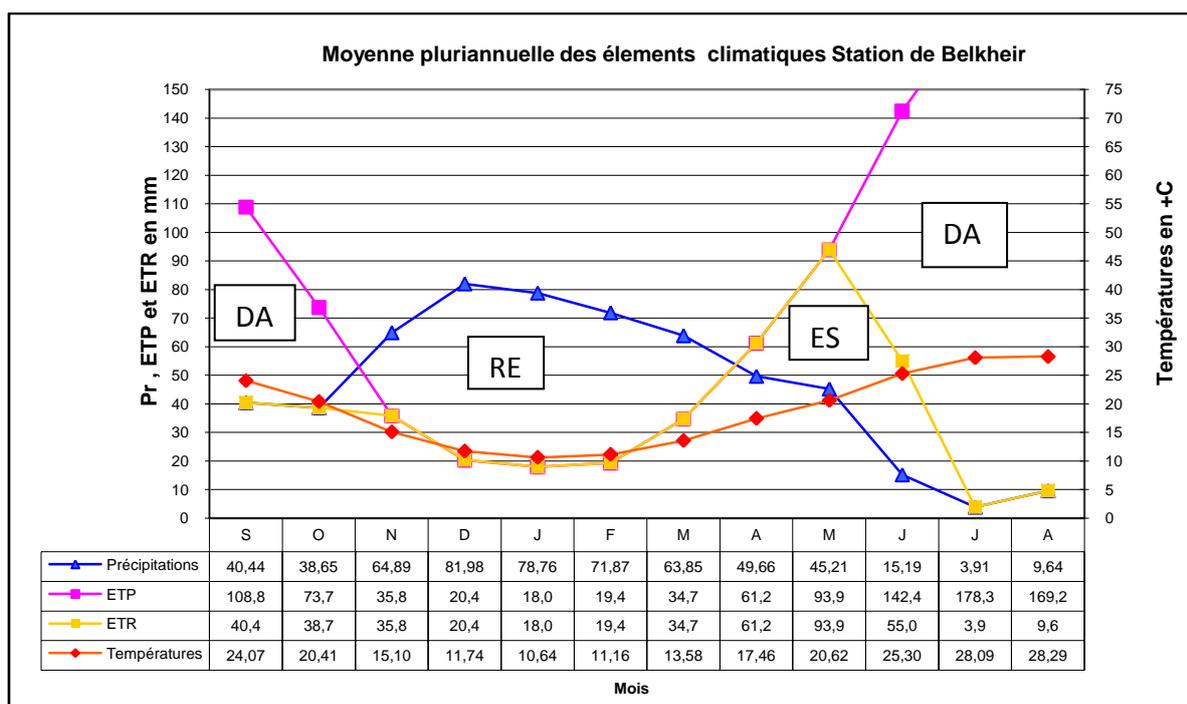


Fig. N° 19 : Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite - Station de Belkheir (1996/97- 2015/16)

Tableau 18 : Bilan hydrique selon Thornthwaite. Station de H.Debagh (1996/97-2015/16)

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	24,07	10,8	1,03	108,8	40,44	-68,4	-0,6	0,0	0,0	40,4	68,4	0,0
O	20,41	8,4	0,97	73,7	38,65	-35,1	-0,5	0,0	0,0	38,7	35,1	0,0
N	15,10	5,3	0,86	35,8	64,89	29,1	0,8	29,1	29,1	35,8	0,0	0,0
D	11,74	3,6	0,81	20,4	81,98	61,6	3,0	61,6	90,6	20,4	0,0	0,0
J	10,64	3,1	0,87	18,0	78,76	60,7	3,4	9,4	100,0	18,0	0,0	51,4
F	11,16	3,4	0,85	19,4	71,87	52,5	2,7	0,0	100,0	19,4	0,0	52,5
M	13,58	4,5	1,03	34,7	63,85	29,1	0,8	0,0	100,0	34,7	0,0	29,1
A	17,46	6,6	1,10	61,2	49,66	-11,6	-0,2	-11,6	88,4	61,2	0,0	0,0
M	20,62	8,5	1,21	93,9	45,21	-48,7	-0,5	-48,7	39,8	93,9	0,0	0,0
J	25,30	11,6	1,22	142,4	15,19	-127,2	-0,9	-39,8	0,0	55,0	87,4	0,0
J	28,09	13,6	1,24	178,3	3,91	-174,4	-1,0	0,0	0,0	3,9	174,4	0,0
A	28,29	13,8	1,16	169,2	9,64	-159,5	-0,9	0,0	0,0	9,6	159,5	0,0
Annuel	18,9	93,5		955,8	564,1	-391,8				431,1	524,8	133,0

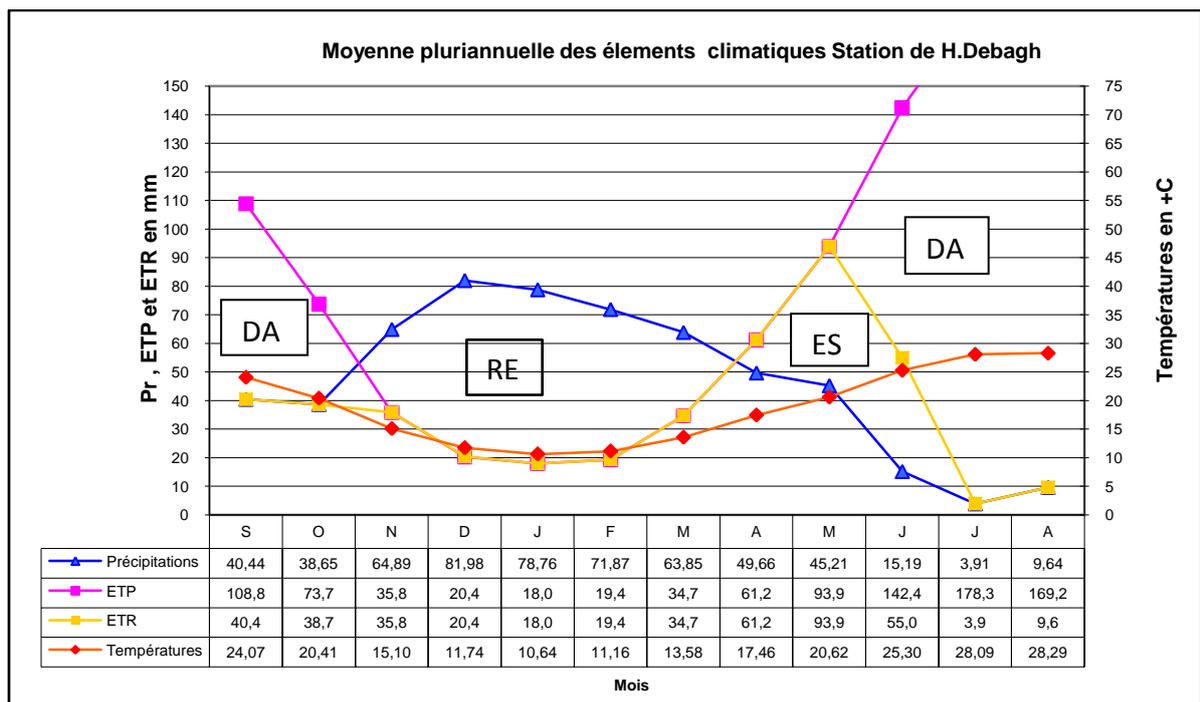


Fig. N° 20 : Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite - Station de H.Debagh (1996/97- 2015/16)

Tableau 19: Bilan hydrique selon Thornthwaite. Station de Bouchegouf (1996/97-2015/16)

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	23,93	10,7	1,03	108,8	48,70	-60,1	-0,6	0,0	0,0	48,7	60,1	0,0
O	20,20	8,3	0,97	73,4	50,83	-22,6	-0,3	0,0	0,0	50,8	22,6	0,0
N	14,90	5,2	0,86	35,8	70,20	34,4	1,0	34,4	34,4	35,8	0,0	0,0
D	11,69	3,6	0,81	20,9	82,65	61,7	3,0	61,7	96,2	20,9	0,0	0,0
J	10,43	3,0	0,87	17,9	84,30	66,4	3,7	3,8	100,0	17,9	0,0	62,5
F	10,87	3,2	0,85	19,0	70,45	51,4	2,7	0,0	100,0	19,0	0,0	51,4
M	13,22	4,4	1,03	33,9	71,99	38,1	1,1	0,0	100,0	33,9	0,0	38,1
A	17,11	6,4	1,10	60,1	58,38	-1,7	0,0	-1,7	98,3	60,1	0,0	0,0
M	20,61	8,5	1,21	95,3	41,10	-54,2	-0,6	-54,2	44,2	95,3	0,0	0,0
J	25,21	11,6	1,22	142,7	12,48	-130,3	-0,9	-44,2	0,0	56,7	86,1	0,0
J	27,97	13,6	1,24	178,0	4,63	-173,3	-1,0	0,0	0,0	4,6	173,3	0,0
A	27,34	13,1	1,16	159,2	18,14	-141,1	-0,9	0,0	0,0	18,1	141,1	0,0
Annuel	18,6	91,7		944,9	613,9	-331,0				461,7	483,1	152,1

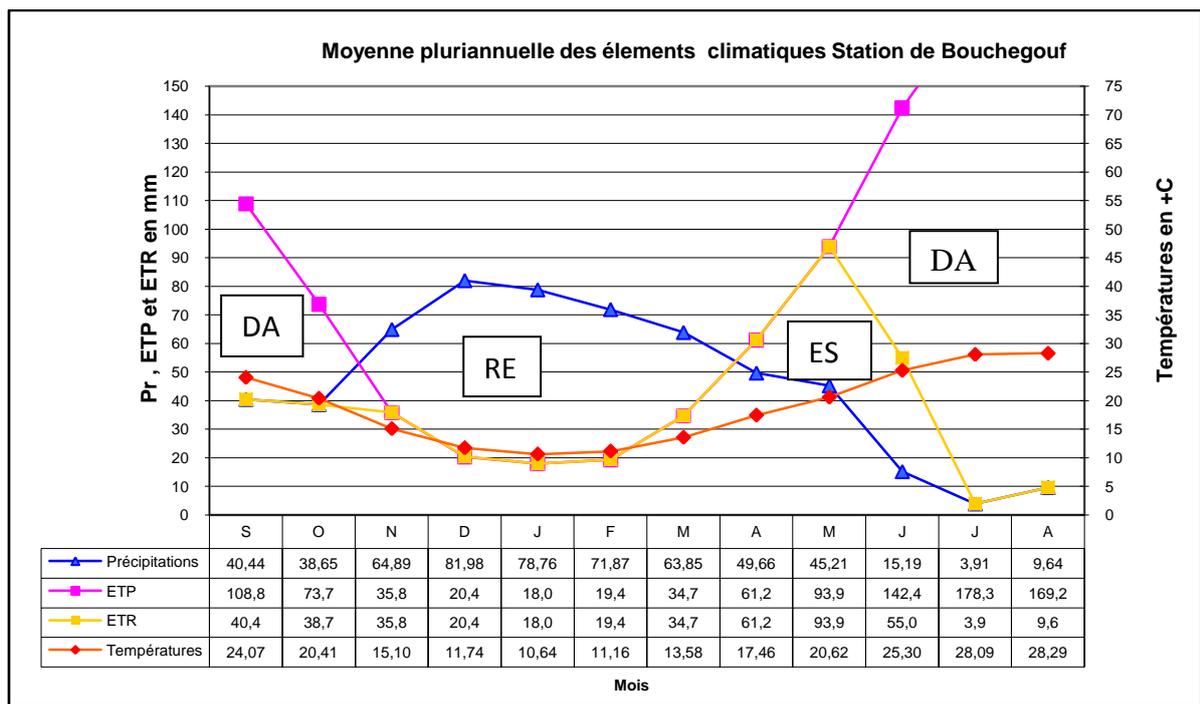


Fig. N° 21 : Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite - Station de Bouchegouf (1996/97- 2015/16)

Tableau 20 : Paramètres du bilan hydrique dans la zone d'étude (mm) (1996-2016)

Station	P	T	ETP	ETR	Déficit	BH	Excédent
Belkheir	602.2	18.3	933.6	450.3	483.4	-331.5	151.9
H.Debagh	564.1	18.9	955.8	431.1	524.8	-391.8	133
Boucheougouf	613.9	18.6	944.9	461.7	483.1	-331.1	152.1

Le bilan hydrique (BH) a été établi selon la méthode de Thornthwaite parce qu'elle est la plus appropriée au climat semi aride à tempéré de la zone d'étude.

Les résultats obtenus du bilan hydrique des trois stations (Belkheir, Hammam Debagh et Boucheougouf) illustrés dans les tableaux et les graphismes précédents, nous ont permis de tirer les observations suivantes :

- La région d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 602.25 mm (Belkheir), 564.1mm (Hammam Debagh) et 613.9 (Boucheougouf)
- L'ETP dans les trois stations atteint son maximum durant le mois de Juillet avec 178.3 mm et son minimum au mois de janvier avec 18 mm.
- Lorsque la réserve facilement utilisable RFU est pleine, il y a un surplus d'eau accompagné par un ruissellement et quand elle a tendance à diminuer et au point qu'elle sera carrément vide, il y'a aura un épuisement du stock et par conséquent un déficit agricole est marqué du mois de Juin jusqu'à Octobre pour les trois stations.
- L'écoulement débute après le remplissage de la RFU 100 mm il débute le mois de Janvier et se termine durant le mois de Mars.

IV.2. Estimation du Ruissellement

Le ruissellement s'oppose à l'infiltration, il indique la partie des précipitations qui s'écoulent à la surface du sol quand l'intensité des précipitations dépasse l'infiltration. Le ruissellement (R) peut être calculé par deux formules de Tixeront Berkaloff :

- Tixeront Berkaloff par Romantchouk (1974) pour $P > 600$ mm

$$R = \frac{P^3}{3} \dots \dots \dots (1)$$

- Tixeront Berkaloff., pour $P < 600$ mm

$$R = \frac{P^3}{3} \times ETP^2 \dots \dots \dots (2)$$

Avec :

- **R** : Ruissellement en m ;
- **P** : Précipitation moyenne mensuelle en m ;
- **ETP** : Evapotranspiration potentielle en m.

Les précipitations enregistrées dans la région d'étude avoisinent 600 mm ou un peu moins, ce qui nous amène à utiliser la formule de Tixeront Berkallof, donnant ainsi une estimation avec une erreur de 10 %, les résultats obtenus peuvent être majorés ou diminués de 10 %. La lame d'eau écoulée des précipitations dans les trois stations est reportée sur le tableau 21.

Tableau 21 : Ruissellement selon la formule de Tixeront-Berkaloff

Stations	P (m)	R (m)
Belkheir	0.602	0.072
H.Debagh	0.564	0.054
Bouchegouf	0.613	0.076

IV.3. Estimation de l'Infiltration

L'infiltration désigne le mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol et l'écoulement de cette eau dans le sol et le sous-sol, sous l'action de la gravité et des effets de pression.

Nous estimons l'infiltration par l'équation du bilan hydrique suivante :

$$I = P - ETR - R$$

Où;

I: infiltration (mm) ; P : Précipitation annuelle moyenne (mm), ETR : Evapotranspiration réelle selon Thornthwaite ; R: Ruissellement.

La répartition de la pluie en lames d'eau est illustrée dans le tableau 22.

On remarque dans le tableau 22, que les quantités d'eau ruisselées et infiltrées sont très faibles comparées à celles évaporées.

Tableau 22 : Répartition des lames d'eau dans la zone d'étude

Station	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	R (%)	I (mm)	I (%)
Belkheir	602.2	450.3	72	11.96	79.9	13.28
H. Debagh	564.09	431.1	54	9.57	79	13
Bouchegouf	613.8	461.7	76	12.39	76.2	12.60

Le bilan hydrique établi selon la méthode de Thornthwaite, a permis de nous renseigner sur la répartition de la lame d'eau dans le sol, sous-sol et l'atmosphère durant la période d'étude de 20 ans.

Les proportions des ruissellements représentent vis-à-vis des précipitations respectivement pour les stations de Belkheir, H.Débagh et Bouchegouf 11.96%, 9.57% et 12.39% et pour l'infiltration : 12.28%, 13% et 12.60%.

Les quantités d'eau ruisselées et infiltrées dans la région d'étude sont très faibles comparées à celles évaporées (ETR) et ceci est en étroite corrélation avec le climat de la région qui est semi aride à tempéré.

Conclusion

Cette étude, nous a permis de déterminer les principales caractéristiques climatologiques de la région d'étude.

Un climat semi aride à tempéré caractérisé par des précipitations annuelle de 602.2 mm au niveau de la station de Belkheir, 564.09 mm à la station de Hammam Debagh et 613.88 mm à la station de Bouchegouf, sous une température moyenne de l'ordre 18.3°C, 18.6°C et 18.9 °C respectivement. L'évolution annuelle des précipitations et des températures, permet de distinguer deux périodes : une sèche et chaude et l'autre hivernal et humide

Pour le calcul du bilan hydrique, la valeur de la réserve facilement utilisable (RFU) a été choisie en fonction de la nature des terrains (RFU=100 mm).

L'approvisionnement en eau de la RFU, commence à se reconstituer à partir du mois Novembre jusqu'au mois de Mai.

La formule de Thornthwaite, a permis l'estimation de l'ETR qui montre qu'une grande partie des précipitations est reprise par l'évapotranspiration ETR (450.3 mm pour Belkheir, 431.1 mm pur Hammam Debagh et 461.4.mm pour la station de Bouchegouf).

Le calcul du bilan hydrologique permet de compter tous les éléments d'apport et de sortie d'eau au dessus d'une surface donnée. A partir du mois de novembre, l'apport considérable de la pluie, la chute de température et la diminution de l'évapotranspiration permettent la recharge du sol mais un déficit agricole est enregistré à partir du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre, c'est la période des basses eaux et c'est également la saison durant laquelle on irrigue, afin de rattraper ce déficit les agriculteurs puisent de l'eau des oueds souvent pollués et font contaminer non seulement leurs cultures mais aussi les eaux souterraines.

Les proportions des ruissellements représentent vis-à-vis des précipitations respectivement pour les stations de Belkheir, H.Débagh et Bouchegouf 11.96%, 9.57% et 12.39% et pour l'infiltration : 12.28%, 13% et 12.60%.

Le calcul du bilan hydrique a montré pour les trois stations que les quantités d'eau ruisselées et infiltrées sont très faibles comparées à celles évaporées et ceci est en étroite corrélation avec le climat de la région qui est semi aride à tempéré.

CHAPITRE IV

HYDROGEOLOGIE

I. Introduction

L'étude hydrogéologique d'une région est nécessaire pour l'identification des différents aquifères existants et pour la connaissance des différentes formations qui les constituent. Elle permet aussi d'envisager les échanges souterrains qui peuvent se produire dans les aquifère.

En se basant sur les études réalisées dans la zone d'étude, on a réalisée une synthèse hydrogéologique de la région de Guelma.

II. Identification des aquifères

Le bassin de Guelma est constitué de terrains sédimentaires d'âge Crétacé Oligocène, Mio-Pliocène et Quaternaire. Le fond du bassin est occupé par une plaine alluviale correspondant à un synclinal comblé par des argiles, des conglomérats marno-calcaires, des grès numidiens et des calcaires lacustres, présentant alors plusieurs ensembles lithologiques qui impliquent des zones hydrogéologiques différentes.

Au Sud, des formations fracturées, indice d'une bonne infiltration donc importante accumulation d'eau souterraine. Sur la rive gauche de la Seybouse, on rencontre des formations pour lesquelles l'infiltration se fait très difficilement.

Enfin, au centre les alluvions quaternaires (poudingues, graviers, galets, limons ...) à forte perméabilité et renfermant une nappe très importante. (Fig. N° 22)

Quant à la dépression de Boucheghouf, elle est encadrée à l'Ouest et au Nord par des grès, au Sud par des formations triasiques marneuses et gypseuses et au centre elle est comblée par les alluvions déposées par la Seybouse qui forment trois niveaux : la haute, la moyenne et la basse terrasse. Les alluvions de cette dernière peuvent receler des eaux souterraines alimentées par l'Oued Seybouse là où elles ne sont pas trop argileuses

Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations de la plaine, a permis de distinguer un ensemble du remplissage Mio-Plio-Quaternaire capable de constituer deux réservoirs d'eau :

- le réservoir de la nappe superficielle, représenté par des alluvions argilo-limoneuses au niveau de la nappe phréatique et par les sables de la nappe du cordon dunaire ;
- le réservoir de la nappe des graviers, représenté par des galets et des graviers intercalés avec des lentilles de sable et d'argile. (Béchiri, 2011)

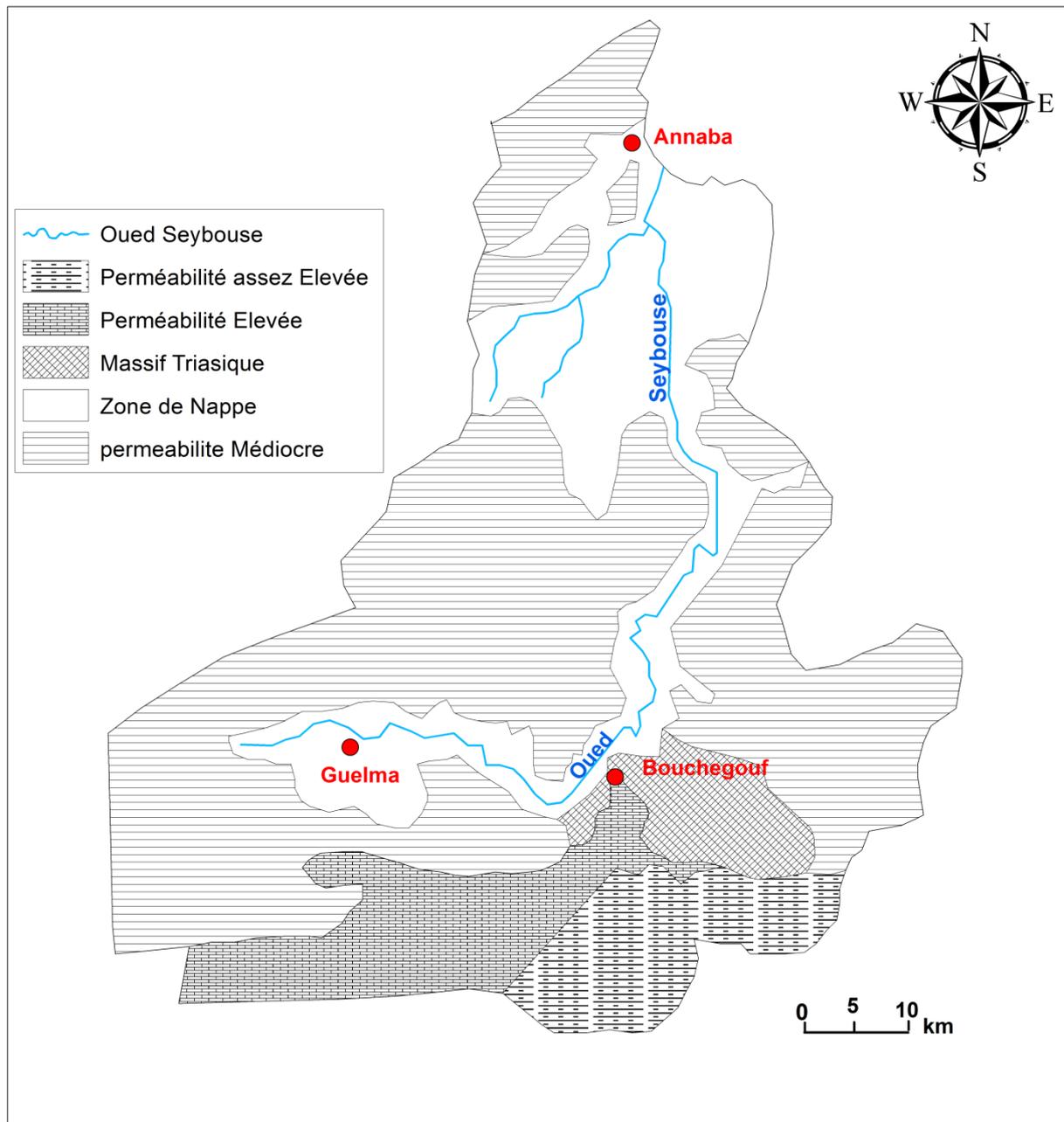


Fig. N° 22 : Esquisse des zones hydrogéologiques du bassin versant de la Seybouse (D'après Ghachi, 1982, modifiée par Aissaoui 2018)

II.1. Les nappes de la plaine de Guelma

Dans la plaine de Guelma, on peut distinguer deux systèmes aquifères différents, l'aquifère des alluvions de Guelma qui se localise au centre de la plaine et la nappe des calcaires de Hammam Bradaa.

II.1.1. L'aquifère des alluvions Mio-Plio-Quaternaires de Guelma

C'est un bassin d'effondrement de 106 km² de superficie, situé au centre de la zone d'étude, comblée par des dépôts miocène et quaternaire et caractérisé par des alluvions quaternaires (poudingues, graviers, galets, marnes et limons) (Sogréah, 2005).

Il est Constitué de terrasses que l'on peut décrire comme suit:

- Aquifère des hautes terrasses (50 Km²), constitué de deux nappes superposées (Tableau 23) ; une nappe libre du Quaternaire et une nappe semi-captive pliocène.

- Aquifère de la vallée actuelle (44 Km²), située au nord et dont l'épaisseur varie entre 10 et 15 m. Elle est exploitée par des puits ordinaires.

- Aquifère des travertins, au Sud de la ville de Guelma dans la haute terrasse, la surface totale est de 27 km² (la surface des travertins contenant une nappe n'est que de 12,5 km² et leur épaisseur de 55 m).

Tableau 23 : Description Hydrogéologique des formations de la plaine de Guelma

Ere	Système	Lithologie	Epaisseur	Intérêt Hydrogéologique	
Quaternaire	Récents	-Alluvions actuelles : galets, calcaires, limons, travertins	8-16 30-50 100	perméables	Aquifère de la basse terrasse
		-Alluvions anciennes : ➤ Basse terrasse : sables, cailloutis, limons.			Aquifère de la moyenne terrasse
		➤ Moyenne terrasse : sables, cailloutis, galets, limons, conglomérats.			Aquifère de la haute terrasse
	ancien	tufs calcaires	-	perméable	
Tertiaire	Mio-Pliocène	argile à gypse	-	impermeable	Substratum
	Pliocène	Travertins	12-55	perméable	Aquifère des travertins

Deux coupes hydrogéologiques de différentes directions sont établies dans la plaine de Guelma, précisément au niveau de **L'aquifère alluvial**, qui a pour but de reconstituer la géométrie de l'aquifère, le type et la nature des nappes aquifères, ainsi que l'évolution latérale de la nappe.

- 1- **Coupe hydrogéologique d'orientation W – E** : une coupe transversale qui a été réalisée en 1974, d'après Gaud, elle a mis en évidence le contact direct entre les travertins à l'Ouest de la ville de Guelma et les alluvions de l'ancienne terrasse. On remarque que la lentille d'argile est plus importante dans le côté Est et plus faible au centre (piézomètre G9). (Fig. N° 23)
- On s'aperçoit que, comme pour les coupes précédentes, la succession des matériaux Pliocène en profondeur, lentilles d'argile et les alluvions Quaternaires fins, en couverture se poursuit d'Est en Ouest, jusqu'à l'arrivée aux travertins, se qui confirme la continuité du faciès dans toute la plaine. C'est la topographie du substratum et l'érosion hydrique qui fait différencier l'épaisseur de la couche des alluvions. Cette dernière atteint le maximum au niveau du forage BA5 avec 110 m en total (en négligeant la mince lentille d'argile)

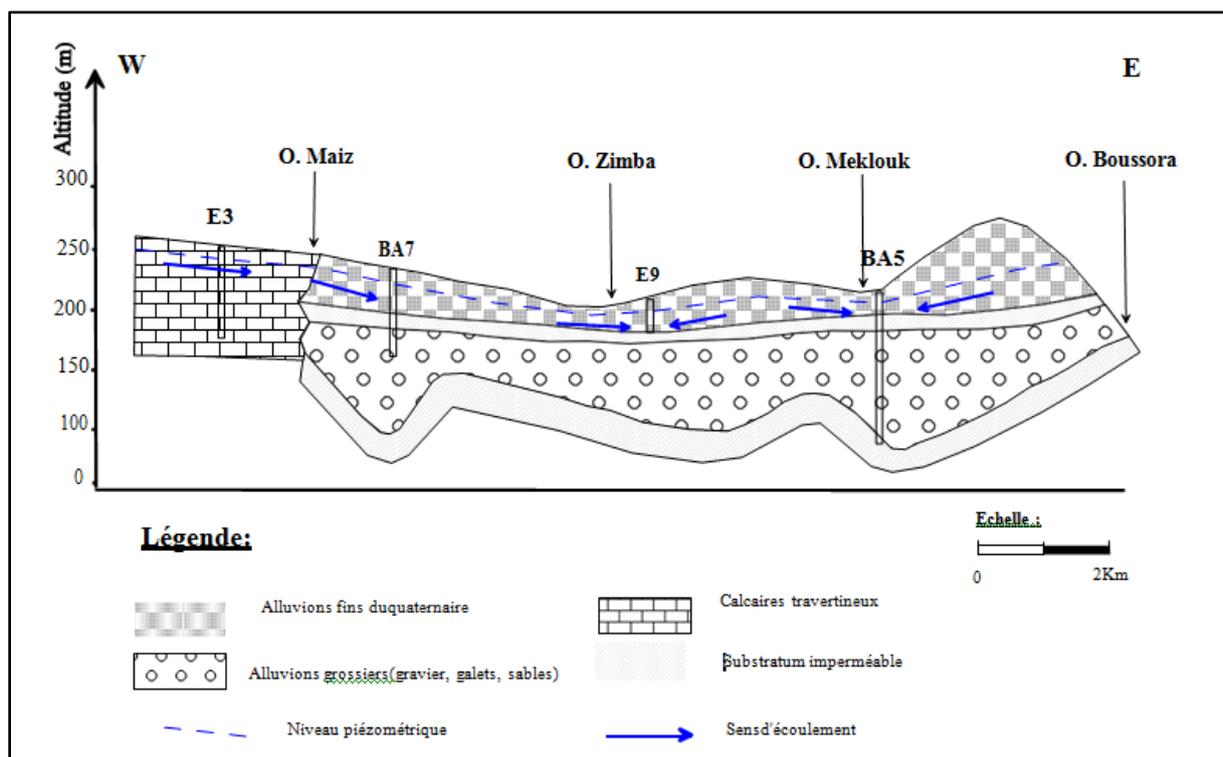


Fig. N° 23 : Coupe hydrogéologique au niveau de la plaine de Guelma (d'après B. Gaud, 1974)

2- Coupe hydrogéologique d'orientation Nord-Sud :

La coupe hydrogéologique qui a été réalisée en 1974 d'après B. Gaud (Fig. N° 24), à l'Est de la commune de Belkheir a permis de nous montrer la description lithologique suivante :

- Au Nord, c'est la nappe des basses terrasses ou de la vallée actuelle de la Seybouse. Elle est constituée de matériaux déposés dans le lit majeur du cours d'eau, elle est formée par Les alluvions grossières (cailloutis, sable) d'une épaisseur environ les 15 mètres.
- La nappe de moyenne terrasse constitué des sables fins d'une épaisseur de 25 à 35 m, marqué par la présence d'un horizon argileux d'une épaisseur moyenne de l'ordre de 8 m qui s'intercale dans les alluvions.
- Les hautes terrasses sont les plus intéressantes du point de vue épaisseur. Il s'agit d'un remplissage alluvionnaire qui dépasse 90 m, (110 m au piézomètre) formées essentiellement de dépôts plio-quaternaires grossiers (de sables, de graviers et de cailloutis avec des petites intercalations argileuses). La forme du substratum marneux témoigne de l'ancien trajet de la Seybouse qui était plus au Sud que son parcours actuel. Ce seuil de marnes à gypse du Miocène joue le rôle d'un isolant qui sépare les aquifères de la vallée actuelle et de la vallée ancienne.
- La partie sud Les calcaires travertineux sont absents et reculent au Sud de la plaine vers les monts de la Mahouna.

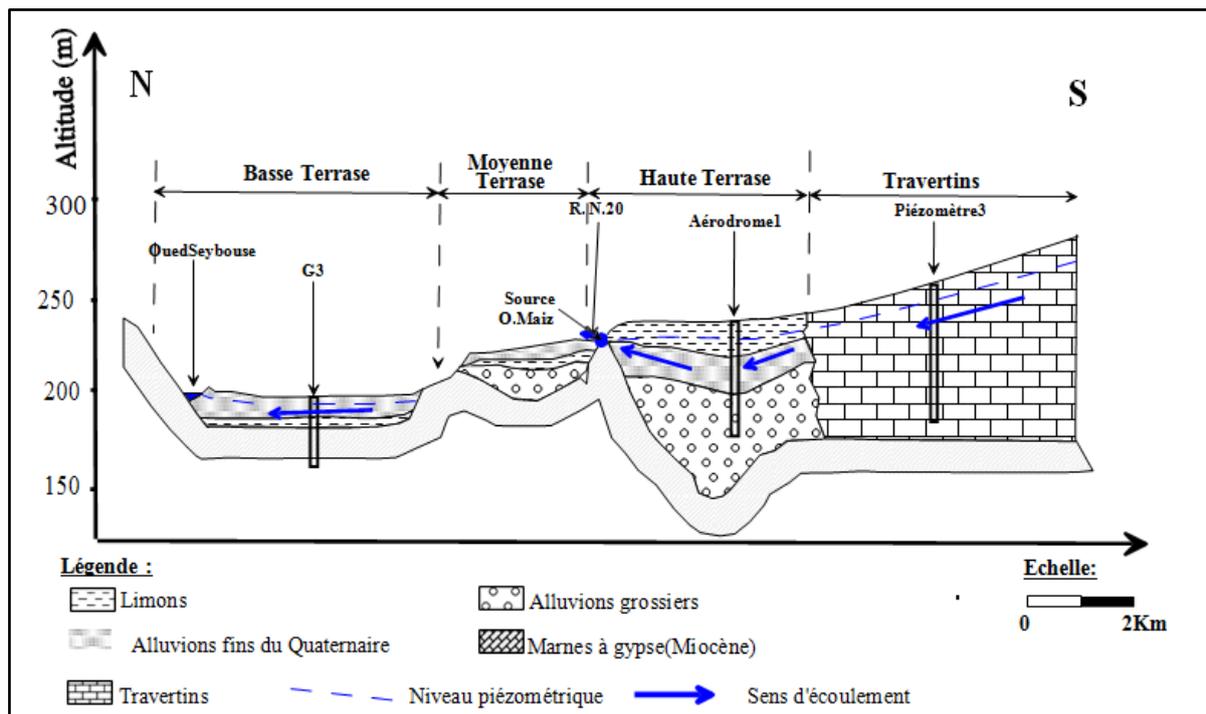
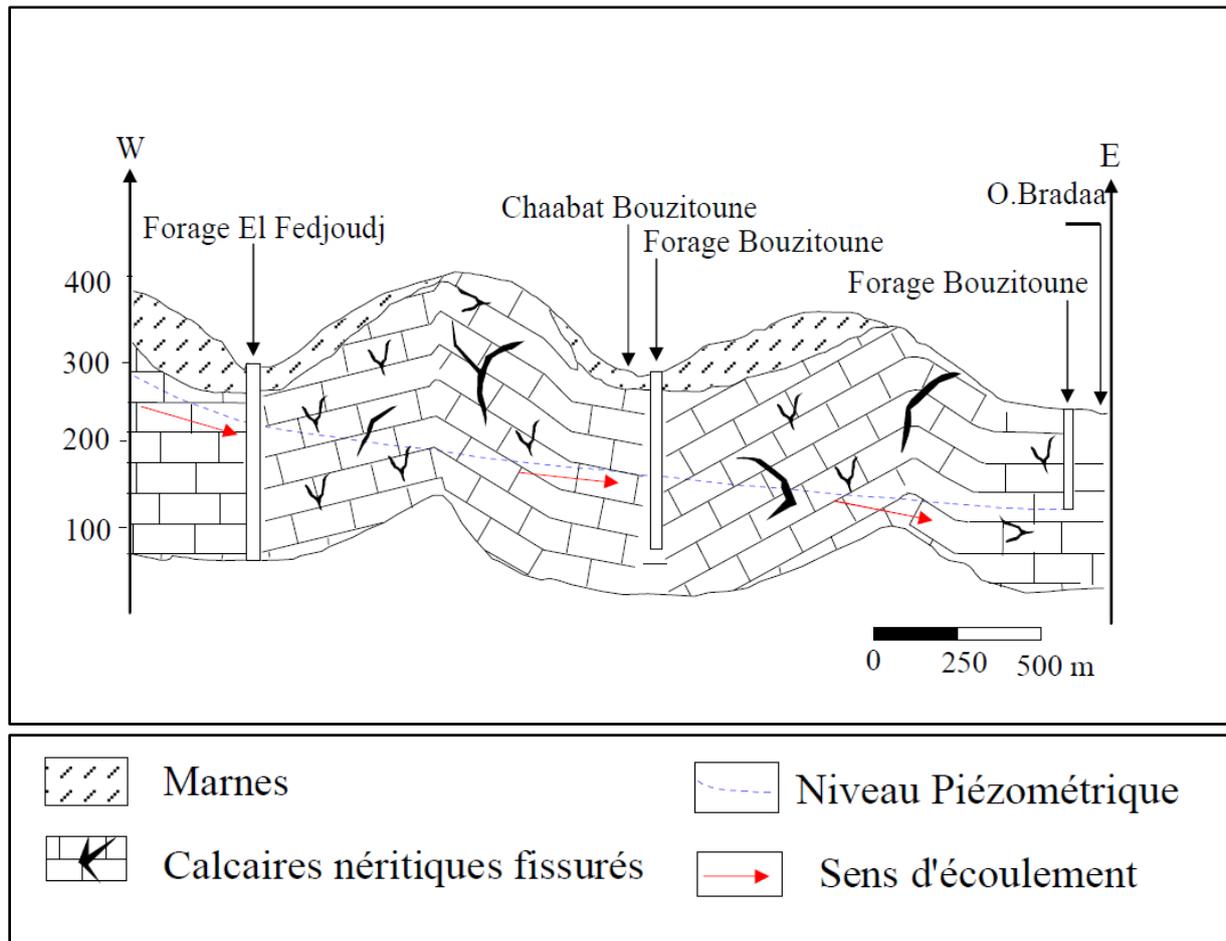


Fig. N° 24 : Coupe hydrogéologique Nord-Sud dans la plaine de Guelma (D'après Brahmia, 2009, modifiée par Béchiri)

II.1.2. La nappe de Hammam Bradâa

Les calcaires Néritiques forment Djebel Debagh (Sud-est de Guelma). Ils se prolongent en profondeur vers le Nord-est pour réapparaître sous forme de fenêtre au niveau de Hammam Ouled Ali et Hammam Bradâa.

Dans la région de Hammam Ouled Ali les formations Carbonatées sont représentées par quelques dizaines de mètres d'un calcaire Sénonien supérieur, calcaire biodétrique ou micritique analogue à celui de Douar Bouzitoune (Héliopolis). (Fig. N° 25)



**Fig. N° 25 : Coupe hydrogéologique Ouest-est (Nappe Hammam Bradâa)
(D'après Brahmia, 2009. modifiée)**

Ces formations plongent en profondeur vers l'Est, sous les nappes de charriage pour réapparaître d'abord dans la région de Bouzitoune, puis en petite fenêtre près de la source romaine. Elles sont exploitées par un seul forage de 173 m de profondeur qui donne un débit de 20 l/s, alimentant le village. La réalisation du forage d'El Fedjoudj a permis de superposer la continuité de cette formation depuis Djebel Debagh jusqu'à Hammam Bradaa.

II.2. Nappes de la plaine de Bouchegouf

La nappe alluvionnaire de Bouchegouf est partagée en deux zones, au dessous de la surface du sol, représentée schématiquement dans la (Fig. N° 26) d'après les colonnes stratigraphiques.

La première c'est la zone non saturée marquée par la présence d'une couche argileuse de 4 mètres d'épaisseur suivie par des galets et des graviers où les trois phases constituent cette zone (liquide, solide et air).

La seconde c'est la zone saturée système de deux phases: liquide (eau) et solide (formations alluvionnaires), d'épaisseur variant de 40 m à 150 m avec un niveau piézométrique de 11 m. (Chaoui, 2008)

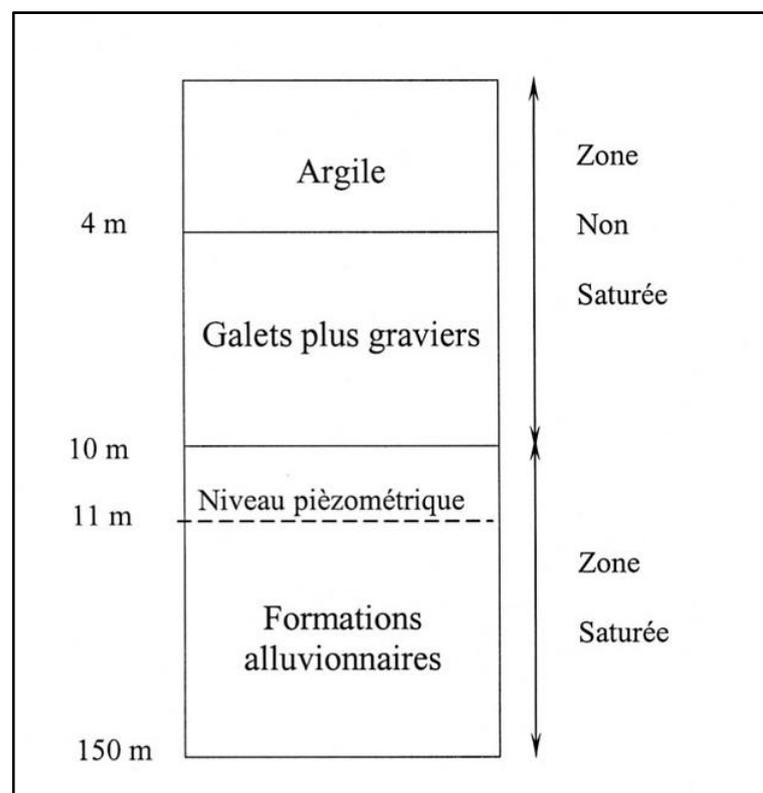


Fig. N° 26: Coupe schématique illustrant la limitation de la zone non saturée et la zone saturée dans la plaine de Bouchegouf (Chaoui, 2008)

Le système hydrogéologique de la plaine de Bouchegouf est complexe du point de vue structural, lithologique, et hydrodynamique. Ce système pourrait être schématisé de la façon suivante :

- Des aquifères superficiels exploités en grande partie par des puits domestiques et dont la lithologie varie d'une zone à l'autre.
- Une nappe profonde reconnue par les forages profonds.

Selon la coupe hydrogéologique dans la région de Bouchegouf de direction SO-NE qui a

été établie par Chaoui, 2007, a montré ce qui suit :

- Le forage BS4 indique l'existence de deux nappes captives d'épaisseur à peu près égale. Le matériel constituant ces nappes est identique. Les lentilles d'argile divisent la nappe captive devenant libre en plusieurs nappes captives au niveau du forage BS2.
- Vers l'aval, les mêmes nappes captives d'épaisseur 61 m pour la première et 83 m pour la deuxième rencontrées au niveau des forages B1, B2 et B4, avec des épaisseurs variables.

Ces nappes sont formées essentiellement de sable, grès et galets, le toit est formé d'argile imperméable et le substratum des marnes. On peut dire qu'il s'agit d'une seule nappe captive avec des passages des lentilles d'argile intermédiaires d'épaisseur différents, par endroits, l'absence de ces dernières permet la communication entre les nappes. (D'après W. Chaoui, 2007)

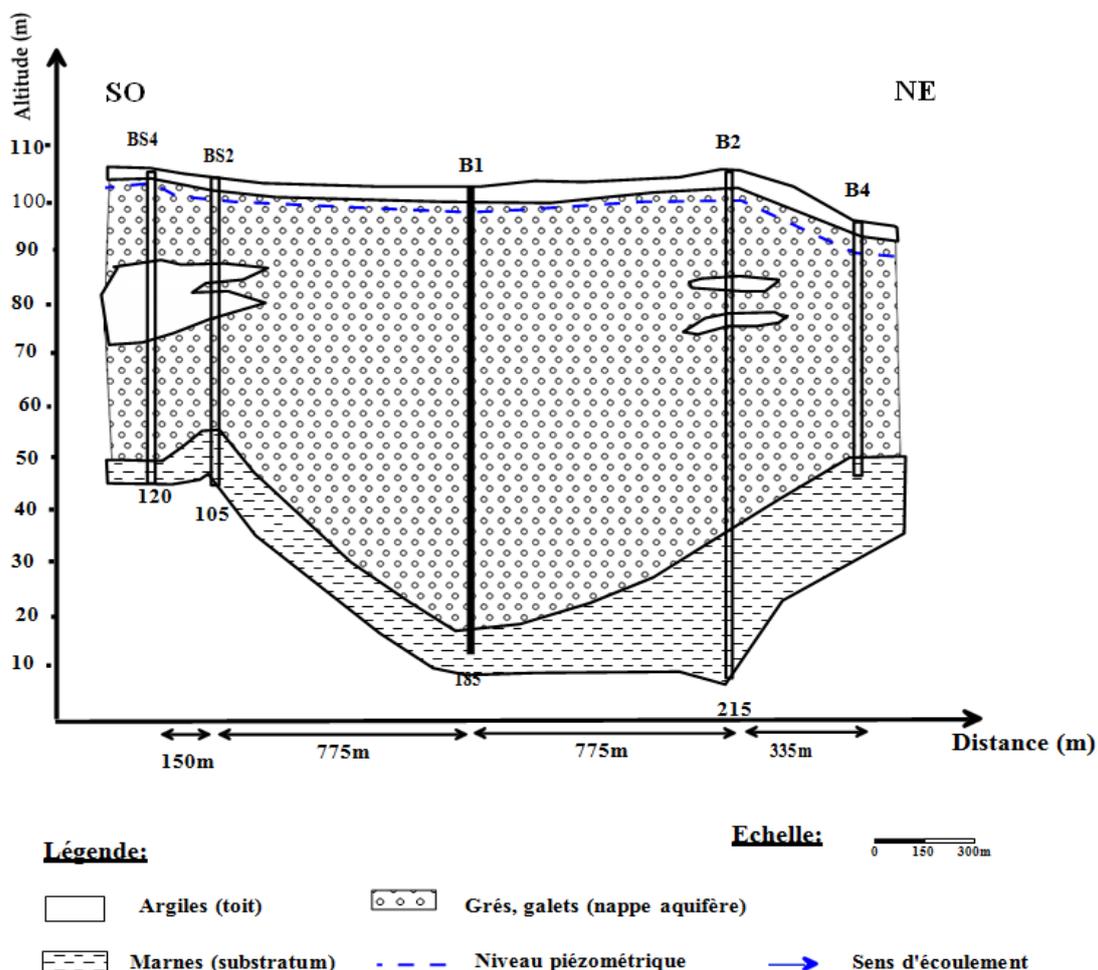


Fig. N° 27 : Coupe hydrogéologique N° 4 dans la région de Boucheouf (Chaoui, 2007)

III. Piézométrie

III.1. Carte piézométrique

La carte piézométrique est une carte qui permet de visualiser les niveaux d'eau dans le sous-sol, ils sont représentés par des courbes d'égale altitude, de la morphologie de la surface piézométrique. La forme et l'espacement des isopièzes définit le sens de l'écoulement et déduit les zones d'alimentation et de sortie des eaux de la nappe souterraine dans la plaine de la moyenne Seybouse et la plaine de la basse Seybouse.

Une fois réalisées, les cartes piézométriques permettent de mieux comprendre l'hydrogéologie et l'hydrologie de la zone qu'elles représentent.

III.2. Piézométrie de l'aquifère alluvionnaire de Guelma

D'après l'étude de la surface piézométrique effectuée par Benmarce Kadour qui a été faite en 2009, établie avec les données sur les niveaux piézométriques représentée à une date donnée, la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques.

La carte piézométrique permet de déterminer le sens et la vitesse d'écoulement, le gradient hydraulique, les conditions aux limites d'une nappe, ainsi que les zones d'alimentation et d'accumulation des eaux souterraines.

Dans le cas étudié, l'étude piézométrique a abordé, uniquement, la plaine de Guelma (4 piézomètres et 23 forages d'exploitations).

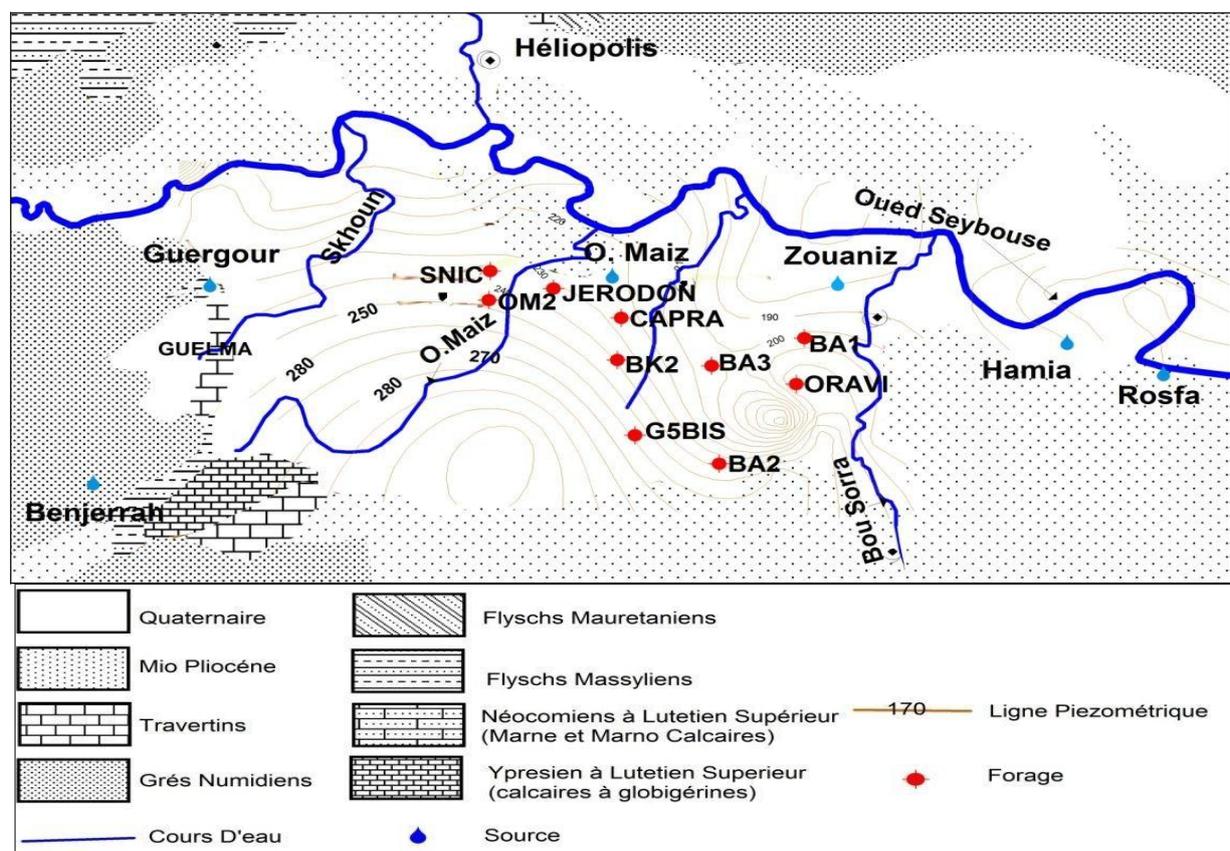


Fig. N° 28 : Carte piézométrique de l'aquifère alluvionnaire de Guelma (avril/2009) (Benmarce, 2009)

L'évolution du niveau piézométrique est fonction de plusieurs paramètres, dont les précipitations, la topographie, la lithologie et l'état de la nappe. Les mesures piézométriques effectuées ont permis d'obtenir la carte représentée dans la Fig N°28.

Les courbes isopièses, deviennent ouvertes et espacées dans la partie sud de l'aquifère, ce qui indique un écoulement souterrain laminaire divergeant vers les cours d'eau (affluents de l'Oued Seybouse), cependant dans la partie Est on observe une limite étanche et dans sa partie Nord Ouest, il convient de noter qu'il y'a une convergence vers une zone de pompage excessif.

L'écoulement général dans l'aquifère se fait du Sud vers le Nord. L'aquifère des travertins alimente celle des alluvions où les courbes isopièces se resserrent parallèlement dans sa partie Sud-ouest de la ville de Guelma (zone des travertines). Concernant la direction de l'écoulement pour l'aquifère de la vallée actuelle, le drainage se fait on général par l'Oued Seybouse, les gradients hydrauliques moyens sont de l'ordre de 0,0043 en période de hautes eaux et de 0,004 en période de basses eaux.

Pour l'aquifère des hautes terrasses et des alluvions pliocènes, l'écoulement général se fait vers le Nord, avec un gradient qui varie entre 0,09 et 0,01, en diminuant dans le sens de l'écoulement.

Les échanges entre les différents aquifères se résument en une alimentation de l'aquifère des alluvions par celui des travertins, le déversement de l'aquifère des hautes terrasses en direction de la vallée actuelle au dessus du seuil des marnes à gypse d'une part et en direction de la vallée de l'Oued Boussorra au dessus des marnes jaunes à poudingues.

Donc d'après Benmarce, l'existence de trois axes de drainage d'orientation général Sud- nord matérialisés le long des trois affluents de l'oued Seybouse: (O. Boussora et O. Meklouka à l'Est, O. Zimba, au centre et O. Maiz à l'Ouest), Cette disposition fait ressortir trois lignes principales de partage des eaux dans l'aquifère. La première, située entre Oued Bossora et chaabet Meklouka, la deuxième située entre oued Zimba et oued Maiz et la troisième située à l'Ouest de oued Skhoun.

Conclusion

L'étude hydrogéologique a été abordée dans le but d'étudier la relation entre les eaux de surfaces et souterraines, l'interprétation d'une carte piézométrique été la dernière étape dans cette partie.

La plaine de Guelma renferme deux nappes qui sont : La nappe de Hammam Bradâa qui est constituée par des formations carbonatées et la nappe alluviale constituée par des poudingues, graviers, galets, marnes et limons. La plaine est un bassin d'effondrement de 106 km² constitué de terrasses ; haute, moyenne et basse, disposées en gradins essentiellement sur la rive droite de l'Oued Seybouse. Les terrasses sont constituées d'alluvions qui recèlent des potentialités hydriques importantes. Elles sont alimentées en partie par l'aquifère des travertins situé à leur amont. L'aquifère est drainé par l'Oued Seybouse, qui sillonne le bassin d'Ouest en Est.

La plaine de Bouchegouf renferme la nappe alluvionnaire de Bouchegouf qui est partagée en deux zones : une non saturée marquée par la présence d'une couche argileuse suivie par des galets et des graviers et l'autre saturée d'un système de deux phases: eau et formations alluvionnaires.

Selon les études antérieures, les meilleures zones aquifères apparaissent comme centrées entre Guelma et l'oued Boussorra ce qui témoigne de l'intense activité de certains affluents de la Seybouse (Oued Maïz, Oued Zimba et Oued Bousorra).

La conclusion obtenue a montré des apports par les bordures latérales de l'oued Seybouse, des échanges hydrauliques entre la nappe et l'oued sont à noter, particulièrement au niveau du secteur de Guelma.

Les nappes alluviales de Guelma et Bouchegouf restent très vulnérables à la pollution suite au contact direct entre nappe - Oued et à l'existence des formations alluvionnaires qui laissent les polluants chimiques s'infiltrer vers la nappe et leur faible profondeur surtout celle de la basse terrasse exploitées par des puits domestiques des agriculteurs de la région pour irriguer leurs cultures.

Chapitre V

Hydrochimie et quantification du degré de pollution

Partie I

Types de pollutions des eaux dans la région d'étude

I. Introduction

La composition chimique de l'eau est l'un des critères les plus importants dans la détermination de sa qualité. Les eaux destinées à la consommation humaine, l'irrigation et à l'industrie doivent répondre à des normes de salubrité et de propreté.

Les dernières études effectuées ces dernières années dans la région d'étude ont montré que la qualité de l'Oued Seybouse se caractérise par une pollution intensive en raison de l'accroissement démographique, avec différents rejets non contrôlés, du développement des pratiques agricoles et la diversification des installations industrielles dans la région.

II. Pollution des eaux

On appelle pollution de l'eau toute modification de ses caractéristiques ayant un caractère gênant ou nuisible pour les usages humains, la faune ou la flore. Au cours de son utilisation, l'eau s'appauvrit ou s'enrichit en substances de toutes sortes, ou change de température. Les pollutions qui en résultent se retrouvent dans le milieu naturel (cours d'eau, Mer).

La pollution de l'eau est une détérioration chimique, physique et biologique de la qualité du milieu naturel sous l'action anthropique, elle influe parfois considérablement sur la constitution physico-chimique des eaux de surfaces. Ces dernières sont le vecteur principal de transport de ces substances vers les eaux souterraines.

A l'échelle du bassin versant de la Seybouse, les ressources en eau saisonnières et permanentes sont affectées par les flux de pollutions correspondant aux effluents domestiques, agricoles et industriels.

II.1. Différents types de pollution

En général les rejets présentent principalement trois origines distinctes (Edwards et al, 2000 in Chaguer, 2013) : Domestiques générés par les habitations et les activités qui s'y trouvent, agricoles, résultant de l'agriculture et de la variété et du type de cultures et industrielles déversés par les activités industrielles, avec ou sans pré traitement et rejetés directement dans le milieu naturel. (Fig. N° 29)

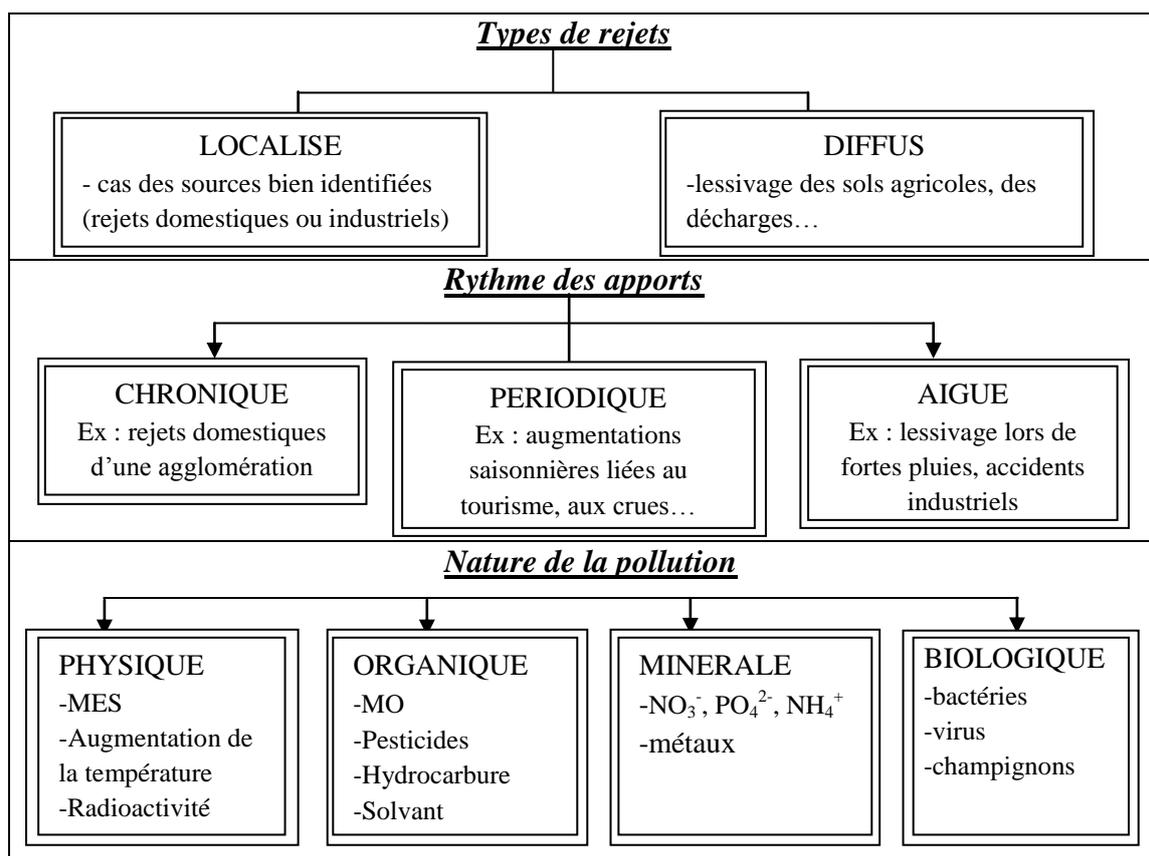


Fig. N° 29 : Représentation schématique des différents types de rejets et de pollution (Edwards et al., 2000 in chaguer, 2013)

II.1.1 Types de pollutions dans la région d'étude

Après l'enquête, l'investigation et l'inspection qui ont été réalisées durant notre étude dans la région de Guelma (zone d'étude) et la consultation de la documentation de plusieurs directions administratives de la région, le diagnostic qui a été établi nous a permis de localiser les trois principales sources de pollutions suivantes :

II.1.1.1. Pollution d'origine urbaine et domestique

Les eaux usées domestiques sont caractérisées par des fortes teneurs en matières organiques azotées, de graisses, de solvant, des parfums, des agents de blanchissage, des adoucissants, de débris organiques et de germes fécaux. Ce type de pollution provient des différents usages domestiques et collectifs de l'eau.

Les eaux domestiques représentent l'une des principales sources de la pollution dans la région de Guelma, en effet toutes les agglomérations urbaines situées le long des cours d'eaux déversent leurs eaux usées dans l'Oued Seybouse ou ses affluents (Oued Skhoun, Oued Zimba, Oued Maiz, Chaabat Marmoura, Oued Boussora, Oued Helia, et Oued Maleh, d'autres affluents drainant des volumes importants d'eaux usées des principales agglomérations tels que la ville de Guelma, Belkheir, el Fedjoudj, Héliopolis, Boumahra, Bouchegouf et Oued Zenati, traversant ainsi la nappe alluvionnaire avant d'atteindre l'Oued Seybouse via ses affluents (Tableau 24), d'une façon précaire et sans aucun traitement préalable, à l'exception

du réseau d'assainissement de la ville de Guelma qui est divisé en deux stations de relevage, la première sur un rejet situé à proximité de la route Nationale N°20 (Cité des Frères Rahabi) déversant dans l'oued Maiz, la seconde sur un rejet traversant la ville situé à proximité de la route nationale N°21 déversant dans l'oued Skhoun , qui sont collectées et épurées par la station d'épuration de Guelma qui se trouve à l'aval du centre urbain juste près de l'oued Seybouse. Elle est entrée en service en 2008, avec une capacité de 200 000 Equivalent habitant, soit un débit nominal de 32 000 m³/j. (ONA, 2017).

Depuis la mise en service de la station d'épuration, pratiquement tous les rejets de la ville de Guelma situés en amont de la STEP ont été raccordés et ne déversent plus dans l'oued Seybouse. Néanmoins certains rejets persistent car la station de relevage N°2 n'est pas encore raccordée à la STEP. Ces rejets sont localisés dans l'oued Maiz (sur la route de Belkhir) et les rejets de la cité Bourouayah donc pratiquement le **quart des rejets de la ville de Guelma ne sont pas encore raccordés** (ONA, Guelma 2017).

L'agglomération de la wilaya de Guelma dispose généralement de réseaux d'assainissement unitaire avec un taux de raccordement entre 96 à 98 % (ONA et ABH, Guelma 2007).

**Tableau 24 : Réseau d'assainissement de la région d'étude
(Source : DHW Guelma 2007)**

DAIRAS	Communes	Pop. 2006	Pop. 2020	Pop. 2050	Dotation (l/j/hab.)	V. Rejeté (m ³ /j)	Nbre de rejets	Type	Milieu récepteur
Guelma	Guelma	135684	173224	292362	96	13026	4	Urb	O. Seybouse
	Ben djarah	5093	6502	10974	96	489	2	s/urb	Chaâbat
Guelaat Bousbaa	Guelaat B.S	5826	7438	12553	96	559	1	s/urb	Chaâbat
	Nechmaya	10971	14006	23640	96	1053	3	s/urb	Chaâbat
	Belkheir	18057	23053	38908	96	1733	2	urb	Chaâbat
	Boumahra A.	18423	23520	39697	96	1769	3	urb	O. Seybouse
	Djeballah k.	4672	5965	10067	96	449	2	s/urb	Chaâbat
	Beni mezline	5407	6903	11651	96	519	2	s/urb	Chaâbat
Boucheougouf	Boucheougouf	25878	33038	55760	96	2484	3	Urb	O. Seybouse
	Ain ben beida	10655	13603	22959	96	1023	2	s/urb	Chaâbat
	Oued fragha	8083	10319	17417	96	776	2	s/urb	O. Seybouse
	Medjez sfa	9080	11592	19565	96	872	2	s/urb	Oued Malleh
O. Zenati	Oued zenati	34014	43425	73291	96	3265	8	Urb	Oued zenati
	Ain regada	8871	11325	19115	96	852	4	s/urb	Oued zenati
	Bordj sabat	11968	15279	25788	96	1149	4	s/urb	Oued zenati
Ain Makhoulouf	Ain makhoulouf	13595	17356	29294	96	1305	3	Urb	Chaâbat
	Ain laarbi	9448	12062	20358	96	907	3	s/urb	Chaâbat
	Tamlouka	20471	26135	44109	96	1965	3	Urb	Chaâbat
Ain Hassainia	Ain hassania	7663	9783	16512	96	736	9	s/urb	Oued Charef
	Medjez amar	7768	9917	16738	96	746	4	s/urb	O. Seybouse
	S-announa	3622	4624	7804	96	348	2	s/urb	Chaâbat
	Ras el akba	2940	3753	6335	96	282	2	s/urb	Chaâbat
Khezaras	Khezaras	9867	12597	21261	96	947	6	s/urb	Chaâbat
	Bouhachana	6771	8644	14590	96	650	3	s/urb	Chaâbat
	Ain sandel	6142	7841	13234	96	590	3	s/urb	Chaâbat
Héliopolis	Héliopolis	27294	34845	58811	96	2620	2	Urb	O. Seybouse
	Bouati m.	10445	13335	22506	96	1003	3	s/urb	O/El Hammam
	El fedjoudj	9133	11660	19679	96	877	1	s/urb	Chaâbat
H,Debagh	H. debagh	16429	20974	35400	96	1577	5	Urb	O. Bouhamdane
	Roknia	12178	15547	26240	96	1169	2	s/urb	Chaâbat
	Bouhamdane	5459	6969	11763	96	524	5	s/urb	O. Bouhamdane
H. N'Bail	Hammam	19316	24660	41621	96	1854	2	Urb	O/H/Nbail
	Dahouara	9396	11996	20246	96	902	2	s/urb	O/H/Nbail
	Oued cheham	14277	18227	30763	96	1371	3	Urb	Chaâbat
	Total wilaya	524896	670120	1131008	-	50390	107	-	-

D'après le tableau 25, la wilaya de Guelma dispose d'important système d'assainissement, constituées de :

- Une station d'épuration des eaux usées, située dans la commune de Guelma, d'une capacité de 200 000 équivalent Habitant.

Cette dernière, dont la gestion a été confiée à l'ONA depuis le 24 février 2010.

- Un linéaire de réseau de : 959.02 km, tout diamètre confondus
- Deux stations de relevages des eaux usées et pluviales.

Tableau 25 : Récapitulatif des infrastructures de l'assainissement par commune

(Source : ONA, 2017)

DAIRAS	COMMUNES	SR	STEP	Capacité (Eqh)	Réseaux (Km)
Guelma	GUELMA	02	01	200 000	192
	BEN DJARAH		-		13
Guelaat Bou Sbaa	GUELAAT B. S.		-	-	18
	NECHMAYA		-	-	20
	BELKHEIR		-	-	32
	BOUMAHRA A.		-	-	30
	DJEBALLAH K.		-	-	13
	BENI MEZLINE		-	-	23
Boucheougouf	BOUCHEGOUF		-	-	41
	AIN BEN BEIDA		-	-	22
	OUED FRAGHA		-	-	24
	MEDJEZ SFA		-	-	17
Oued Zenati	OUED ZENATI		-	-	58
	AIN REGADA		-	-	19
	BORDJ SABAT		-	-	13
Ain Makhoulouf	AIN MAKHLOUF		-	-	26
	AIN LAARBI		-	-	20
	TAMLOUKA		-	-	24
Houari Boumediène	HOUARI		-	-	21
	MEDJEZ AMAR		-	-	21
	S-ANNOUNA		-	-	10
	RAS EL AGBA		-	-	7 110
Khezaras	KHEZARAS		-	-	26
	BOUHACHANA		-	-	18
	AIN SANDEL		-	-	19
Héliopolis	HELIOPOLIS		-	-	28
	BOUATI M.		-	-	22
	EL FEDJOU DJ		-	-	19
H. Debagh	H. DEBAGH		-	-	39
	ROKNIA		-	-	24
	BOUHAMDANE		-	-	17
H. N'Bail	HAMMAM N'BAIL		-	-	23
	DAHOUARA		-	-	15
	OUED CHEHAM		-	-	30
	Total Wilaya	02	01	200 000	959 02

SR : Station de relevages

On note également qu'il y'a trois décharges publiques existant sur les deux rives de l'Oued Seybouse, qui contribuent aussi à cette pollution par leur lixiviat.

La première au Nord de Guelaat Bousbaa, la deuxième étant le centre d'enfouissement technique de Bouguergour situé à l'Est d'Héliopolis, qui revêt le caractère de classe II et qui a été mise en exploitation en janvier 2012. Elle reçoit les déchets ménagers des communes de

Guelma, Belkheir, Guelat Bousbaa, Boumahra Ahmed, Bendjerah, El Fedjoudj, Héliopolis et récemment ceux de Djeballah Khemissi. La troisième à Djebel Hallouf au Sud de la ville de Guelma et à l'amont de l'ancienne terrasse de la nappe alluvionnaire, sans oublier un certain nombre de décharges sauvages dispersées dans différents endroits de la zone d'étude.

(Tableau 26). (Mouchara, 2007)

Tableau 26 : Désignation des décharges sauvages dans la zone d'étude (Direction de l'Environnement, 2017)

Commune	Nom	Superficie (ha)	Type	Quantité de déchets générée tonne/J	Nature des déchets	Procédé de traitement	Impact sur la ressource
Guelma	Bouguerguer	12.5 ha	Sauvage	108.9	Inertes Ménagers Et assimilés	Rejeté dans l'air	<ul style="list-style-type: none"> - Emission nauséabondes. - Prolifération d'insectes, de rongeurs et d'animaux sauvages (Sanglier sauvage, chacal, héron blanc..). - Pollution atmosphérique par les différents gaz issus de la fermentation organique (Biogaz). - Risque d'inhalation de fumée pour les récupérateurs à l'intérieur d'une décharge. - Envol des déchets légers (les sachets, le papier...) - Risque de contamination de la population par les insectes et les rongeurs qui constituent de vecteurs de maladies. - Impact sur la flore et les cultures avoisinantes par les retombées atmosphériques sur les feuilles. - Risque de contamination des eaux de surfaces et souterraines par les lixiviats
Belkheir	Ghabet El Kafour Bouguerguer	01 ha 12.5 ha		14,7			
Bni Mezline	Sekouma	01 ha		4.4			
Boumahra. Ahmed	Mechtet Douakhla Bouguerguer	500m ² 12.5 ha		15.1			
Djeballah. Khémissi	-	500 m ²		3.8			
Boucheougouf	Sidi Mehamed	02 ha		20.5			
Oued Zenati	Djebel El Aansal	02,5 ha		26.9			
Haouari. Boumediène	El Medaouda	300 m ²		6.3			
Medjez Ammar	El Gantra	100 m ²		6.3			
Khézaras	Couminel	01,5 ha		8.1			
Hamam. Debagh	Djebel Boughrissine	05 ha		13.3			
Héliopolis	Bouguerguer	12.5 ha		22.5			
El Fedjoudj	Daouar Skhara	2000 m ²		7.5			
Hamam N'Bails	El Mina	1000 m ²	19.7				

II.1.1.2. Pollution d'origine agricole

Avant de définir et de déterminer l'origine de cette pollution, il faut d'abord présenter le périmètre d'irrigation Guelma-Boucheougouf qui est considéré comme le premier responsable de cette pollution, suite aux produits phytosanitaires utilisés pour améliorer la production végétale dans l'agriculture.

II.1.1.2.1. Présentation du Périmètre d'irrigation Guelma-Boucheougouf

Le périmètre d'irrigation Guelma-Boucheougouf dispose d'une superficie équipée de 9940 ha et d'une superficie irriguée de 9250 ha. Il s'étend sur environ 80 Km, depuis la confluence des Oueds Bouhamdane et Cherf, donnant naissance à l'oued Seybouse jusqu'au Nord de Drea. Le périmètre est situé de part et d'autre de l'oued Seybouse. Il se divise en cinq (05) secteurs allant de 605 ha (secteur Cherf) pour le plus petit à 3500 ha (secteur Guelma) pour le plus grand. Ils sont autonomes sur le plan de la desserte en eau. (Fig. N° 30) et (Tableau 27)

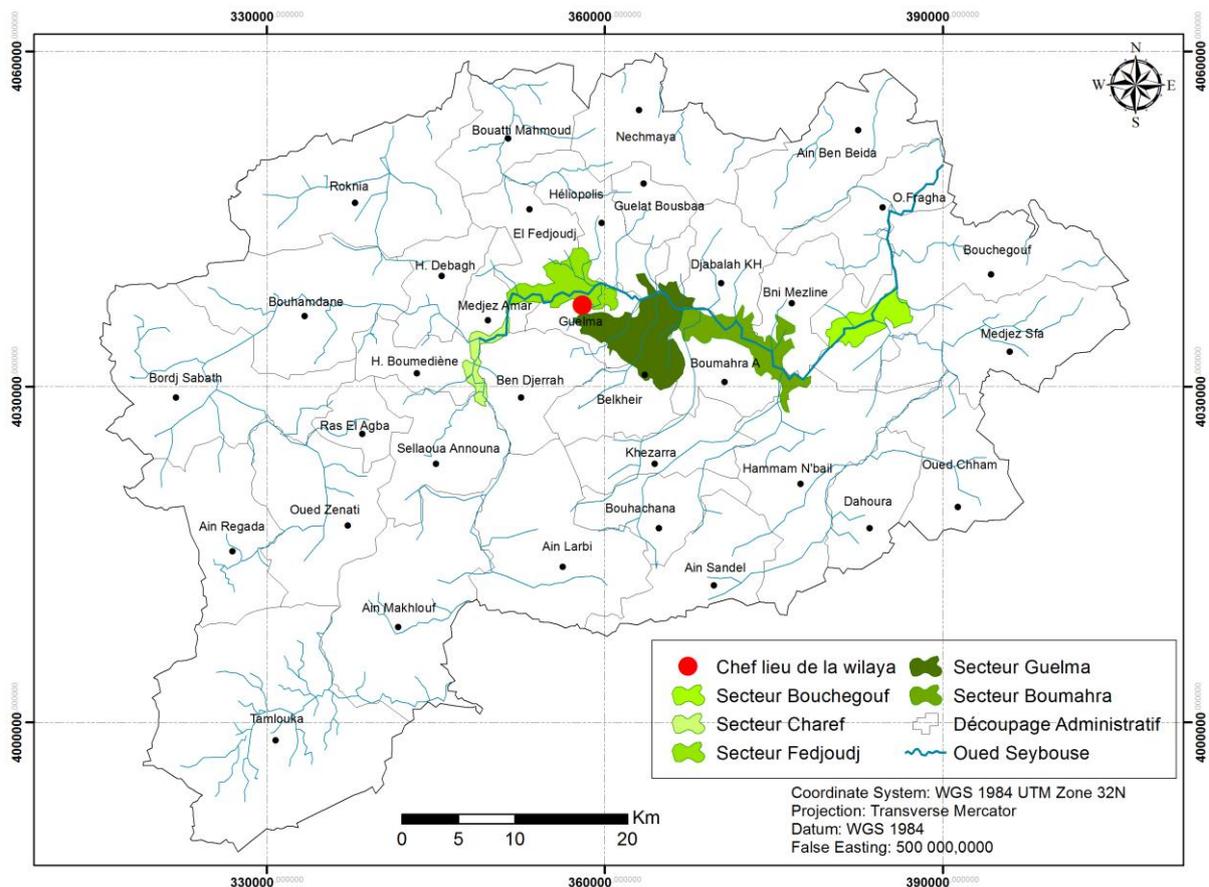


Fig. N°30 : Carte de situation du périmètre irrigué Guelma- Boucheougouf (Aissaoui,2018)

Chaque secteur dispose d'un seuil de prise, d'une station d'exhaure qui refoule l'eau à partir de l'oued vers un bassin de dessablage et d'une station de relèvement qui refoule l'eau vers un réservoir de compensation et de là vers le réseau de distribution.

Tableau 27 : Superficies des secteurs irrigués et leurs besoins en eau

N°	Secteurs	Superficies (ha)		Besoin en eau (m ³)	Situation
		Equipée	Irriguée		
1	Guelma	3500	3255	19 400 000	Plaine Guelma
2	Charef	605	565	3 400 000	
3	Boumahra	2600	2420	14 400 000	
4	El-Fedjouj	2355	2190	13 000 000	
5	Bouchegouf	880	820	4 900 000	Plaine Bouchegouf
Total		9940	9250	55 100 000	

Source : ONID Guelma

Le périmètre a été conçu de manière à utiliser au maximum la ressource en eau dont dispose la wilaya de Guelma. Celle-ci est sillonnée par un réseau hydrographique très important pour valoriser les terres des plaines de Guelma et Bouchegouf, son alimentation en eau se fait par le barrage de Hammam Debagh (30 à 55 millions m³/an) et les apports non régulés de l'oued Seybouse (16 millions m³/an).

II.1.1.2.2. Pollution d'origine agricole

La pollution d'origine agricole résulte des effluents des élevages, de l'utilisation intensive des engrais et des produits phytosanitaires pour la fertilisation des terres. Ces composés peuvent être lessivés lors des précipitations, puis entraînés vers les milieux aquatiques. Ce type de pollution est l'une des principales causes de la dégradation de la qualité des eaux en Algérie.

Une enquête réalisée a permis d'identifier et de quantifier les types d'engrais à base d'azote utilisés à raison de 1,5 q / ha. (Tableau N° 28)

Les élevages intensifs dans la région d'étude, avec un important cheptel bovin (70 000 têtes), Ovins (195 000 têtes) et caprin (42 000 têtes), produisent une grande quantité de déjections azotées qui sont à l'origine de la pollution des eaux de surfaces et souterraines. (DSA, 2012)

Tableau 28 : Types et quantités de fertilisants utilisés dans la wilaya de Guelma durant la Campagne (2005-2006). (Mouchara, 2007 et Kachi N., 2015)

Espèces	Objectifs	T.S.P 46%	Urée 46%	N.P.K 15.15.15
Blé dur	300 ha	450 q	450 q	-
Blé tendre	50 ha	75 q	75 q	-
Orge	100 ha	100 q	100 q	-
Avoine	20 ha	20 q	20 q	32 q
Fève	16 ha	-	-	30 q

- **N.P.K. (15.15.15)** est un engrais ternaire qui comporte 15% de N, 15% de P et 15% de K. Polyvalent, il est employé comme engrais de fond au moment du semis, sur des sols non salins disposant d'une capacité de ressuyage.

- **L'urée (46% d'azote)**, engrais sec riche en azote, il est entièrement soluble à l'eau, il est destiné pour toutes les cultures (Kachi N., 2015).

- **Nitrate d'Ammonium (UAN) 32%** d'azote, engrais polyvalent liquide, à diluer dans l'eau entre 5 et 10% selon le stade végétatif (d'après Fertial, 2010 in Kachi N., 2015).

- **Le Super Phosphate Triple (TSP, 46% de P_2O_5)**, engrais phosphaté de fond utilisé avant le semis des cultures, contient également des oligo-éléments : Bore (61 ppm), fer (3638 ppm), manganèse (114 ppm), zinc (170 ppm) et le cuivre (05 ppm), il est totalement déconseillé pour le sol alcalin (Kachi N., 2015).

L'engrais azoté est le plus utilisé dans la zone d'étude par les agriculteurs, grâce à son effet immédiat sur les cultures des céréales.

**Tableau 29 : Principaux engrais utilisés dans le périmètre Guelma-Boumahra
(Kachi N., 2015)**

Type d'Engrais	Nom Commercial	Composition	Caractéristiques	Type de Culture
L'Azoté phosphaté potassique	N.P.K :15.15.15	- 15% de N - 15% de P_2O_5 - 15% de K_2O	Engrais d'entretien.	Pomme de terre et tomate industrielle
Urée	Urée 46%	$CO(NH_2)_2$ 46% de N	Engrais d'entretien à enfouir, pour la Croissance végétative (tiges et feuilles). Très soluble	Céréaliculture, cultures maraichères, l'arboriculture, viticulture, légumes secs.
Nitrate d'ammonium	U.A.N	NH_4NO_3 : -Azote total :32% - Azote ammoniacal: 7% -Azote nitrique : 7,8% -Azote uréique : 16,4%	Engrais d'entretien. Action à la fois immédiate (NO_3) et retardée (NH_4). Très soluble dans l'eau	Céréaliculture, pomme de terre, tomate industrielle, l'arboriculture.
Engrais phosphatés Triple Super Phosphate	T.S.P	$Ca(H_2PO_4)_2, H_2O$ - 46% P_2O_5 - 0% de N - 0% de K_2O - 15% de CaO	Engrais de fond. (favorise la croissance des racines). Assez soluble dans l'eau	Céréaliculture

II.1.1.3. Pollution d'origine industrielle

La pollution industrielle est très diversifiée et dépend étroitement du type d'activité. Les rejets peuvent être composés des matières organiques ou minérales dissoutes, de matières en suspension, des éléments traces métalliques, d'hydrocarbures, des produits acides ou alcalins et de diverses substances chimiques. Elle dépend de plusieurs paramètres : type d'industrie (production, nettoyage), l'état des outils et les différentes étapes du procédé industriel.

La région de Guelma dispose actuellement de 81 établissements industriels, qui sont partagés entre les zones industrielles et les zones d'activités. En dehors de ces zones, le tableau 30 récence les zones industrielles de la région.

Tableau 30 : Pourcentage des établissements dans les zones industrielles ou d'activités (Direction de l'environnement, 2018)

Région	Situation de la zone	Pourcentage d'établissements			
		Dans la zone d'étude	pourcentage	En activité	pourcentage
Guelma	Zone industrielle El Fedjoug	6	0.94 %	6	0.94 %
	Zac N° 32 Cité des Frères Rahabi Guelma	2	0.31%	2	0.31%
	En dehors des zones industrielles et zone d'activités	73	11.50 %	71	11.18 %

Le tissu industriel de la zone d'étude a donné naissance à beaucoup d'installations classées. Elles ont été recensées par l'agence des bassins hydrographique (ABH), durant l'année 2007 et sont présentées dans le tableau N° 31 avec leurs rejets qui se déversent généralement dans les oueds sans aucun traitement préalable et qui sont constitués d'eaux usées et de déchets solides.

Tableau 31 : Désignation des installations classées dans la région de Guelma et leurs milieux récepteurs (Direction de l'environnement Guelma, 2016)

Nature de l'activité	Nombre	Lieu de rejet	Caractéristique de rejet
Production cycles et motocycles	01	Réseau d'assainissement	Ni-Cr-Fe
Production de porcelaine	01	Réseau d'assainissement	Teneur élevée en MES, Pb, Cd
Production de limonade	10	Réseau d'assainissement	Alcalinité élevée, teneur en MES, détergents, DBO ₅
Raffinage de l'huile d'olives	14	Chaabat Oued Sfa Oued Bouaati M Oued Seybouse Réseau d'assainissement	Huiles et graisses végétales
Production de carrelage Sciage et polissage de marbre	06 01	Oued Maiz Oued Seybouse Chaabat el Maamora Oued Boussora	Teneur élevée en MES, ciments blancs
Raffinage du sucre	01	Réseau d'assainissement	Teneur élevée en matières organiques Teneur élevée en MES
Minuterries	04	Réseau d'assainissement	
Production d'eau de Javel	01	Réseau d'assainissement	chlorure
Carburant et station de		Réseau d'assainissement	

lavage et graissage	42	Milieu Naturel Chaabet Ain Ibrahim	Graisse, Pb
Briqueterie	01	Milieu Naturel	
Production de la tomate conserve	03	O. Bouati Mahmoud Oued Seybouse Chaabet	Teneur élevée en MES, Matières organiques dissoutes, pH parfois alcalin
Abattage de volaille Abattage d'animaux	04 01	Réseau d'assainissement Milieu Naturel	
Oravie	05	Milieu Naturel	Forte concentration en matière organique, germes pathogène
Laiterie	01	Oued Seybouse	Forte concentration en matière organique dissoute
Moulin	03	Oued Seybouse Oued Zimba	Teneur élevée en MES

La région d'étude dispose aussi d'environ une quarantaine de stations de lavage et de carburants. Elles représentent aussi une source de pollution. L'eau de lavage contient des matières en suspension, des Huiles, du goudron, des lubrifiants, des micro-organismes et des éléments traces métalliques qui finissent dans le sol et pénètrent par infiltration dans les eaux souterraines. (Mouchara, 2009)

Ces stations sont concentrées sur l'axe Hammam Debagh - Guelma – Belkeir – Boumahra Ahmed - Bouchegouf et les unités industrielles (Sogedia et Céramique, briqueterie et unité de marbre et de carreaux) déversent leurs eaux dans les affluents de l'oued Seybouse (Oued Skhoun, Oued Maïz, Oued Zimba et Oued Boussora).

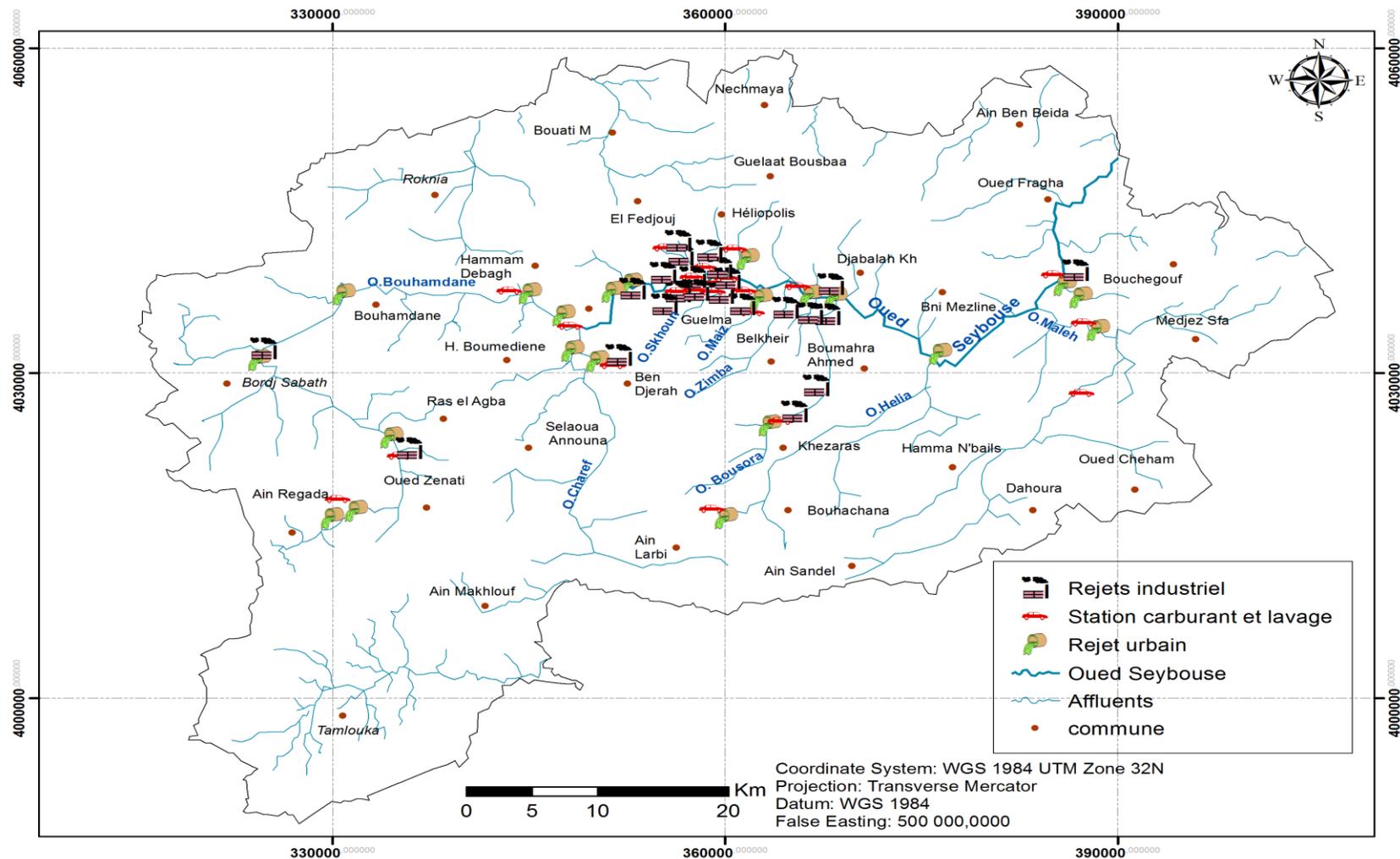


Fig. N° 31 : Carte de désignation des différentes sources de la pollution dans la zone d'étude (Aissaoui, 2018)

Partie 2

Distribution et interprétation des résultats des analyses chimiques des eaux de l'Oued Seybouse et ses affluents

I. Introduction

La composition chimique de l'eau est un critère important pour la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son éventuelle utilisation pour l'alimentation en eau potable (AEP), l'irrigation, l'industrie.....etc.

Les études antérieures dans la zone d'étude ont montré que les eaux de l'oued Seybouse sont confrontées à une pollution intensive, provoquant la dégradation de l'environnement.

C'est dans ce contexte que des analyses physico chimiques ont été réalisées dans les eaux de l'oued Seybouse et ses principaux affluents dans la région de Guelma.

La présente étude a pour but de définir la qualité des eaux de l'oued Seybouse et leur degré de pollution. L'interprétation des résultats des analyses chimiques par les différentes méthodes permettra de visualiser les variations des éléments physico-chimiques dans la zone d'étude.

II. Matériels et Méthodes

II.1. Inventaire des points de prélèvements

Pour identifier les différents types de pollution (industrielle, urbaine et agricole), des points de prélèvements ont été choisis de façon à ce qu'ils soient situés au niveau de l'Oued Seybouse et ses affluents, en amont et en aval des lieux de déversement des rejets.

La désignation des points de prélèvements, avec leurs coordonnées géographiques (UTM), les types d'activités en amont et les rejets éventuels sont résumés dans le tableau N° 32.

Tableau 32 : Localisation des points de prélèvements

Points de prélèvements	lieu	Coordonnées Géographiques (UTM)	Activité en amont	Types de rejets
S1	Oued Bouhamdane	X : 346182 Y : 4035665	Zone urbaine, activité Agricole	Rejets urbains, rejets de Hammam Debagh
S2	Oued Charef	X : 348945,24 Y : 4033686,9	Zone agricole	Lessivage agricole
S3	Oued Seybouse	X : 351230 Y : 4036411,29	Zone urbaine, activité Agricole	Rejets urbains
S4	Oued Touta	X : 358483,71 Y : 4039370,57	Zone urbaine, agricole et industrielle	Rejets urbains et industriels, lessivage des terrains agricoles
S5	Oued Skhoun	X : 359262,59 Y : 4038048,44	Zone industrielle, urbaine, et agricole	Rejets urbains, lessivage agricole et rejets industriels
S6	Oued Maiz	X : 362867,73 Y : 4036805,57	Zone industrielle, Urbaine, et Agricole	Rejets urbaines, lessivage agricole et rejets industriels
S7	Oued Zimba	X : 364433,58 Y : 4036354,88	Urbaine et Agricole	Lessivage agricole
S8	Oued Seybouse	X : 367177,87 Y : 4036948,41	Zone Urbaine, et Agricole	Rejets urbains, lessivage agricole
S9	Oued Boussora	X : 367834,86 Y : 4035762,15	Zone Agricole	Lessivage agricole
S10	Oued Helia	X : 375509,36 Y : 4030614,46	Zone Agricole	Lessivage agricole
S11	Oued Maleh	X : 384954,41 Y : 4035580,02	Zone Agricole et Urbaine	Rejets urbains Lessivage agricole
S12	Oued Seybouse	X : 385740,88 Y : 4039020,19	Zone urbaine et agricole	Lessivage agricole

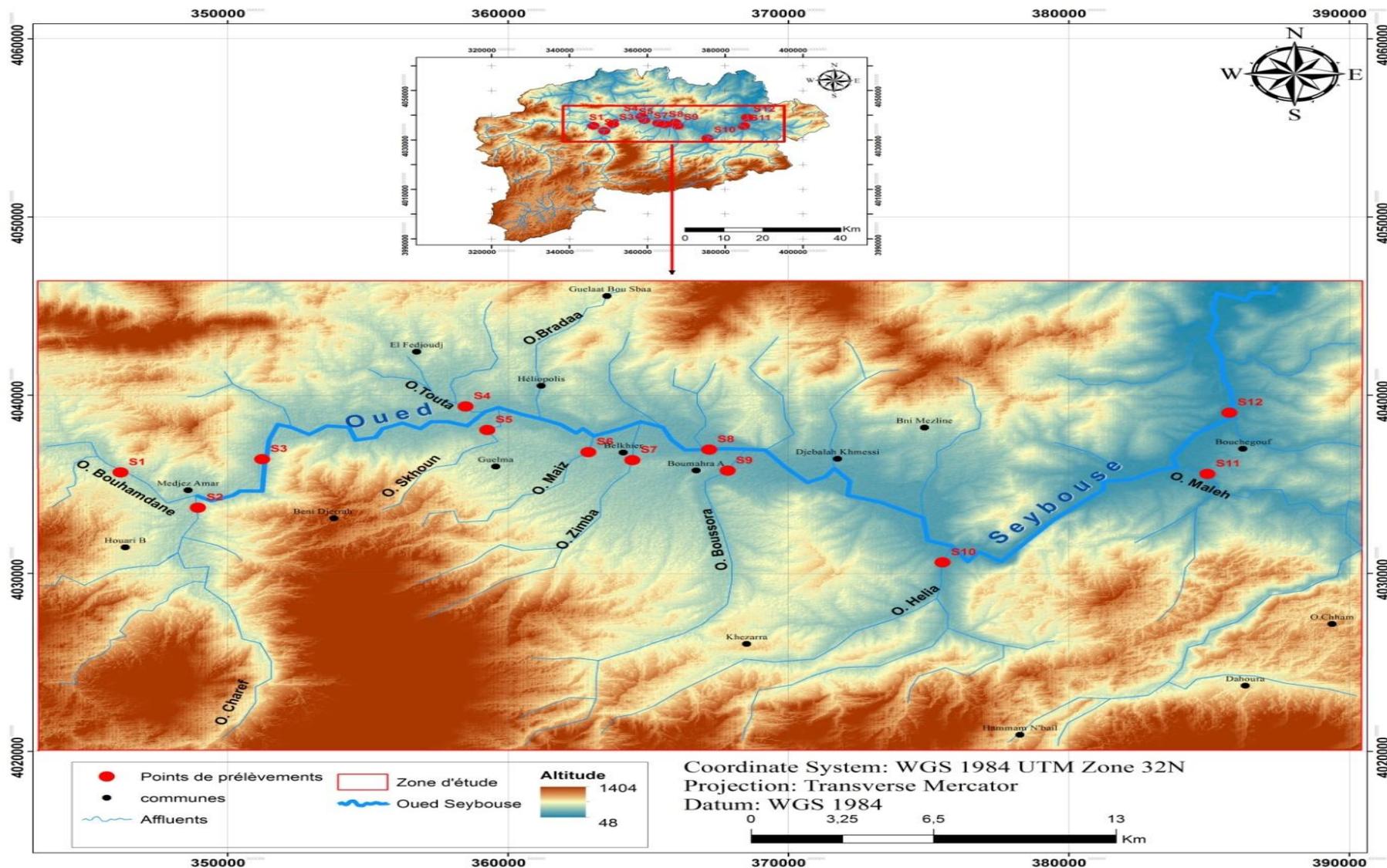


Fig. N° 32 : Carte de situation des points de prélèvements

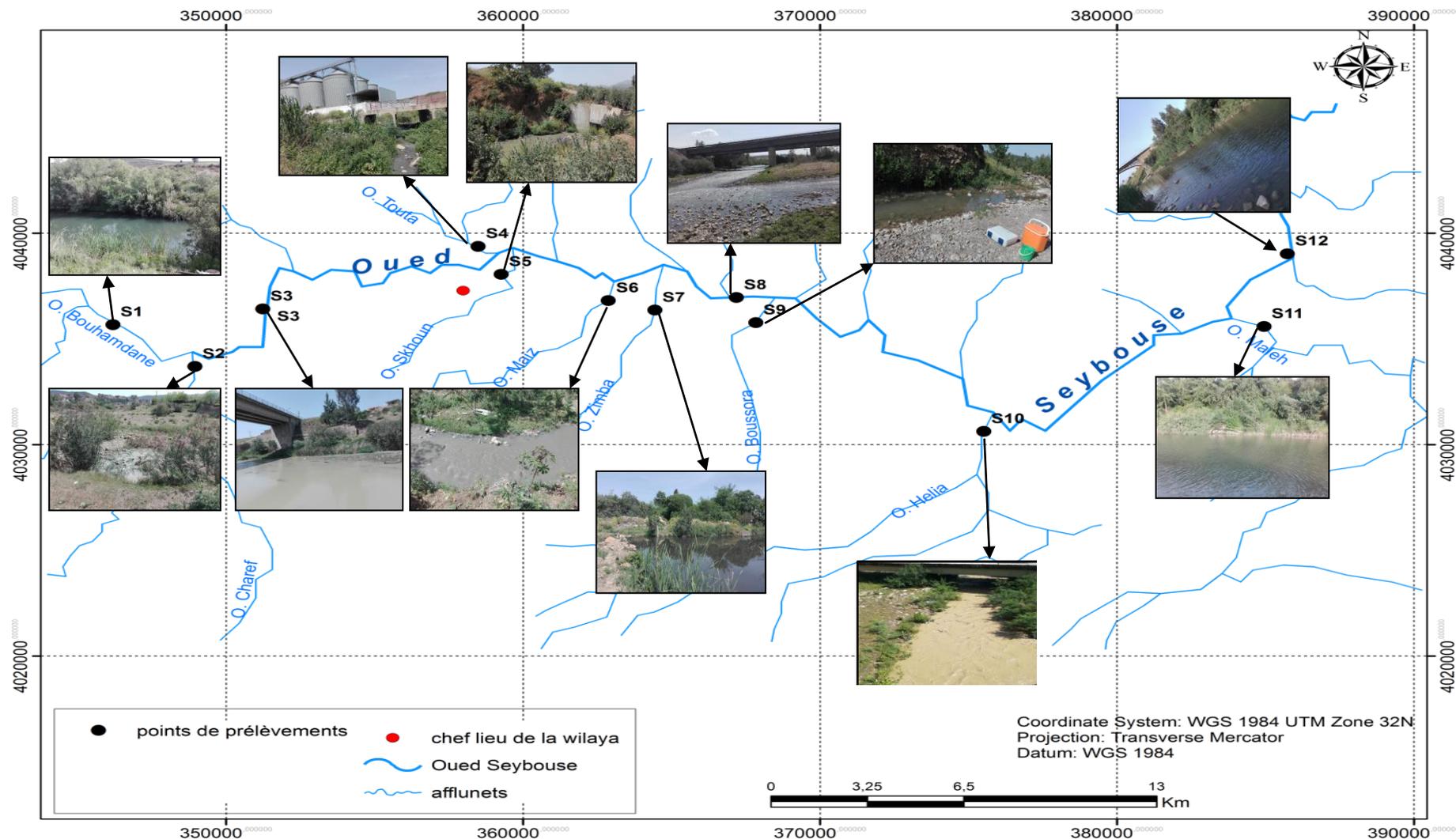


Fig. N° 33 : Spécification des points de prélèvements

II.2. Matériels et Méthodes d'analyses:

Lors des prélèvements, on a effectué la mesure des paramètres in-situ, à l'aide d'un Multi paramètre de marque HORIBA et on a procédé au remplissage des bouteilles d'échantillonnage, en respectant les protocoles de prélèvements et d'échantillonnages.

- Paramètres physico-chimiques mesurés in situ:

Les paramètres mesurés in situ sont : La température; le potentiel d'hydrogène; l'oxygène dissous; la conductivité électrique; la turbidité; et les TDS (total des sels dissous).

- Paramètres Physico-chimiques mesurés au laboratoire:

Les éléments majeurs : Les cations: (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) et Les anions: (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , SiO_2^-).

Les éléments de pollution: Les paramètres Biologiques (DBO_5 , DCO, MES) ; Les éléments nutritifs (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+) ; et les éléments traces métalliques (Fe, Pb, Zn, Cu, Cr, Ni).

Les prélèvements ont été effectués durant la période des hautes eaux le 25 Avril 2017.

Les prélèvements ont été effectués dans des bouteilles en plastiques, rincées à l'eau distillée puis lavés trois fois avec l'eau à analyser, les bouteilles ont été remplies jusqu'au bord (débordement), puis bouchonnées afin d'éviter tout échange gazeux avec l'atmosphère.

Les échantillons ont été conservés immédiatement dans une glacière portative avec une réserve de froid suffisante pour garder une température inférieure à 4°C

Les paramètres physico-chimiques ont été dosés au laboratoire Horizon Annaba (laboratoire d'analyses des sols et des eaux), par trois méthodes : la méthode de Spectrophotométrie, la titrimétrie, et la méthode de photomètre à flamme.

La méthode Titrimétrie NFT 90-005, NFT 90-014, NFT 90-105 et NFT 90-036 a été utilisé pour le dosage de la dureté, les chlorures, les MES et les bicarbonates. La méthode de Photomètre à flamme a été utilisée pour le dosage du sodium et potassium.

La méthode de Spectrophotométrie DIN 38405-D5-2 a été utilisé pour doser les sulfates, DIN EN ISO 16264-H57 pour le dosage de la Silice, DIN EN 26777-D10 pour les Nitrites, DIN 38405-D9-2 pour les Nitrates, DIN 38406-E5 pour l'Ammonium, DIN EN ISO 6878-D11 pour les Phosphates.

Les méthodes Spectro photométriques DIN ISO 15705: 2002 et spectrophotométrie DIN EN 1899-1-H51 ont été utilisées pour le dosage de la demande chimique en oxygène et la demande biochimique en oxygène.

Les éléments traces métalliques (Pb, Cd, Fe, Mn, Cu, Cr, et le Ni) ont été analysés par la méthode spectrophotométrie à la triazine et à la Dithizone.

III. Résultats et discussion

Les résultats des analyses physico- chimique des eaux de l'oued Seybouse et ses affluents montrent une diversification et des variations d'un point de prélèvement à l'autre.

La diversité des résultats des analyses est influencée, d'une manière directe par la nature et l'origine des rejets (industriels, agricoles et urbains).

III.1. Distribution spatiale des paramètres physico-chimiques

III.1.1. Paramètres physico-chimiques mesurés (In situ)

Il s'agit des paramètres mesurés sur site, à l'aide du multi paramètre de terrain, pouvant ainsi donner les premières indications sur la qualité des eaux :

III.1.1.1. Température

La température est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (Chapman et al. 1996).

Les valeurs de la température peuvent aller jusqu'à 27.56°C sous l'influence des plusieurs conditions. Ces variations sont directement liées de la nature géologique, les saisons, la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol, la température extérieure (l'air) et l'heure où le prélèvement a été effectué.

Les valeurs mesurées de la température varient entre 19.45 et 27.56 °C, respectivement au niveau de l'Oued Seybouse, après la confluence de l'Oued Bouhamdane et Charef (S3) et l'Oued Boussora (S9).

On note que le premier point S1 (Oued Bouhamdane), la température atteint 25.43°C, sous l'influence des rejets de Hammam Debagh déversés dans l'oued Bouahmdane. (Fig. N° 34)

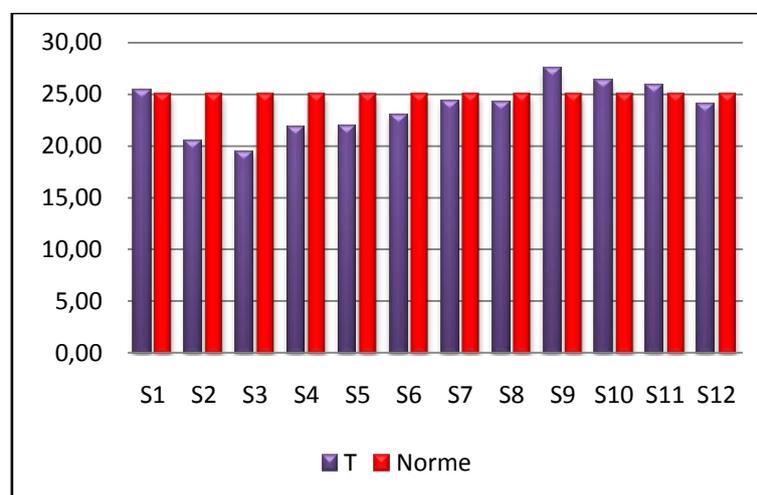


Fig. N°34 : Evolution de la température des eaux de surfaces de la zone d'étude

III.1.1.2. Potentiel d'Hydrogène

Le Potentiel d'Hydrogène est fonction de HCO_3^- ou H^+ ; autant dit, c'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimique dans le diagramme Eh-pH.

Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend des facteurs multiples tels que la température et l'origine de l'eau.

Tableau 33 : Echelle du Potentiel d'Hydrogène

pH < 5	- Acidité forte, - Présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	PH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée, majorité des eaux de surfaces
5.5 < pH < 8	Eaux souterraines
pH > 8	Alcalinité, évaporation intense

Les échantillons prélevés ont un potentiel d'hydrogène supérieur à 7, ce sont donc des eaux basiques avec un pH variant entre 7.82 (S8) et 9.55 (S3).

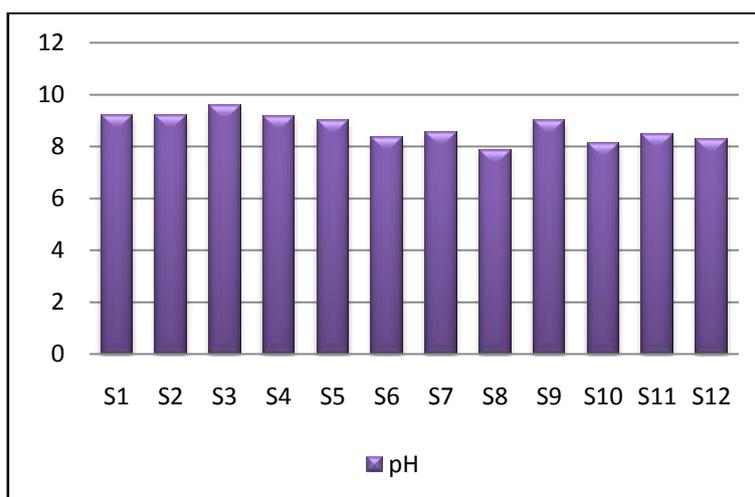


Fig. N° 35 : Evolution du potentiel d'Hydrogène des eaux de surfaces de la zone d'étude

III.1.1.3. Conductivité électrique CE

La conductivité électrique mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique. Ce paramètre donne une indication de la concentration totale de l'eau en ions.

Comme une grande partie des sels dissous dans l'eau s'y trouvent sous forme d'ions (chlorure, nitrates, sodium, calcium, sulfures etc.), la conductivité permet donc aussi d'en estimer l'importance. Les variations de ces concentrations peuvent avoir des impacts sur le milieu naturel.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente.

Comme la température, des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration.

La conductivité est également un des moyens de valider les analyses physico chimiques de l'eau : la valeur mesurée sur le terrain doit être comparable à celle mesurée au laboratoire.

La conductivité permet d'avoir une idée sur la salinité de l'eau, une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux soit une salinité élevée.

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est facile, et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau.

Tableau 34 : Relation : Conductivités – Minéralisation des eaux de surfaces

CE (μS/cm)	Appréciations	Sites correspondants
CE < 100	Eau déminéralisée, eau de pluie	
100 < CE < 200	Minéralisation faible, domaine granitique	
200 < CE < 333	Minéralisation moyenne Domaine des roches carbonatées (Karst)	
333 < CE < 666	Eau moyennement minéralisée, domaine des roches carbonatées (Karst)	
666 < CE < 1000	Minéralisation importante, Saumâtre ou Saline	
CE > 1000	Minéralisation élevée	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10,S11,S12
CE > 30000	Eau de mer	

- Conductivité /Minéralisation

La relation entre la conductivité et la minéralisation totale de l'eau n'est pas linéaire pour les fortes concentrations. On utilise généralement deux formules qui permettent de calculer la minéralisation totale en fonction de la conductivité:

$$\text{TDS} = \text{K} \cdot \text{CE}$$

Avec:

- TDS: Total Dissolved Salt (mg/l)
- CE: conductivité en (μS/cm)
- K: facteur de convention, la valeur du facteur K doit être définie pour chaque zone.

En règle générale:

$$0.65 < \text{K} < 0.75$$

• Conductivité/Résistivité : (χ)

$\text{CE} = 1/\rho$ avec CE (χ)= conductivité en siemens par mètre (s/m) et ρ = résistivité en ohm/m
1 Siémens (S) = 1000 milli siémens (ms) = 1000000 micro siémens

Les valeurs mesurées de la conductivité électrique dépassent largement la norme

recommandée par l'OMS (**1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$**).

La valeur minimale a été observée au niveau de l'oued Bouhamdane avec 1390 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cependant la valeur maximale est enregistrée au point de prélèvement (S11) au niveau d'Oued El Maleh avec 6940 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cette minéralisation est sans doute due au lessivage des formations géologiques triasiques gypsifères affleurant dans la région de Bouchegouf.

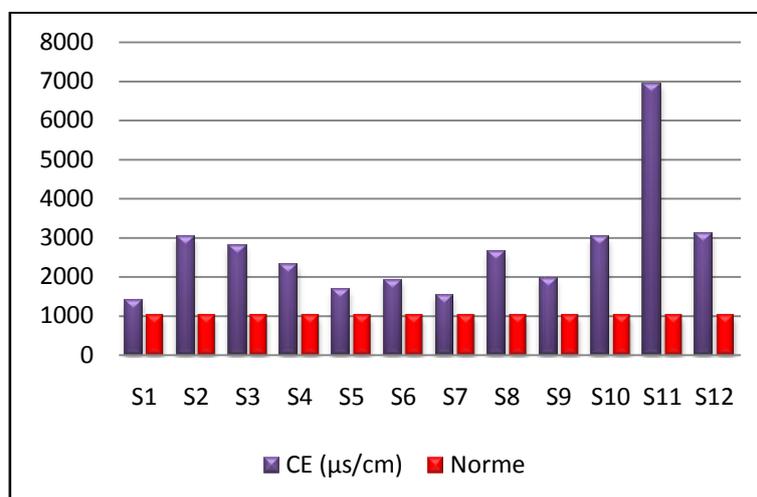


Fig. N° 36 : Evolution de la conductivité électrique des eaux de surfaces de la zone d'étude

III.1.1.4. Total des sels Dissous (TDS)

Le TDS signifie total des sels dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau.

Le TDS est composé des sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans les eaux incluent le Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , et Na^+ , qui sont des cations et CO_3^{2-} , NO_3^- , HCO^- , Cl^- et SO_4^{2-} qui sont des anions.

Ces minéraux peuvent provenir d'un certain nombre de sources naturelles ainsi que des activités humaines.

Tableau 35 : Grille de classement des TDS dans les eaux

TDS (mg/l)	Evaluation	Sites correspondants
Moins de 300	Excellent	
300-600	Bien	
600-900	Passable	S1
900-1200	Faible	S5, S7
Plus de 1200	Inacceptable	S2, S3,S4, S6,S8,S9,S10,S11

Les résultats de la TDS montrent que les fortes valeurs se localisent au niveau de l'Oued El Maleh (S11) et l'Oued Charef (S2) (période des lâchers de barrage de Charef ex : Foum El Khanga), avec respectivement des concentrations de 4360 mg/l et de 1930 mg/l. Les eaux de l'oued sont inacceptables pour la majorité des points de prélèvement sauf au niveau

du point (S1) représentant Oued Bouhamdane, avec une qualité passable. Les points (S5) et (S7) correspondent à une qualité faible vis-à-vis de la TDS.

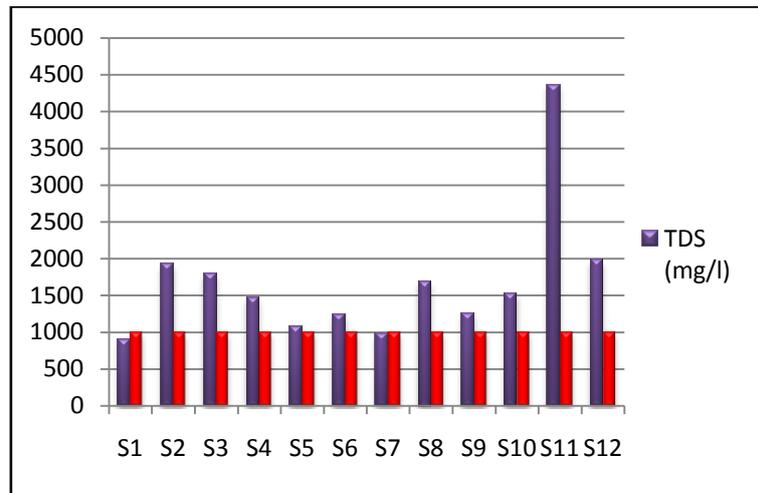


Fig. N° 37 : Evolution de la TDS dans les eaux de surfaces de la zone d'étude

III.1.1.5. Turbidité

Une eau turbide est une eau trouble, cette caractéristique vient de la teneur de l'eau en particules en suspension, associées au transport de l'eau. Au cours de ce parcours, l'eau se charge de quantités énormes de particules, qui troublent l'eau. Les matières, mêlées à l'eau, sont de natures très diverses : matières d'origine minérale (argile, limon, sable...), micro particules, micro organismes.

La turbidité se mesure par la réflexion d'un rayon lumineux dans l'eau. La turbidité est mesurée par un test optique qui détermine la capacité de réflexion de la lumière (l'unité de mesure est le « NTU » (Nephelometric Turbidity Units).

La mesure sur terrain de la Turbidité montre que les fortes valeurs se localisent au niveau des points (S2) et (S5) qui représentent respectivement l'Oued el Charef et l'Oued Skhoun avec une concentration de 1000 NTU.

La forte valeur au niveau du point (S2), s'explique suite aux lâchées du barrage de Cherf, situé dans la wilaya de Souk Ahras pour des raisons agricoles (irrigation du périmètre de Guelma) ; le point (S5) représentant le point des rejets domestiques et des rejets de la zone industrielles de Guelma déversés directement dans l'Oued Skhoun.

La faible valeur est observée au niveau de l'Oued Helia (S10) avec une concentration de 186 NTU.

Toutes les valeurs de la turbidité montre que l'eau **est trouble** conformément aux normes Algériennes (NTU>50).

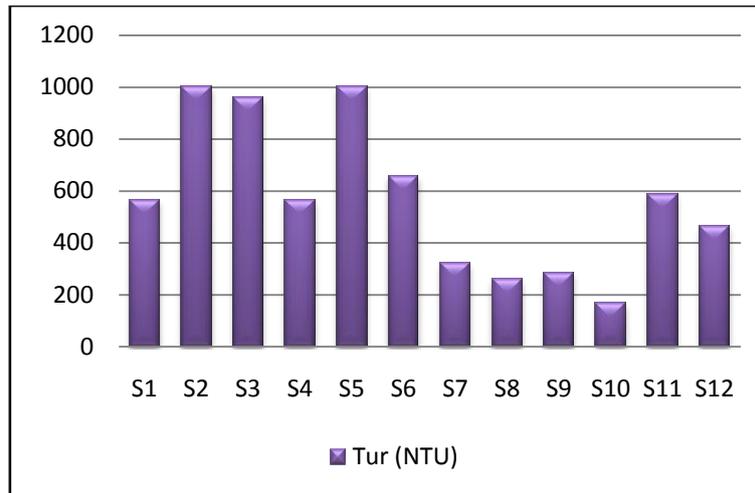


Fig. N°38 : Evolution de la Turbidité dans les eaux de surfaces de la zone d'étude

III.1.1.6. Oxygène dissous

L'oxygène est présent dans l'eau sous forme dissoute ou gazeuse. Avec une température et une pression donnée, il existe une quantité maximale d'oxygène sous forme dissoute. C'est la teneur en O_2 pour laquelle l'eau est saturée à 100 %. Il faut savoir que la quantité d'oxygène en solution dans une eau régit les réactions d'oxydoréduction et présente une évolution identique à celle du Eh.

Les organismes aquatiques ont besoin d'une quantité suffisante d'oxygène dissous dans l'eau pour survivre, ce qui en fait un important critère pour la vie aquatique.

Les facteurs qui peuvent mener à la réduction de l'oxygène dissous sont : l'augmentation de la température de l'eau et la décomposition de grandes quantités de matières organiques.

Les valeurs en oxygène dissous varient entre 8.97 mg/l au niveau de l'oued Charef (S2) et 13.45 mg/l au niveau de l'Oued Seybouse (S3), indiquant que les eaux sont sursaturées en oxygène ($O_2 > 7\text{mg/l}$). (Fig. N° 39)

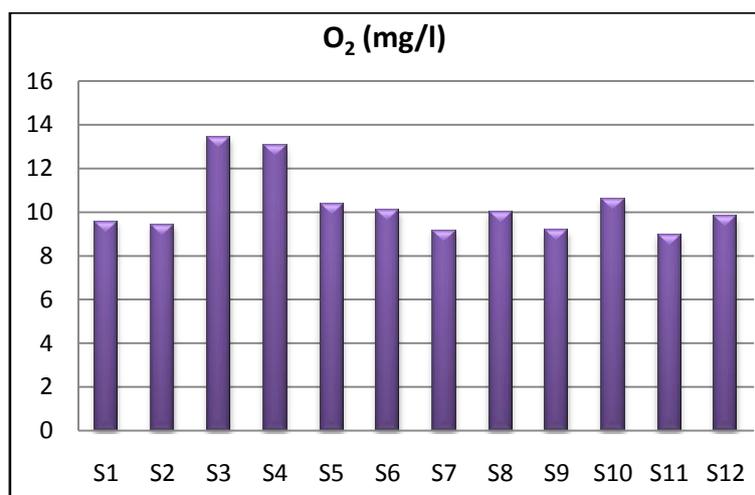


Fig. N° 39 : Evolution de l'Oxygène dissous des eaux de surfaces de la zone d'étude

III.1.2. Paramètres physico-chimiques mesurés au laboratoire

III.1.2.1 Les éléments majeurs

III.1.2.1.1. Silice (SiO_2)

La **silice** est la forme naturelle du dioxyde de silicium (SiO_2) qui entre dans la composition de nombreux minéraux, c'est un composé abondant, présent dans les eaux souterraines beaucoup plus que dans les eaux de surfaces, en raison de l'érosion des roches et des minéraux.

Une forte concentration en silice dissoute peut cependant avoir des effets sur l'efficacité des systèmes de traitement qui sont conçus pour éliminer de l'eau le fer et le manganèse dissous.

Les valeurs de la silice dans la zone d'étude sont respectivement de 3.5 mg/l au niveau de l'oued Maleh et 18.9 mg/l au niveau de l'oued Bouhamdane.

L'OMS n'a pas donné d'indication concernant la concentration maximale admissible relative à la qualité des eaux, mais selon Rodier, une eau potable de bonne qualité ne peut contenir plus de 20 mg/l de silice.

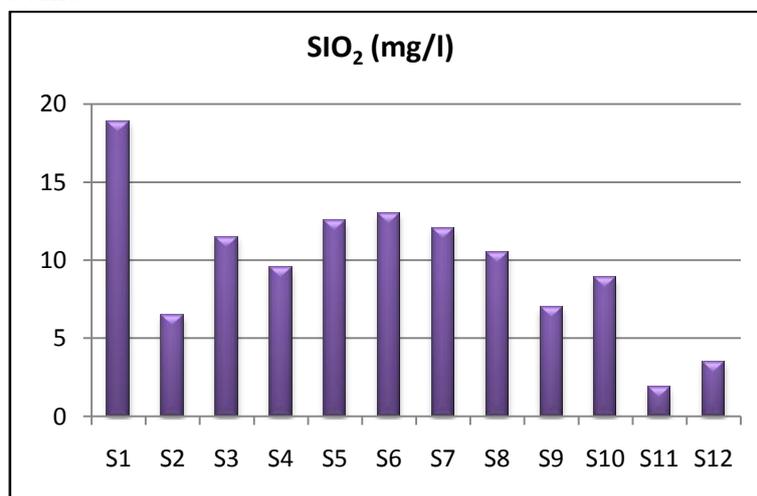


Fig. N° 40 : Variation des valeurs de la Silice

III.1.2.1.2. Sodium

Le sodium constitue 2,83 % des constituants de la croûte terrestre, il présente un degré de dissolution élevé dans l'eau, c'est pour cela qu'il existe dans les eaux superficielles et profondes d'une façon naturelle. En plus les eaux usées domestiques et agricoles contiennent des quantités importantes en sodium.

Il constitue l'un des éléments indispensables pour la croissance des végétaux mais l'augmentation de sa proportion dans l'eau d'irrigation conduit à la diminution de la perméabilité du sol, et à l'augmentation exponentielle de son pH (Elhayek, 1989, Taliouine, 2006).

Les teneurs en sodium sont supérieures à la norme tolérée de l'OMS (150 mg/l), la valeur maximale est observée au niveau de l'Oued El Maleh (S11) avec une concentration de 375 mg/l, cependant la valeur minimale est observée au niveau de l'oued Bouhamdane (S1) avec une valeur de 120 mg/l.

Ces valeurs indiquent l'existence des forts apports salifères à partir des formations géologiques triasiques. (Fig. N° 41)

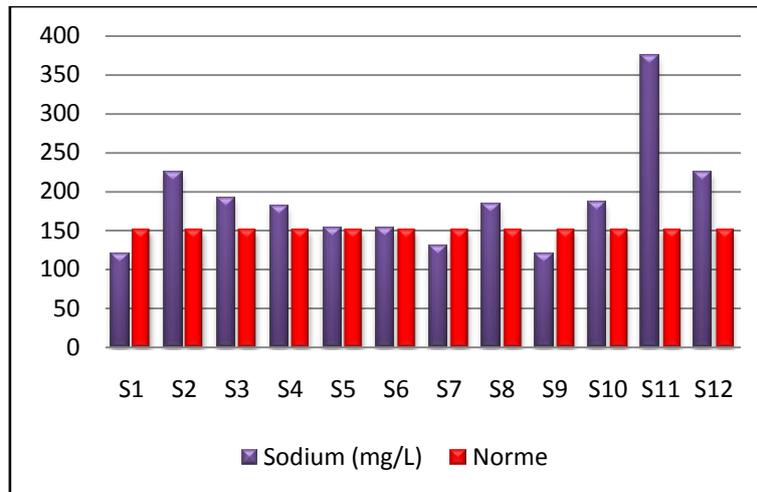


Fig. N° 41 : Evolution du Sodium dans les eaux de surfaces de la zone d'étude

III.1.2.1.3. Potassium

Le potassium provient de l'altération des roches silicatées (Gneiss et Schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK, à base d'Azote, Potasse et Phosphore).

On observe une variation des valeurs du potassium dans les eaux de l'Oued Seybouse ; la valeur la plus élevée est observé au niveau de l'Oued Skhoun (S5) avec une concentration de 28 mg/l, alors que la valeur la plus faible est située au niveau de l'Oued Bousora (S9) (8.5mg/l).

La valeur élevée du potassium au niveau du point de prélèvement (S5), peut être due aux rejets des eaux de drainage et d'assainissement dans la zone de Guelma. L'OMS a fixé une limite maximale admissible de la concentration en Potassium à 12 mg/l. (Fig. N°42)

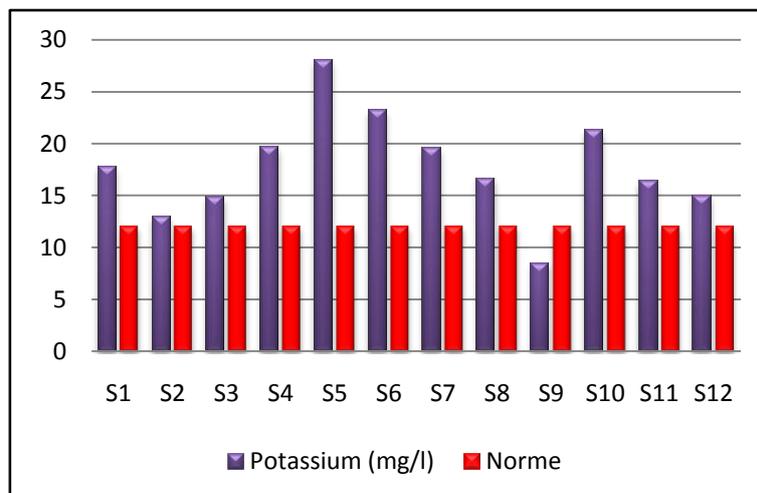


Fig. N° 42 : Evolution du Potassium dans les eaux de surfaces de la zone d'étude

III.1.2.1.4. Calcium

La présence des ions Ca^{2+} est liée principalement à deux origines naturelles : Soit à la dissolution des formations gypseuses CaSO_4 , ou à la dissolution des formations carbonatées CaCO_3 .

L'OMS a fixé une limite maximale admissible pour la concentration en calcium à 100 mg/l, d'après la figure représentant les concentrations en Ca^{2+} , les fortes teneurs qui dépassent la norme sont observées dans toute la zone d'étude, ces teneurs varient entre 112.4 et 279 mg/l. (Fig. N°43)

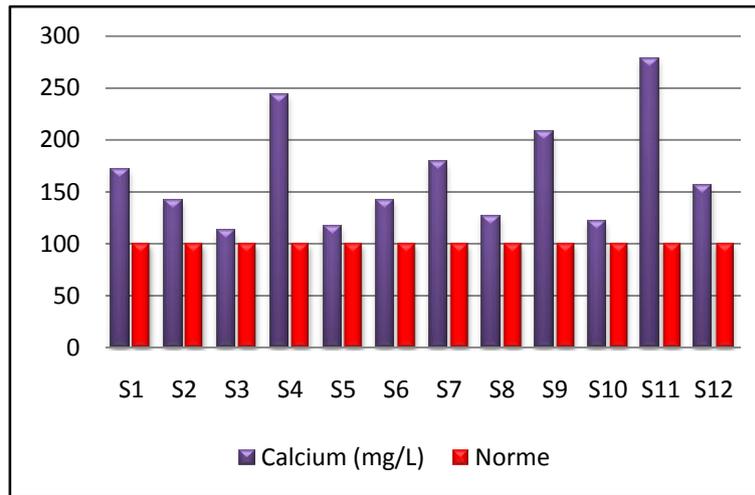


Fig. N° 43 : Evolution du Calcium dans les eaux de surfaces de la zone d'étude

III.1.2.1.5. Magnésium

Le magnésium, atome central de la chlorophylle, est un élément essentiel de la vie des plantes, il est indispensable à la croissance des végétaux ainsi qu'au métabolisme animal dans lequel il fonctionne entre autre, comme activateur de la dégradation des sucres. Ses origines sont comparables à celles du calcium, il provient de la dissolution des formations carbonatées à forte teneurs en Mg^{2+} (magnésite, dolomite,...etc.). Les valeurs mesurées varient entre 31.7 mg/l (S3) et 105.7 mg/l (S11). (Fig. N° 44)

On note que les eaux de l'oued Seybouse et ses affluents sont influencées par la dissolution des formations dolomitiques que renferme la région.

L'OMS a fixé une limite maximale admissible de la concentration en Magnésium à 50 mg/l.

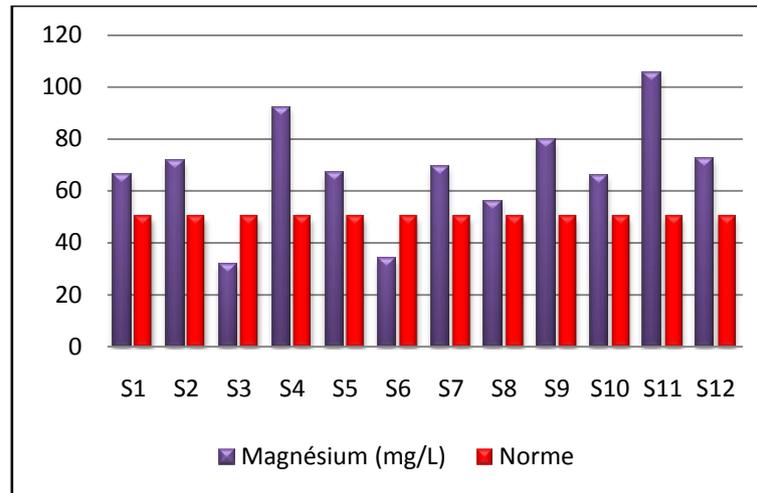


Fig. N° 44 : Evolution du Magnésium dans les eaux de surfaces de la zone d'étude

III.1.2.1.6. Chlorures

Les chlorures sont généralement très répandus dans la nature sous forme de sels de sodium NaCl, de potassium KCl et de calcium CaCl₂.

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés (Rodier, 1996; Bremond et Vuichard, 1973) et à la nature des activités humaines (Ayers and Westcot, 1994; FAO, 2003), à la pénétration de l'eau de Mer dans les régions côtières, et à la pollution par la **lixiviation** des décharges, chacune de ces sources de pollution peut contaminer localement les eaux de surfaces et les eaux souterraines.

L'interprétation des résultats des analyses des chlorures montre que les concentrations varient entre 55.8 mg/l en S5 (Oued Skhoun) et 1384.5 mg/l au niveau de S11 (Oued Maleh), l'existence des chlorures est due aux formations géologiques traversées par les eaux et à la pollution de surface.

L'OMS a fixé la valeur maximale admissible de la concentration en Chlorure à 200 mg/l. (Fig. N° 45).

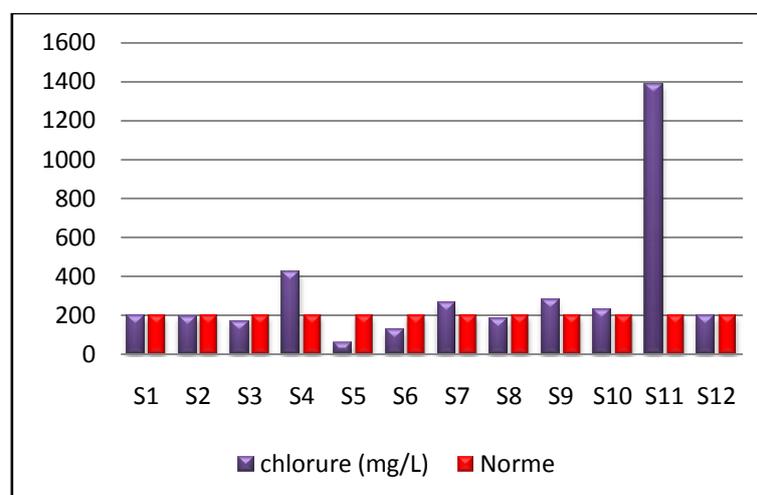


Fig. N° 45 : Evolution des chlorures dans les eaux de surfaces de la zone d'étude

III.1.2.1.7. Bicarbonates

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin et calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique.

La somme des équations de la dissolution et donnée comme suit :



La concentration des bicarbonates est fonction des paramètres suivants : la température de l'eau, la tension du CO_2 dissous, la concentration de l'eau en sels et la nature lithologique des terrains traversés.

Les résultats des analyses sont très variables et oscillent d'une valeur minimale de 107 mg/l au point (S11) Oued Maleh, à la valeur maximale de 394.3 mg/l au niveau du point (S5) Oued Skhoun.

La présence de cet élément dans les eaux de l'oued Seybouse, est liée à la dissolution des formations calcaires existant dans la région de Guelma.

La norme de l'OMS concernant les Bicarbonates est de 250 mg /l. (Fig. N° 46)

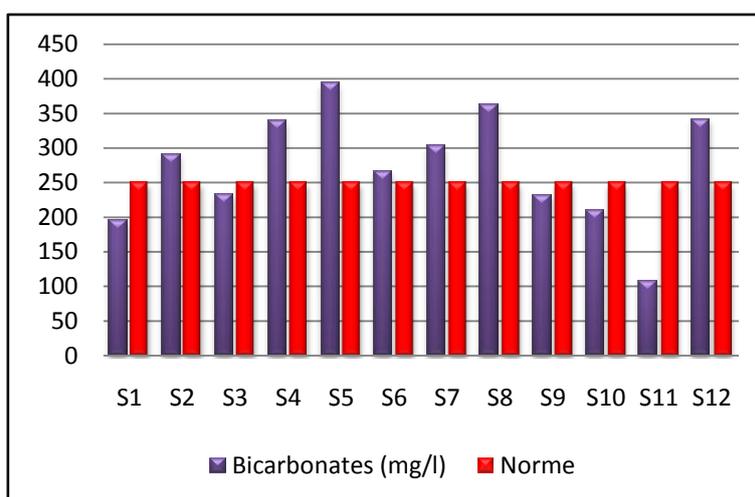


Fig. N° 46 : Evolution des Bicarbonates dans les eaux de surfaces de la zone d'étude

III.1.2.1.8. Sulfates

Les sulfates sont présents dans l'eau en quantités variables. Ils peuvent provenir de plusieurs origines:

- la solubilité des formations gypseuses dans le haut bassin versant ou le lessivage des niveaux argileux et marneux de la nappe,
- Les rejets d'eaux usées et industrielles contenant de l'acide sulfurique (H_2SO_4),
- L'utilisation des engrais chimiques.

Leur présence dans les eaux résulte de l'oxydation des sulfates (pyrites), de l'oxydation des sulfures d'hydrogène et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère puis entraînés lors des précipitations et de la légère solubilité du sulfate de calcium (CaSO_4) des roches gypseuses ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Les valeurs en Sulfates (SO_4^{2-}) sont élevées et varient entre 112 mg/l au niveau de l'Oued Zimba (S7) et 393 mg/l au niveau de l'Oued Maleh (S11). Ces valeurs élevées sont liées à la dissolution des formations gypseuses dans la plaine de Bouchegouf.

L'OMS recommande la valeur limite de 250 mg/l. (Fig. N° 47)

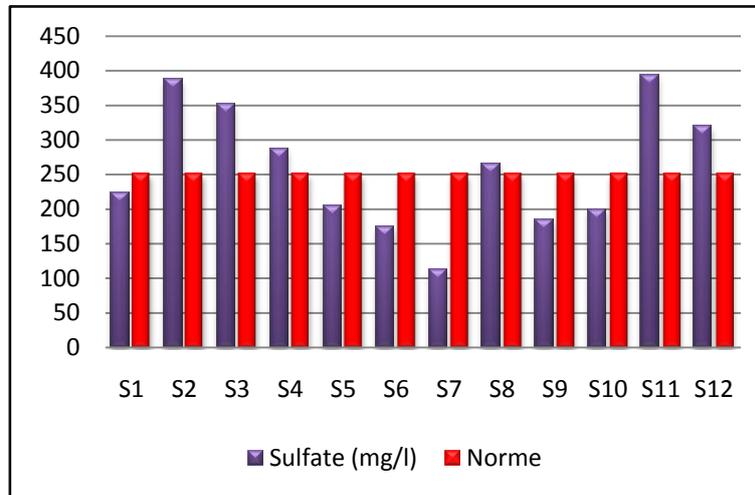


Fig. N° 47 : Evolution des Sulfates dans les eaux de surfaces de la zone d'étude

III.1.2.2. Les éléments de pollution

III.1.2.2.1. Les matières en suspension

Les matières en suspension (MES) représentent l'ensemble des particules minérales et organiques insolubles, flottantes ou en suspension, contenues dans les eaux usées (Cornaz, 2004).

Les MES enregistrent une valeur élevée de 279 mg/l au niveau de l'oued Maiz (S6) suite au mélange des eaux domestiques non traitées de la commune de Belkhir déversées directement dans l'Oued Maiz, la valeur minimale de 2 mg/l est observée au niveau de l'Oued Bouhamdane (S1).

La norme de 35.0 mg/l, recommandée par les Normes Algériennes de 2006 pour les eaux de surface est largement dépassée dans les points de prélèvements (S2, S3, S4, S5, S6, S11, et S12).

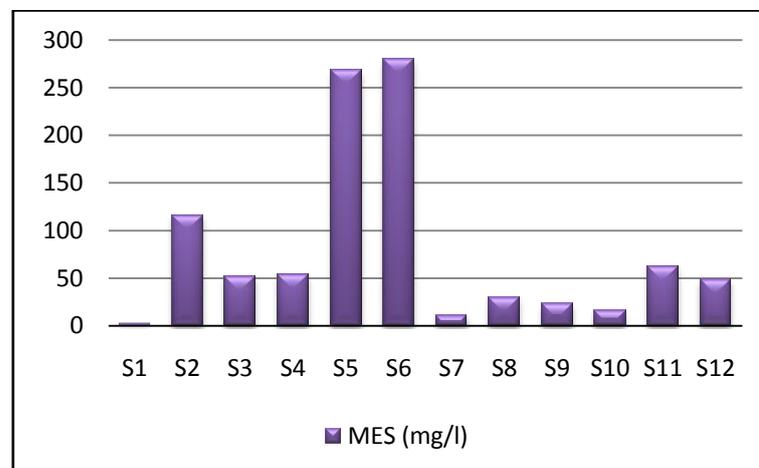


Fig. N° 48: Variation des valeurs de la MES

III.1.2.2.2. Demande Chimique en Oxygène

La demande chimique en oxygène DCO exprime la quantité d'Oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant : le bichromate de potassium.

La valeur minimale mesurée de la DCO est de 10 mg/l O₂, elle est enregistrée au niveau du point de prélèvement S11, la valeur maximale de 107 mg/l O₂ est observée au niveau du point de prélèvement S6.

La demande chimique en oxygène évolue d'une façon similaire d'amont en aval dans la région, avec quelques fluctuations. L'explication de cette variation s'explique par l'instauration des conditions de dégradation de la matière organique par les microorganismes et l'oxydation des sels minéraux.

Les valeurs en DCO dépassant la norme de 80 mg/l O₂ recommandée par les Normes Algériennes de (2006) sont observées au niveau de l'Oued Skhoun et Oued Maiz qui représentent les points de rejets domestiques de la **ville de Guelma** et de la commune de **Belkheir**. (Fig. N° 49)

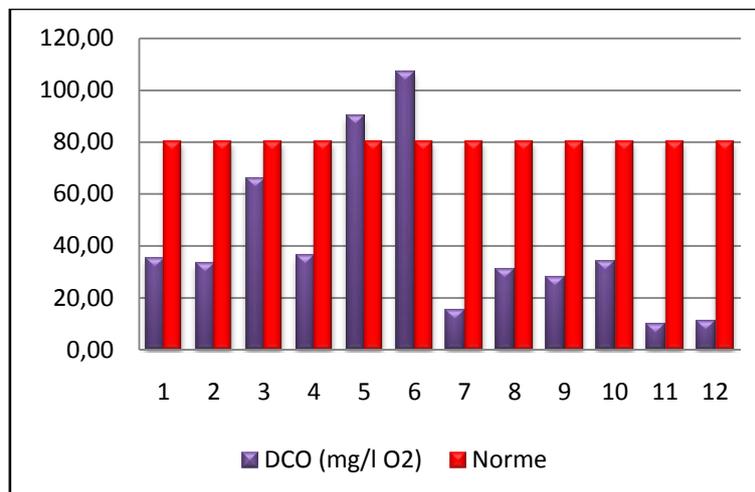


Fig. N° 49 : Variation des valeurs de la DCO

III.1.2.2.3. Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅)

La DBO₅ est la quantité de dioxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de dioxygène par voie biologique.

La consommation biologique d'oxygène d'une eau donne une indication sur sa teneur en matière organique. Elle est obtenue par différence entre le taux d'oxygène de l'eau mesurée immédiatement et celui mesuré après un temps d'incubation de 5 jours, à une température de 20 °C.

Elle sert comme échelle de mesure de la pollution organique.

Les valeurs en DBO₅ varient entre 4.5 au niveau de l'oued Seybouse (S12) et 36 mg/l O₂ au niveau de l'oued Skhoun (S5). Les valeurs de la DBO₅ au niveau des points S3 et S5 dépassent la norme Algérienne de **25 mg/l** et ceci s'explique par les lieux de rejets domestiques des communes de Medjez Amar et Guelma. (Fig. N° 50)

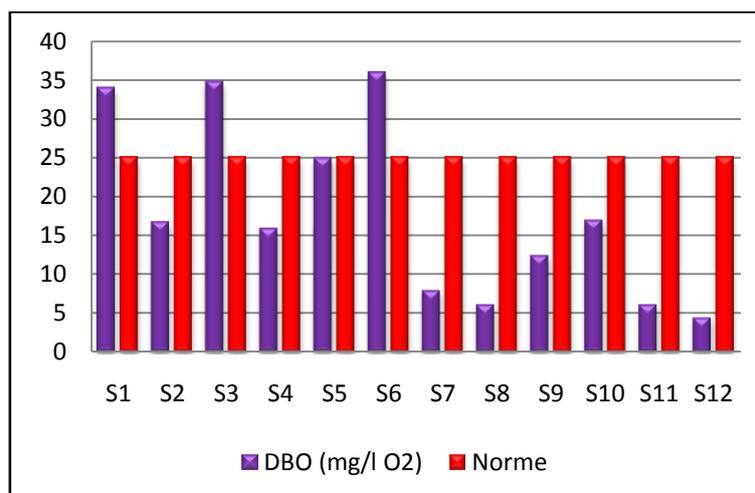


Fig. N° 50 : Variation des valeurs de la DBO₅

III.1.2.3. Les Eléments nutritifs

L'azote est un constituant essentiel de la matière vivante, mais sa présence en quantité importante dans les eaux usées nécessite une surveillance attentive (Mecalf & Eddy, 1991; NRC., 1993; Faby, 2003; Cornaz, 2004). L'azote dans les eaux usées se trouve sous formes organique et inorganique. Les formes inorganiques sont immédiatement disponibles pour les plantes tandis que les formes organiques doivent être minéralisées par les microorganismes.

L'azote minéral se présente en solution ionique dans l'eau sous 3 formes principales :

- L'azote ammoniacal (ammoniac NH_3^+ et ammonium NH_4^+);
- Les Nitrites NO_2^- ;
- Les Nitrates NO_3^-

III.1.2.3.1. Les Nitrates

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote. C'est une forme très soluble et sa présence est liée à l'utilisation intensive des engrais chimique. Sous cette forme, l'azote est un sel nutritif utilisable par la majorité des végétaux.

La valeur maximale est observée au niveau du point (S6) avec une concentration de 92 mg/l, due aux rejets domestiques de la commune de Belkheir qui sont déversés directement au niveau de l'Oued Maiz et à l'utilisation intensive des engrais chimiques.

La valeur minimale a été relevée au niveau de l'Oued Bouhamdane (S1) avec 27 mg/l, cette valeur est due au fait que l'azote se trouve sous ses formes ammoniacale ou organique, fortement présents dans les eaux usées domestiques, puis progressivement ces derniers s'oxydent, générant les nitrites (Rodier, 1996; Cornaz, 2004). (Fig. N° 51)

Comparées aux valeurs des nitrates rapportées dans la thèse de Doctorat de Mr GUETTAF (2015), les valeurs en nitrates dans les eaux de l'Oued Seybouse ont augmentées depuis cette date.

Pour remédier à cette situation d'excès en nitrates dans les eaux des Oueds Skhoun et Maiz, il est possible :

- 1- Introduire, au niveau de la STEP de Guelma, le procédé de réduction des taux de nitrates (anoxie) dans les effluents traités,
- 2- Absorber l'excédent de nitrates du sol en cultivant des espèces nitrophiles
- 3- Tenir compte, lors des apports exogènes, des teneurs de l'eau et du sol en azote.

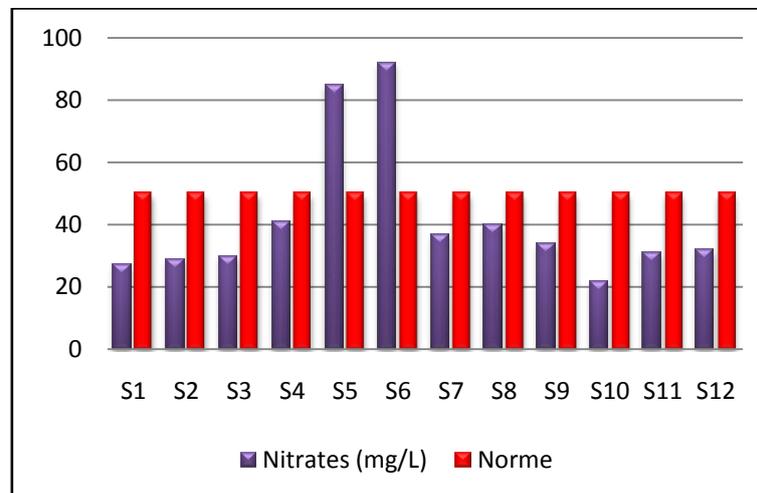


Fig. N° 51 : Variation des Nitrates dans les eaux de la région d'étude

III.1.2.3.2. Nitrites NO_2^- ou Azote nitreux

Considéré comme toxiques, les nitrites sont la forme la moins stable dans le cycle de l'azote. Ils sont issus de la réduction de l'ammonium NH_4 . Leurs origines sont liées à l'agriculture ou aux rejets urbains et industriels.

Au niveau de l'oued Seybouse cet élément se caractérise par des valeurs élevées avec un maximum de 0.40 mg/l au niveau du point de prélèvement (S3) et un minimum, enregistré au niveau du point (S8) avec une concentration de 0.07 mg/l. Les teneurs en nitrites sont supérieures à la norme Algérienne (0,1 mg/l). (Fig. N° 52)

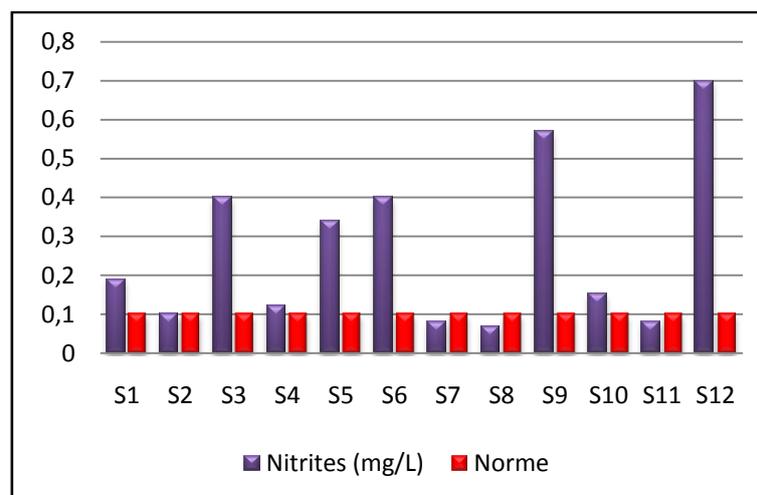


Fig. N° 52 : Variation des valeurs en Nitrites

III.1.2.3.3. Ammonium NH_4^+

C'est la forme de l'azote la plus toxique, sa présence dans l'eau est liée aux rejets urbains et industriels. La teneur maximale est observée au niveau de l'oued Skhoun (S5) avec 0,45 mg/l, son existence est liée aux rejets urbains et industriels dans la région de Guelma. Cependant au niveau du point (S1), la valeur est minimale avec 0.20 mg/l. (Fig. N° 53)

Nisbet et Verneaux (1970) rapportent que l'azote ammoniacal existe dans les eaux riches en matières organiques en décomposition lorsque la teneur en oxygène est insuffisante pour assurer sa minéralisation.

Les valeurs en ammonium fortement élevées, représentent un indice de pollution récent (Dussart, 1992 ; Peirce, 1997).

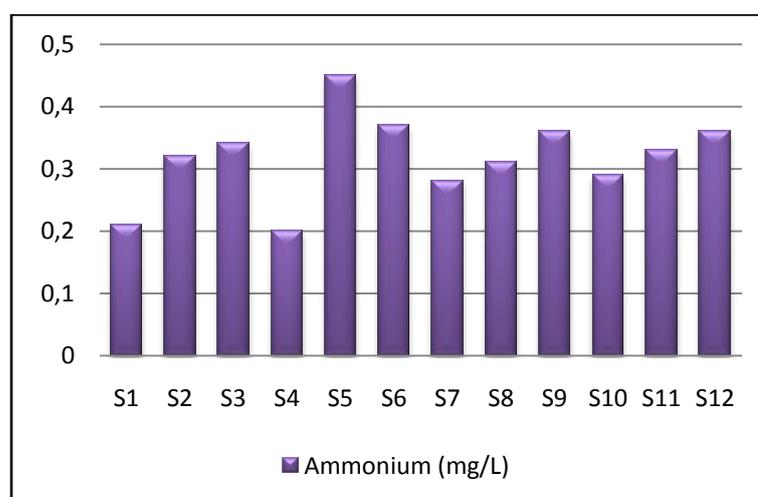


Fig. N° 53 : Variation des valeurs de l'Ammonium

III.1.2.3.4. Ortho phosphates (PO_4^{3-})

Les phosphates peuvent être d'origine organique ou minérale, le plus souvent leurs teneurs dans les eaux naturelles résultent de leur utilisation en agriculture sous forme d'engrais chimiques ou de pesticides, ce qui est le cas dans l'oued Seybouse entouré de terres agricoles où les concentrations varient de 1.61 mg/l (S11) à 10.19 mg/l (S5).

Les teneurs élevées qui dépassant la norme Algérienne des rejets (2 mg/l) dans les affluents de la Seybouse s'explique, spatialement par les rejets additionnels des agglomérations et des unités industrielles avoisinantes dans la région d'étude.

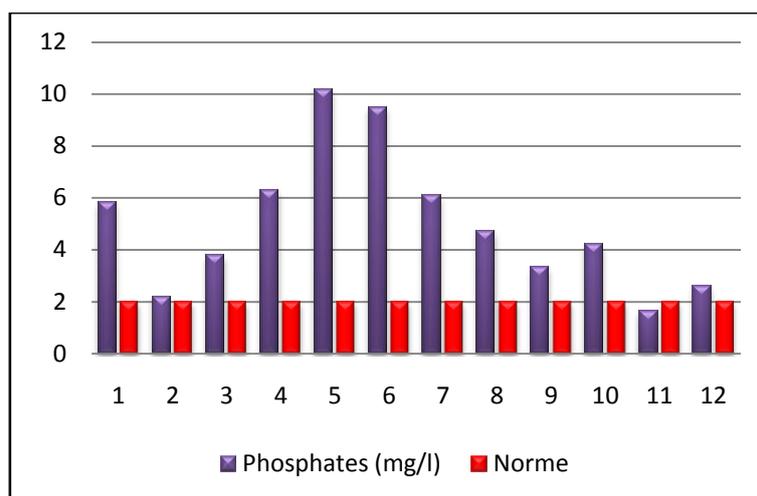


Fig. N° 54 : Variation des valeurs en Orthophosphates

III.2. Distribution spatiale des éléments traces métalliques

Pour interpréter les résultats des analyses chimiques vis-à-vis des éléments traces métalliques, nous avons pris en considération les valeurs limites des paramètres des rejets d'effluents liquides industriels, d'après le journal officiel de la république Algérienne N°26 du (23 avril 2006) et les valeurs limites des éléments toxiques pour les eaux destinées à l'irrigation d'après le journal officiel de la république Algérienne N°41 du (15 juillet 2012).

III.2.1. Origine des ETM

En général, les métaux toxiques proviennent de la combustion du charbon, pétrole, des ordures ménagères et de certains procédés industriels particuliers. Ils sont principalement issus des usines d'incinération de déchets et du trafic automobile (Person et Al, 1993).

De plus, les éléments métalliques sont également présents naturellement (Fond géochimique).

L'agriculture peut en constituer une source importante :

- Les impuretés dans les engrais : Cr, Pb, Zn, U, V, et Cu
- Les pesticides : Cu, As, Hg, Mn, Zn, Cu
- La conservation du bois : As, Cu, Cr et l'élevage intensif des porcs et de volailles Cu, As, Zn
- Boues d'épuration spécialement Cd, Ni, Pb, Zn et As

Dans l'industrie, il sont obtenus à partir de l'exploitation minière, du recyclage de déchets et de débris de métaux dérivant originellement de source géologique (Alloway and Ayres, 1997).

III.2.2 Le plomb

Le plomb est un élément chimique dense et ductile, il se présente sous la forme de sulfures (Galène), de carbonates (Cérousite) et phosphates (Pyrophosphite).

D'importantes quantités de plomb sont utilisées dans les batteries et dans les gaines des câbles électriques, ainsi que dans l'industrie, on le trouve dans la fabrication des accumulateurs acides, de la soudure et des pigments.

Les valeurs en plomb analysées dans la zone d'étude varient entre 0.002 et 0.1 mg/l ; elles sont inférieures à la norme Algérienne de rejets pour les eaux naturelles (0.5 mg/l).

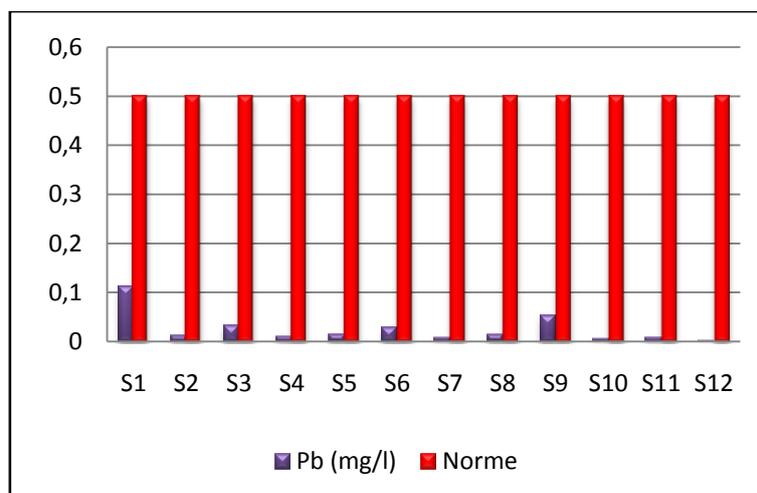


Fig. N° 55 : variation des concentrations de Plomb dans la zone d'étude

III.2.2.1 Impacts du Plomb sur la santé et l'environnement

III.2.2.1.1. Sur la santé

Le plomb, sous quelques formes que ce soit introduit dans le corps est très toxique. Ses effets se font généralement sentir après une période d'accumulation du métal dans l'organisme.

Les enfants sont particulièrement exposés à l'intoxication, même pour des concentrations minimales : le Plomb peut retarder le développement moteur, altérer la mémoire et provoquer des problèmes d'audition et des troubles de l'équilibre. L'empoisonnement par le plomb se manifeste par l'anémie, la faiblesse, la constipation, la colique et la paralysie, en particulier des poignets et des chevilles.

III.2.2.1.2. sur l'environnement

Le plomb est un produit chimique particulièrement dangereux car il peut s'accumuler dans les organismes individuels, mais aussi dans la chaîne alimentaire toute entière. Le plomb s'accumule dans le corps des organismes aquatiques et ceux du sol provoquant leur empoisonnement. Chez les crustacés ses effets se font ressentir même à très petites doses.

Les fonctions des organismes du sol sont perturbées par l'intervention du plomb, spécialement près des autoroutes et des terres agricoles, où des concentrations extrêmes peuvent être présentes.

III.2.3. Le Fer

Le fer est un des métaux le plus abondants de la croûte terrestre, il est présent dans l'eau sous trois formes : le fer ferreux Fe^{2+} , le fer ferrique Fe^{3+} et le fer complexé à des matières organiques, sa présence dans l'eau peut avoir diverses origines naturelles par exemple le lessivage des terrains traversés ou des pollutions industrielles. Dans les eaux domestiques, le fer provient le plus souvent de la corrosion des conduites.

Les teneurs en fer, dans les eaux de l'oued Seybouse et ses affluents, dont la moyenne est de 0.32 mg/l, varient de 0.09 à 0.92 mg/l dans le point S2 (oued Charef) et S6 (Oued Maiz) respectivement. Les résultats des analyses en Fer sont inférieurs aux normes Algériennes pour les eaux de surface (3 mg/l).

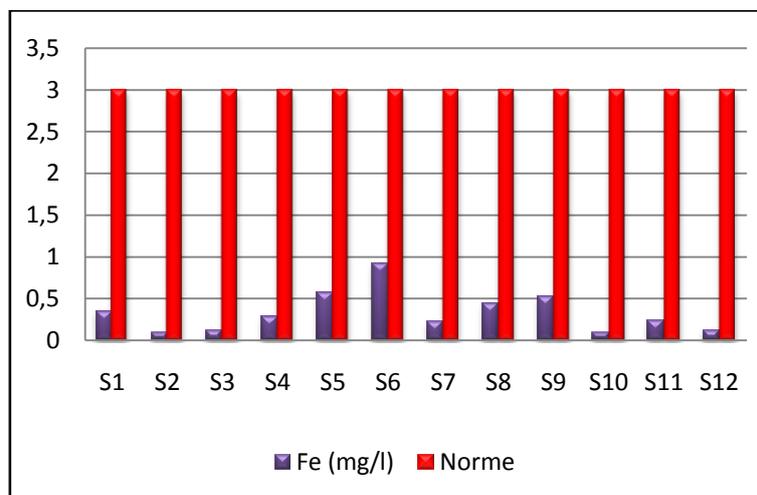


Fig. N° 56 : variation des concentrations en Fer dans la zone d'étude

III.2.3.1 Impact du Fer sur la santé et l'Environnement

III.2.3.1.1. Sur la santé

L'ingestion d'une forte dose d'un sel de Fer peut produire une intense altération des muqueuses digestives se traduisant par des douleurs abdominales, de vomissement et une diarrhée souvent sanglante. Les intoxications sévères peuvent entraîner des complications hémorragiques, des brûlures chimiques du tube digestif pouvant conduire à la mort.

III.2.3.1.2. Sur l'environnement

Dans les eaux bien aérées, le Fer ferreux est oxydé en Fer ferrique qui précipite sous forme d'hydroxyde de Fer ($\text{Fe}(\text{OH})_3$)

Dans les eaux souterraines, au contraire l'absence d'oxygène fait que le fer reste en solution, sous l'action des bactéries, le Fer ferrique peut être réduit en Fer ferreux dans les sédiments, en présence de composés organiques.

La présence du fer dans l'eau provient principalement du lessivage des sols, avec dissolution des roches et minerais, des rejets industriels, de la corrosion des canalisations métalliques, et de l'utilisation de sels ferriques comme coagulants.

Cet élément présente un danger de toxicité assez modérée pour la vie aquatique.

III.2.4. Le cuivre

Le cuivre est l'un des ETM présent en quantité non négligeable dans les rejets urbains à des teneurs allant de 0.01 à 0.75 mg/l (Chocat, 1997 ; Zouita, 2002). Les sels de cuivre sont utilisés comme des ingrédients actifs dans les préservatifs du bois, dans les fongicides ou algicides, en agriculture. Les valeurs en cuivre dans les eaux de l'Oued Seybouse varient de 0.16 (S12) à 0.41 (S9) mg/l avec une moyenne de 0.25 mg/l. Les valeurs sont inférieures à la norme recommandée par l'Algérie pour les eaux naturelles (0.5 mg/l).

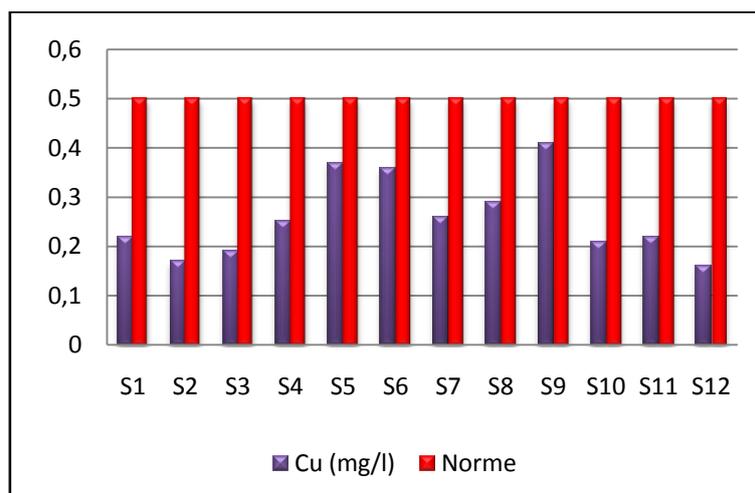


Fig. N° 57 : variation des concentrations de cuivre dans la zone d'étude

III.2.4.1. Impacts du Cuivre sur la santé et l'Environnement

III.2.4.1.1. Sur la santé

Le cuivre est un élément essentiel pour l'homme. Cependant, de très fortes doses peuvent avoir des effets sur la santé. Une exposition à long terme à des poussières de cuivres peut irriter les sinus, la bouche, les yeux, des maux de tête, des nausées et des diarrhées. Il peut aussi entraîner des dégâts au niveau du foie et des reins, voir même un décès. L'intoxication chronique est marquée par un amaigrissement et des difficultés respiratoires surtout pour les enfants en bas âge.

III.2.4.1.2. Sur l'environnement

Le cuivre entre dans l'environnement comme résultat à de nombreuses activités anthropiques actuelles associées à l'utilisation du Cu.

Concernant les végétaux, une forte dose en cuivre provoque des lésions réticulaires des racines et formation de nombreuses radicelles brunâtres.

Le cuivre s'accumule dans les parois cellulaires.

Pour les poissons, l'effet toxique du cuivre est très remarquable, il provoque une altération des branchies des poissons et retarde la ponte de ces derniers.

III.2.5. Le Manganèse

Certaines eaux souterraines ont des teneurs de l'ordre de 1 mg/l (Rodier, 1984).

En agriculture, le manganèse joue un rôle très important pour les cultures et il est considéré comme oligo-élément (Brennan et Bolland, 2004), sa carence a des effets néfastes sur les plantes. Parmi les cultures sensibles aux carences de Mn, on trouve les céréales (blé, avoine), les cultures maraîchères et les légumineuses (Vilain, 1989, Brennan et Bolland, 2004).

Selon les normes Algérienne des eaux de rejets, la teneur en Manganèse doit être inférieure à 1 mg/l.

Le maximum est observé au niveau de l'oued Maiz (S6), avec la valeur de 1.4 mg/l, le minimum est observé au niveau de l'Oued Bouhamdane (S1), avec la valeur de 0.1 mg/l.

Les teneurs en manganèse dans les eaux de surfaces de l'oued Seybouse sont inférieures aux normes d'irrigation (2 mg/l) recommandée par les Normes Algériennes 2012.

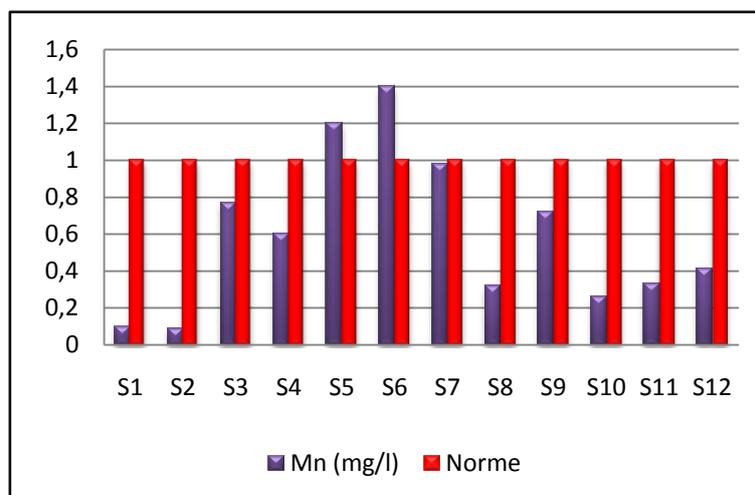


Fig. N° 58 : Variation des concentrations en Manganèse dans la zone d'étude

III.2.5.1. Impacts du Manganèse sur la santé et l'environnement

III.2.5.1.1. Sur la santé

Le manganèse est une substance ayant un effet toxique bien documenté chez l'Humain à des niveaux d'exposition suffisamment élevés. Alors que le manganèse peut être toxique pour plusieurs systèmes organiques, le système nerveux central constitue l'organe cible critique pour lequel des effets nocifs ont été documentés à des taux d'exposition plus faibles que pour les autres systèmes. Dans des conditions d'exposition élevée, le manganèse s'accumule dans les ganglions de la base du cerveau. Cela peut entraîner le « **manganisme** », une maladie neurologique clinique gravement et débilitante qui est le plus souvent décrite chez des travailleurs exposés à des concentrations très élevées en manganèse inhalé (généralement plus de 1 mg/m³).

III.2.5.1.2. Sur l'environnement

Le manganèse est présent naturellement dans l'environnement, sous forme solide dans le sol et sous forme de petites particules dans l'eau. Les particules de manganèse dans l'air sont présentes dans les particules de poussières. Elles se déposent sur terre en général en quelques jours.

L'homme augmente les concentrations en manganèse dans l'air par l'activité industrielle et en brûlant les fluides fossiles. Le manganèse provenant de sources humaines peut aussi pénétrer dans les eaux de surface, les eaux souterraines et les eaux d'égout. Lors de l'utilisation de pesticides à base de manganèse, ce dernier pénètre dans le sol.

Quand trop peu de manganèse peut être absorbé dans le sol, cela entraîne des perturbations dans les mécanismes de la plante, par exemple une perturbation de l'obtention d'oxygène et d'hydrogène à partir de l'eau, mécanisme dans lequel le manganèse joue un rôle important. Les plantes peuvent souffrir de la toxicité du manganèse aussi bien que du manque de manganèse.

Quand le pH du sol est faible, le manque de magnésium est plus commun.

Des concentrations hautement toxiques en manganèse dans le sol peuvent provoquer un grossissement des parois cellulaires, un étiolement des feuilles, et des points marron sur les feuilles. Ces symptômes peuvent aussi être dus à un manque de manganèse. Il y a une concentration optimale pour la croissance des plantes entre les concentrations toxiques et les concentrations trop faibles.

III.2.6. Le chrome

Le chrome occupe la 21^{ème} position en termes d'abondance dans la croûte terrestre avec une concentration moyenne de 100 mg/kg (Morre, 199). Les teneurs en chrome dans les eaux de l'oued Seybouse varient entre 0.01 et 0.09 mg/l et sont inférieures à la Norme Algérienne des eaux de surface (0,5mg/l).

La concentration la plus élevée dans les affluents, est observée à l'oued Maiz (0,099 mg/l), l'origine industrielle du chrome est la peinture, utilisée dans la fabrication de la faïence et du marbre, où plusieurs unités déversent leurs effluents liquides dans cet oued.

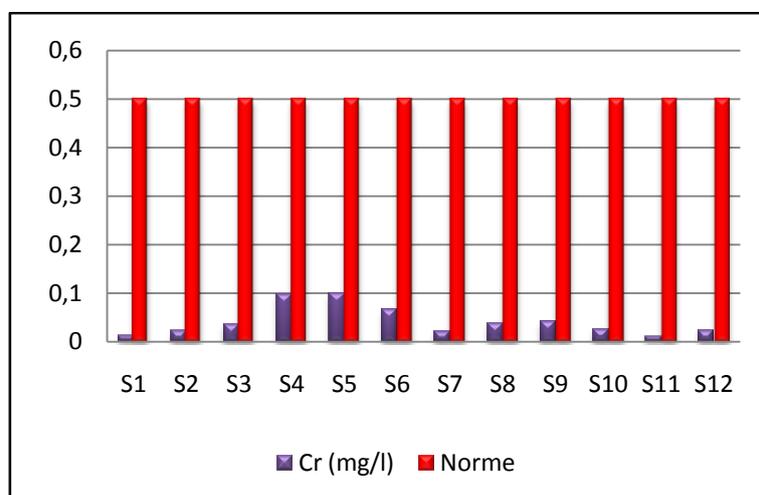


Fig. N° 59 : variation des concentrations de Chrome dans la zone d'étude

III-2.6.1. Impacts du Chrome sur la santé et l'Environnement

III.2.6.1.1. Sur la santé

Il existe deux formes du chrome (trivalent et hexavalent). Le chrome métal et le chrome trivalent ne sont pas toxiques. Le chrome hexavalent qui entraîne des inflammations de la muqueuse et des ulcères est cancérigène. On note également le risque de cancer important pour les embryons et les fœtus concernant le chrome VI. Les intoxications chroniques peuvent entraîner des altérations du tube gastro-intestinal. Le composé peut s'accumuler dans le foie, les reins, la glande thyroïde et dans la moelle osseuse.

III.2.6.1.2. Sur l'environnement

Des complexes organiques sont utilisés comme colorant organique et sont utilisés comme colorant de développement dans la photographie couleur. Les dérivées inorganiques du chrome sont utilisées comme pigments. Les sels de chrome VI connaissent une très large utilisation dans les produits de conservation du bois et de la tannerie.

Les quantités de chrome détectées dans l'hydrosphère, l'atmosphère et la biosphère sont liées pour l'essentiel à des émissions d'origine industrielle.

Les déchets contenant du Chrome sont considérés comme problématiques en raison de leur comportement dans les couches profondes du sol lorsqu'ils sont stockés dans des décharges.

En milieu alcalin, on estime que la stabilité des chromes peut atteindre 50 Ans et qu'ils peuvent migrer vers les nappes aquifères, même au travers des sols cohérents.

La combustion des boues contenant des composants chroniques doit être évitée en raison du risque de formation de chromates.

III.2.7. Le Nickel

Le Nickel est un élément métallique très répandu dans la croûte terrestre, il représente une large gamme d'utilisations dans le domaine industriel (alliages, revêtement, céramique, verre).

Les teneurs les plus élevées sont observées au niveau de l'Oued Skhoun (S5), l'Oued Maiz (S6) et l'Oued Seybouse (S12) et qui sont respectivement de l'ordre de 1.10 mg/l, 1.00 mg/l et 0.72 mg/l, ces dernières valeurs sont supérieures à la norme de 0.5 mg/l, fixée pour les eaux de surfaces. (Fig. N° 60)

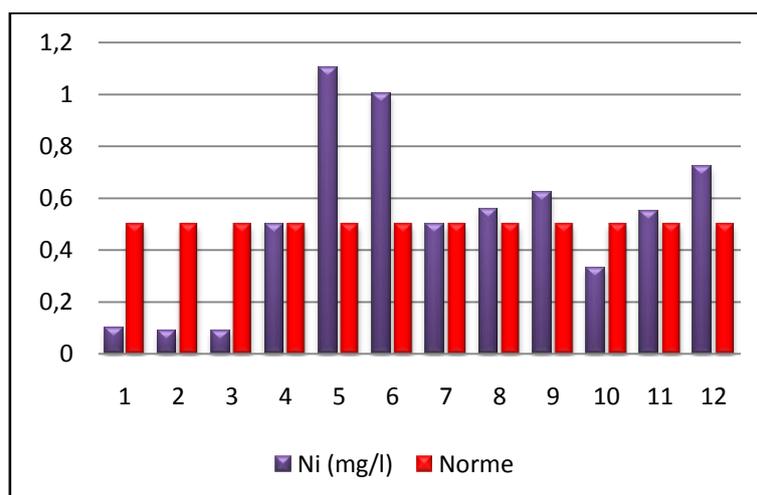


Fig. N° 60 : variation des concentrations de Nickel dans la zone d'étude

III.2.7.1. Impacts du Nickel sur la santé et l'Environnement

III.2.7.1.1. Sur la santé

L'Homme peut être exposé au nickel en respirant, en buvant de l'eau, en consommant des aliments ou en fumant des cigarettes.

Le contact de la peau avec des sols ou de l'eau contaminés par du nickel peut être une forme d'exposition au nickel.

L'absorption de quantités trop importantes de Nickel peut avoir les conséquences suivantes:

- Plus de risque de développer un cancer de poumons, du larynx et de la prostate
- Nausées, vomissements et vertige après une exposition au gaz
- Embolies pulmonaires, problèmes cardiaques

- Echech respiratoire et de naissance
- Asthme et bronchite chronique
- Réactions allergiques telles que des éruptions cutanées (principalement avec les bijoux)

III.2.7.1.2. Sur l'environnement

Le nickel est relâché dans l'air par les centrales et les incinérateurs de déchets. Ensuite, il se dépose sur les sols ou retombe après réaction avec l'eau de pluie. Il faut en général un certain temps pour éliminer le nickel de l'air. Le nickel peut aussi finir dans les eaux de surfaces quand il est présent dans les eaux usées.

La part la plus importante du nickel relâché dans l'environnement est adsorbée par les sédiments et les particules du sol et devient par conséquent immobile. Cependant dans les sols acides, le nickel devient plus mobile et il peut rejoindre les eaux souterraines.

III.2.8. Le Cadmium

Dans la nature (minerais, sols) le cadmium est généralement associé au zinc ; il est utilisé pour le revêtement électrolytique des métaux, dans certains alliages, pour la fabrication d'accumulateurs, de peintures et de matières plastiques, et dans l'industrie nucléaire (ralentisseur de neutrons).

D'une façon générale, les eaux ne contiennent que quelques microgrammes de cadmium par litre. Lorsque des teneurs plus élevées sont rencontrées dans les eaux superficielles ou les eaux des nappes phréatiques, l'origine du cadmium doit être recherchée dans les effluents industriels (galvanoplastie, en particulier), des incinérations de déchets, et de l'utilisation d'engrais.

Les concentrations les plus élevées sont observées au niveau des points (S4, S5, S6, S7et S8) avec des concentrations qui dépassant les normes algériennes pour les eaux de surface (0.2 mg/l), la plus grande teneur est observée au point (S5) qui représente oued Skhoun avec 0.7 mg/l.

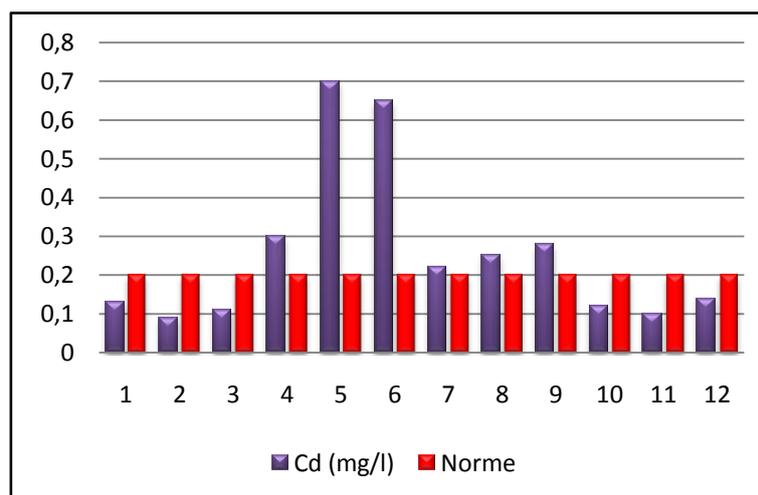


Fig. N° 61 : variation des concentrations de Cadmium dans la zone d'étude

III.2.8.1 Impacts du Cadmium sur la santé et l'Environnement

III.2.8.1.1. Sur la santé

On peut trouver principalement le cadmium dans la croûte terrestre. Il est toujours présent en combinaison avec du zinc, il est présent aussi dans l'industrie comme sous produit inévitable de l'extraction du zinc, du plomb et du cuivre.

On le trouve dans les pesticides et les engrais, où il peut donc pénétrer dans l'environnement par le sol. L'absorption de cadmium se fait essentiellement par la nourriture. Les aliments qui sont riches en cadmium peuvent augmenter de façon importante les concentrations en cadmium du corps humains.

Le cadmium est d'abord transporté jusqu'au foie par le sang, là il se lie aux protéines pour former des complexes qui sont transportés jusqu'aux reins.

Les autres problèmes que le cadmium peut provoquer sont :

- Diarrhée, douleurs d'estomac et vomissements importants ;
- Fractures des os ;
- Problèmes du système nerveux central et au niveau du système immunitaire ;
- Probablement altération de l'ADN ou développement de cancer.

III.2.8.1.2. Sur l'environnement

Parmi les sources les plus importantes de l'émission de cadmium, c'est la production de fertilisants non naturels à base de phosphate. Une partie du cadmium se retrouve dans le sol après que le fertilisant ait été appliqué sur les terres agricoles et le reste du cadmium se retrouve dans les eaux de surface quand les déchets provenant de la production des fertilisants sont rejetés par les entreprises de production. Dans les écosystèmes aquatiques le cadmium peut être bio accumulé dans les moules, les huîtres, les crevettes, les langoustines et les poissons. La sensibilité au cadmium peut varier entre les organismes aquatiques. Les organismes des eaux salées sont connus pour être plus résistants à l'empoisonnement au cadmium que les organismes d'eau douce. Les animaux mangeant ou buvant du cadmium peuvent parfois avoir une pression artérielle élevée, une maladie du foie et des problèmes aux nerfs ou au cerveau.

Partie 3

Evaluation de la qualité des eaux de l'Oued Seybouse et ses affluents

I. Introduction

La vallée de la Seybouse a connu ces dernières années un développement industriel anarchique et intense et par conséquent n'a échappée aux phénomènes de nuisances et de pollutions qui en ont résulté. L'évolution démographique et industrielle de la ville de Guelma, face à un réseau d'assainissement insuffisant, vieux et dégradé ont affecté d'une façon importante l'environnement général de la région.

Cette situation a poussé de nombreuses instances (ministère de l'Environnement, ministère de l'intérieur, Direction de l'hydraulique, ministère du commerce, de l'industrie...etc.) à rechercher et définir des stratégies pour parer à ces problèmes environnementaux. Ceci s'est caractérisé par de nombreux programmes (collecteurs d'assainissement, stations de relevage des eaux usées, unification des rejets ainsi que la construction des stations d'épuration) et s'est traduit par un nombre important d'étude consacrées exclusivement à la dépollution de la zone.

I. Classification chimique des eaux

Pour l'identification des faciès chimiques et l'appréciation de l'aspect qualitatif des eaux, la représentation graphique des résultats des analyses chimiques reste un outil incontrôlable. Dans ce but, nous avons entrepris cette démarche et choisi des diagrammes de représentation tels que les diagrammes de Piper et Stabler, afin de bien cerner les particularités des eaux étudiées.

II.1. Formules ioniques et faciès chimiques

La formule ionique a pour but de classer par ordre décroissant les quantités en réaction en (méq/l) des groupes des anions, puis celui des cations. Cette formule permet de définir les caractéristiques physico-chimiques des eaux de la région d'étude en relation avec sa lithologie, on note que pour l'erreur de la balance ionique, on a appliqué l'erreur de la balance ($E < 10\%$).

Le tableau 36 résume les formules ioniques et les faciès chimiques des points de prélèvements des eaux de l'oued Seybouse et ses affluents dans la région d'étude.

Tableau 36 : Formules ioniques et faciès chimiques

Site	Formules ioniques	Faciès chimiques
S ₁	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^-$ $rCa^{2+} > r(Na^{2+}+K^+) > rMg^{2+}$	Chloruré calcique
S ₂	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- > rNO_3^-$ $r(Na^++K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Sulfaté sodique
S ₃	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- > rNO_3^-$ $r(Na^++K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Sulfaté sodique
S ₄	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^-$ $rCa^{2+} > r(Na^{2+}+K^+) > rMg^{2+}$	Chloruré calcique
S ₅	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} > rNO_3^-$ $r(Na^{2+}+K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Bicarbonaté sodique
S ₆	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} > rNO_3^-$ $rCa^{2+} > r(Na^{2+}+K^+) > rMg^{2+}$	Bicarbonaté calcique
S ₇	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rNO_3^-$ $rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^{2+}+K^+)$	Chloruré calcique
S ₈	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} > rNO_3^-$ $r(Na^++K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Bicarbonaté sodique
S ₉	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rNO_3^-$ $rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^{2+}+K^+)$	Chloruré calcique
S ₁₀	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^-$ $rCa^{2+} > r(Na^{2+}+K^+) > rMg^{2+}$	Chloruré calcique
S ₁₁	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rNO_3^-$ $r(Na^{2+}+K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Chloruré sodique
S ₁₂	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- > rNO_3^-$ $r(Na^{2+}+K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Sulfaté sodique

D'après les résultats des analyses chimiques, la représentation du Diagramme de Piper permet de distinguer quatre familles de faciès chimiques :

Faciès Chloruré Calcique et sodique : Se manifeste au niveau des stations (**S1, S4, S7, S9, S10, et S11**), indique une prédominance et un excès en chlorures dans ces eaux, suite à la pollution de surface

Faciès Sulfaté Sodique : Ce faciès se rencontre au niveau des stations (**S2, S3, et S12**), il indique le lessivage des formations gypsifères existantes dans la région d'étude.

Faciès Bicarbonaté Sodique : Ce faciès se rencontre au niveau des stations (**S5 et S8**), situés dans l'oued Skhoun et Seybouse, la forte présence des bicarbonates est due principalement à la dissolution des Cipolins de la région d'étude.

Faciès Bicarbonaté Calcique : caractéristique du point de prélèvement (**S6**), il est en relation avec la présence des calcaires travertins qui sont à l'origine du Calcium et du Bicarbonate.

II.2. Représentation graphique des Faciès Chimiques

II.2.1. Classification des eaux d'après le diagramme de Piper

Le diagramme de Piper est un mode de représentation graphique permettant de caractériser les faciès chimiques des eaux, il traduit l'évolution des éléments chimiques et leur genèse (Piper, 1944).

La position relative d'un résultat analytique sur chacun des deux triangles du diagramme permet de préciser en premier lieu la dominance anionique ou cationique d'une eau.

A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau concernée.

L'avantage de ce diagramme est qu'il permet de représenter sur un même graphique de nombreuses analyses autorisant des regroupements par familles présentant des faciès similaires.

Les résultats des analyses chimiques des eaux de la région d'étude ont été représentés sur le diagramme de Piper en utilisant le logiciel Diagramme (logiciel d'Hydrochimie, réalisé par Roland SIMLER « laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon »). Ce dernier a permis de donner une idée sur les faciès chimiques des eaux de la région d'étude.

L'interprétation du diagramme, a permis de nous donner le faciès chimique dominant le chloruré calcique, caractérisant les points prélevés au niveau de l'oued Seybouse et ses affluents (S1, S4, S7, S9 et S10). (Fig. N° 62)

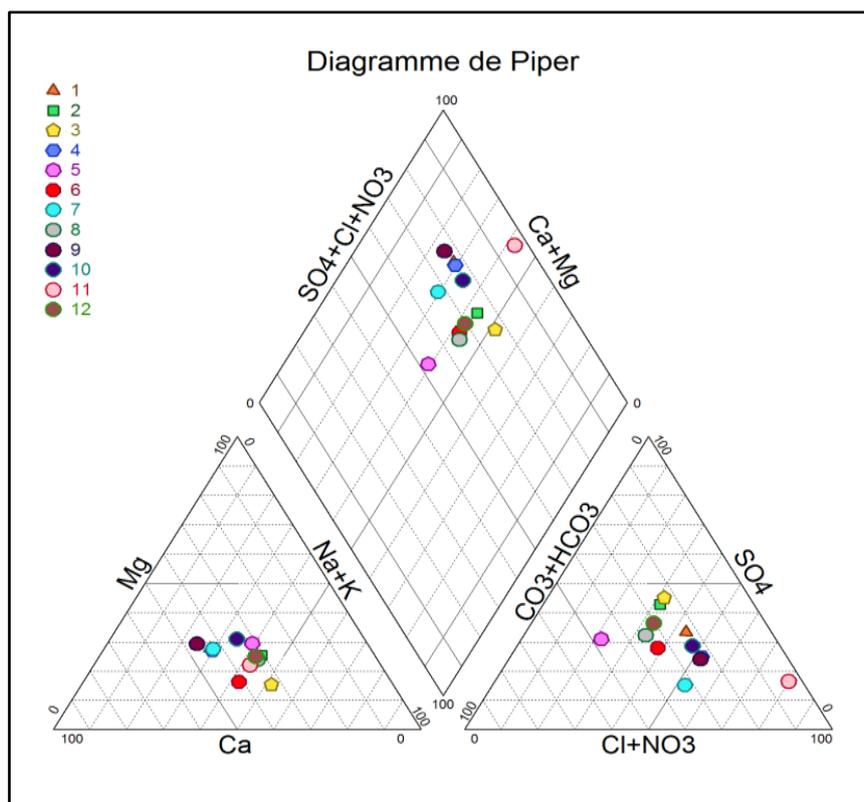


Fig. N° 62: Représentation des résultats des analyses chimiques sur le Diagramme de Piper

II.2.2. Diagramme de Stabler

Le Diagramme de Stabler représente la contribution à la somme cationique et anionique, les unités de représentation des concentrations se font en mg/l.

Le diagramme se compose de deux barres l'une pour les anions et l'autre pour les cations, elles ont une même longueur car les solutions sont électriquement neutres et la somme des anions est égale à la somme des cations.

La représentation des points d'eau sur le diagramme de Stabler, montre une tendance du faciès chimique chloruré calcique dans la majorité des points (S1, S4, S7, S9 et S10), Certains points de prélèvement (S2, S3, et S12) montrent la tendance vers le faciès chimique sulfaté sodique, permettant de dire que la minéralisation des eaux est liée essentiellement aux ions Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , et Na^+ . (Fig. N° 63)

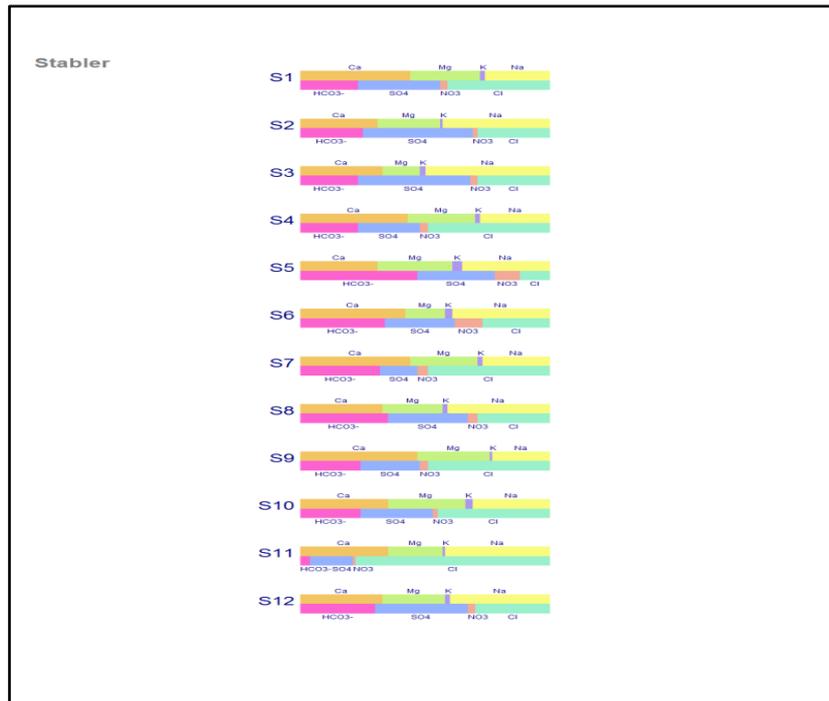


Fig. N° 63: Représentation graphique des faciès chimiques selon le diagramme de Stabler

II. Estimation de la qualité des eaux d'irrigation dans la région d'étude

La santé des consommateurs, la qualité des sols et des eaux souterraines ainsi que les cultures irriguées se trouvent hautement menacées en raison des déversement des effluents non épurés dans les cours d'eaux qui sont destinées à l'irrigation des terres agricoles. Ces eaux présentent un taux élevée en polluants chimiques toxiques et en germes infectieux, ceci nous appelle évidemment à mener un diagnostic approfondi pour contrôler et classer les eaux destinées à l'irrigation dans la zone d'étude.

III.1. Normes et Recommandation

Pour connaître l'aptitude des eaux de l'oued Seybouse à l'irrigation du point de vue qualité, et pour orienter leur usage à des fins d'irrigations, on a comparé les caractéristiques de ces eaux à :

- Aux recommandations de la FAO (1974),
- Aux normes Algériennes (15 Juillet 2012),

III.1.1 La réglementation

L'élimination des risques microbiologiques et chimiques est le principal objectif du traitement des eaux usées destinées à être réutilisées. Afin de garantir la protection de la santé publique, il est indispensable de mettre en place des normes et des réglementations strictes et adaptées à la spécificité des différentes cultures. (L. Tamrabet, 2011).

III.1.1.1 Recommandations de l'USEPA

L'USEPA (United States Environmental Protection Agency, 1992) a publié, en collaboration avec L'USAID (United States Agency of International Development), des recommandations sur la réutilisation des eaux usées traitées.

Ces normes sont lancées pour un **objectif de zéro pathogène** dans eaux réutilisées. Les normes microbiologiques sont donc beaucoup plus strictes. Dans les normes de l'USEPA, plusieurs paramètres sont pris en compte : le pH, la DBO₅, la turbidité, les MES et microbiologiquement seul les **coliformes fécaux** permettent de juger de la qualité de l'eau.

III.1.1.2. Directives de la FAO

L'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), a établi en 1974 des directives concernant les paramètres physico-chimiques et les éléments traces métalliques de l'eau d'irrigation dans lesquelles l'accent a été mis sur l'influence à long terme de la qualité de l'eau, sur la production agricole, sur les conditions du sol et les techniques culturales (Ayers et Westcot, 1988). Ces directives générales sont présentées dans les tableaux 37 et 38.

Tableau 37: Directive pour l'interprétation de la qualité des eaux d'irrigation D'après la FAO (Ayers and Westcot, 1994)

	unité	Restriction pour l'irrigation		
		Aucune	Légère à modérée	Forte
Salinité (influe sur l'eau disponible pour la plante)				
CE	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
TDS	mg/l	< 450	450- 2000	> 2000
Infiltration (influe sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol : utiliser à la fois CE et SAR).				
		EC		
SAR : 0-3 et EC		> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
SAR : 3-6 et EC		> 1.2	1.3 – 0.3	< 0.3
SAR : 6-12 et EC		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
SAR : 12-20 et EC		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
SAR : 20-24 et EC		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
Toxicité de certains ions (affectent les cultures sensibles)				
Sodium :				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3-9	> 9
Irrigation par aspersion	még/l	< 3	> 3	
Chlore :				
Irrigation de surface	még/l	< 4	4- 10	> 10
Irrigation par aspersion	még/l	< 3	> 3	
Bore	mg/l	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
Effets divers (affecte les cultures sensibles)				
Azote	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonate	még/l	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
Ph		Zone normale : 6.5-8.5		

(dS/m : Déci siemens/mètre), még/l (milliéquivalent par litre).

Tableau 38 : Concentrations maximales des éléments traces recommandées pour les eaux d'irrigation (Pescod, 1992; Ayers and Westcot, 1994)

élément	Concentration.max (mg/l)	Observation
Al	5.0	Peut provoquer la stérilité des sols acides (pH <5,5), mais les sols sodiques précipiteront l'ion et élimineront la toxicité à pH > 7,0.
As	0.10	La toxicité à l'égard des plantes varie de 12mg/l pour le Sudan à 0,05 mg/l pour le riz.
Be	0.10	La toxicité vis-à-vis des cultures varie de 5mg/l pour le chou à 0,5 mg/l pour le haricot.
Cd	0.01	Toxique pour les haricots, les betteraves et les navets à de faibles concentrations (0,1 mg/l dans la solution nutritive). Des limites prudentes sont recommandées en raison des possibilités des concentrations, dans les végétaux et les sols, dangereuses pour l'homme.
Co	0.05	Toxique pour la tomate à 0,1 mg/l dans la solution nutritive.
Cr	0.10	N'est en général pas considéré comme un élément essentiel de la croissance. En raison d'un manque d'information sur ses effets toxiques, on recommande des limites prudentes.
Cu	0.20	Toxique pour un certain nombre de plantes à partir de concentrations de 0,1 à 1,0 mg/l,
F	1.0	Neutralisé par les sols à pH > 7.
Fe	5.0	Pas toxique pour les plantes dans les sols aérés, mais peut contribuer à l'acidification des sols et à la baisse de la disponibilité du phosphore et du molybdène essentiels. Peut provoquer, en aspersion "haute", des dépôts peu esthétiques sur les plantes, l'équipement et les bâtiments.
Li	2.5	Toléré par la plupart des cultures jusqu'à 5mg/l, mobile dans le sol. Toxique pour les agrumes à des concentrations faibles (<0,075 mg/l). Agit comme le bore.
Mn	0.20	Toxique pour un certain nombre de plantes, à partir de quelques dixièmes de mg/l, mais en général seulement dans les sols acides.
Mo	0.01	Non toxique pour les cultures à des concentrations normales dans le sol et l'eau. Peut être toxique pour le bétail lorsque le fourrage pousse sur des sols à forte concentration en molybdène disponible.
Ni	0.20	Toxique pour un certain nombre de plantes à partir de concentrations variant de 0,5 mg/l à 1,0 mg/l, toxicité réduite avec un pH neutre ou alcalin.
Pb	5.0	Peut inhiber la croissance des cellules végétales des concentrations élevées
Se	0.02	Toxique pour les cultures à des concentrations aussi faibles que 0,025 mg/l et toxique pour le bétail si le fourrage est cultivé sur des sols avec un niveau relativement élevé de sélénium apporté. Essentiel aux animaux mais à des concentrations très basses.
Sn	---	Exclu efficacement par les plantes; tolérance spécifique inconnue.
V	0.10	Toxique vis-à-vis de nombreux végétaux à des concentrations faibles
Zn	2.0	Toxique pour de nombreuses plantes à des concentrations très variables, toxicité réduite à pH > 6,0 et dans les sols à texture fine ou organiques.
<p>La concentration maximale est basée sur une dose d'application d'eau correspondant à de bonnes pratiques d'irrigation (10 000 m³ par hectare et par an). Si l'application dépasse largement cette norme, on devra diminuer en conséquence les concentrations maximales : Aucun ajustement à faire pour des dotations inférieures à 10 000 m³/ha/an.</p>		

III.1.1.3. Normes Algériennes JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°41 (2012)

Le décret est apparu le 15 juillet 2012 relatif aux normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation et à l'inventaire du degré de pollution des eaux. Ce décret, conformément à l'article numéro 41 de la loi sur la spécification des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation, pour viser la protection de la santé humaine le sol, et les ressources en eau superficielles et souterraines.

**Tableau 39: Paramètres physico chimiques (journal officiel de république algérienne)
Du 15 juillet 2012**

Paramètres		unité	Concentration maximale admissible
Physiques	pH		6.5 < pH < 8.5
	MES	mg/l	30
	CE	Ds/m	3
	Infiltration le SAR :		
	0 – 3	Ds/m	0.2
	3 – 6		0.3
	6 – 12		0.5
12 – 20	1.3		
20 - 40	3		
Chimiques	Chlorure (Cl ⁻)	meq/l	10
	Azote (NO ₃ -N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	meq/l	8.5
Eléments toxiques	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Fer	mg/l	20.0
	Plomb	mg/l	10.0
	Manganèse	mg/l	10.0
	Nickel	mg/l	2.0

III.2 Interprétation des résultats

Dans cette partie, nous avons utilisé les normes de la FAO et les normes Algériennes pour les eaux d'irrigation sur les paramètres physico-chimiques et toxiques pour déterminer la qualité des eaux de l'oued Seybouse et ses affluents.

Nous avons tout d'abord converti quelques résultats des analyses chimiques de quelques paramètres tels que les chlorures, les bicarbonates en milliéquivalent /l, et la conductivité en Déci Siemens/m.

III.2.1. Paramètres Physiques

III.2.1.1 Potentiel d'Hydrogène

Les valeurs du pH sont inclus dans la fourchette 6.5 à 8.5, dépassant les normes pour les cultures tolérantes selon la FAO et les normes Algériennes (Ayers et Westcot, 1994; David et

al., 1996)., il y a alors risque de dégradation de la structure du sol et la mise en solution des métaux toxiques pour les plantes et pour l'homme (Scokart et *al.*, 1983; Ratel et *al.*, 1986; El Halouani, 1995).

III.2.1.2. Conductivité, TDS et Salinité

La conductivité électrique et la salinité constituent de bons indicateurs d'appréciation des matières en solution (Rhoades et *al.*, 1992 ; Rodier, 1996).

Le contrôle de la salinité de l'eau d'irrigation est d'une importance majeure que ce soit pour les eaux naturelles ou pour les eaux usées.

Une salinité importante des eaux d'irrigation engendre des effets indésirables tant sur les propriétés physiques du sol que sur la croissance et les rendements des cultures (Ayers and Westcot, 1994).

Les valeurs de la conductivité électrique varient entre 0.01ds/cm au niveau des points de prélèvements (S1, S5, S6, S7, et S9) et 0.06 ds/cm au niveau de l'Oued Seybouse (S12), les valeurs sont inférieures aux normes Algérienne et FAO (**3 ds/cm**).

Concernant les valeurs de la TDS (Total des Sels Dissous) dans les eaux de la zone d'étude, elles varient entre 891 mg/l (S1) et 4360 mg/l au niveau de point (S11) qui représente l'Oued el Maleh et dépasse les normes de la salinité de la fourchette : 0-2000 mg/l.

III.2.1.3. Matière en Suspension

L'existence des matières en suspension dans les eaux de l'Oued Seybouse en quantité dépassant largement la norme de 30.0 mg/l, recommandée par l'OMS (1989) pour les eaux de surface, n'entrave pas leur utilisation dans l'irrigation des cultures. Selon Ayers et Westcot (1994), la valeur maximale admissible, peut atteindre 2000 mg/l. L'utilisation des eaux avec une telle charge, doit être faite avec précaution pour éviter le colmatage de la porosité du sol aux conséquences néfastes sur la perméabilité (Landreau, 1987 ; Ratel et *al.*, 1986 ; Ayers et Westcot, 1994; Faby, 2003;FAO, 2003).

L'élimination des MES de l'effluent brut permet d'une part, la protection des milieux aquatiques naturels et d'autre part, de minimiser les dépenses engendrées par le recours fréquent au travail du sol.

III.2.2. Paramètres chimiques

III.2.2.1. Chlorures

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et sont liées principalement à la nature des terrains traversés (Rodier, 1996; Bremond et Vuichard, 1973) et à la nature des activités humaines (Ayers and Westcot, 1994; FAO, 2003). L'analyse des résultats des chlorures montre que les concentrations varient entre 1.57 meq/l (S5) et 39 meq/l (S11).

Les valeurs en chlorures dans les eaux de l'Oued Seybouse au niveau des points (S4) et (S11), représentant respectivement Oued Touta et Oued el Maleh, sont supérieures au seuil tolérable pour les modes d'irrigation de surface et par aspersion (355 mg/l), la valeur en

chlorures au niveau du point S11 est supérieure à la norme de 10 méq/l recommandée par la FAO. Ceci suggère la possibilité d'apparition d'effets de toxicité sur les cultures très sensibles irriguées avec ces eaux. (Lahbib Tamrabet, 2011, Ayers et Westcot, 1994)

III.2.2.2. Bicarbonates

L'abondance des ions bicarbonates (HCO_3^-) dans les eaux d'irrigation mérite aussi d'être évalués. Dans le cas où l'eau d'irrigation contient un taux élevé en bicarbonates, on peut constater une tendance à la précipitation du calcium et du magnésium, ce qui fait augmenter le SAR.

Les concentrations en Bicarbonates varient entre 6.64 méq/l (S11), et 6.46 méq/l (S5), toutes les valeurs sont inférieures aux normes Algérienne et FAO (8.5 méq/l).

III.2.3. Eléments toxiques

L'accumulation des ETM dans le sol, en quantités excessives supérieures aux seuils limites, entraîneraient des phénomènes de phyto-toxicité pour les plantes. Ils présentent également des risques pour l'homme et les animaux (Ratel et al., 1986; Berdai et al., 1991).

III.2.3.1. Le Fer et le Plomb

En agriculture, le fer est un élément qui intervient dans la synthèse des éléments organiques indispensables à la vie des plantes.

Les teneurs en Fer, des eaux de l'Oued Seybouse, varient de 0.09 mg/l (S2, S10) à 0.92 mg/l (S6), ces résultats sont inférieures au seuil fixée par la norme Algérienne des eaux destinées à l'irrigation (20 mg/l) et par la FAO (5 mg/l). (Bahri, 1987; Ayers et Westcot, 1994).

Selon la « **Federal Water Pollution Control Administration** », la valeur limite en Fer diffère selon le type d'utilisation des eaux de surface destinées à l'irrigation (Ratel et al. 1986). , la valeur tolérable est de l'ordre de 5 mg/l dans un système d'irrigation intensif à base d'eaux usées. Dans un système d'irrigation moins intensif, la valeur tolérable serait de 20 mg/l pour des eaux usées brutes, épandues sur des sols à texture fine (Ratel et al, 1986).

Dans le sol, le plomb est naturellement présent (c'est ce qu'on appelle le **fond pédogéochimique naturel**) à hauteur de quelques dizaines de mg par kg de sol, selon (Pescod, 1992; Ayers and Westcot, 1994) des concentrations élevées en plomb peuvent inhiber la croissance des cellules végétales, en irrigation, la valeur tolérable selon la norme Algérienne est de 10 mg/l.

Les concentrations en plomb dans les eaux de l'oued Seybouse et ses affluents sont inférieures à la norme recommandée par l'Algérie pour les eaux destinées à l'irrigation.

III.2.3.2. Manganèse et Cuivre

En agriculture, le manganèse joue un rôle très important pour les cultures et il est considéré comme oligo-élément, sa carence à des effets néfastes sur les plantes. Parmi les cultures sensibles aux carences de Mn, on trouve les céréales (blé, avoine), les cultures maraîchères et les légumineuses (Vilain, 1989, Brennan et Bolland, 2004)). Cependant, un

apport excessif en Mn peut être à l'origine de certaine toxicité des plantes. (Brennan et Bolland, 2004)

Le seuil fixé par la FAO pour les eaux d'irrigation, au dessus duquel les problèmes de toxicité pourraient avoir lieu, est de 0.2 mg/l en Mn (Ayers et Westcot, 1994). Selon la Federal Water Pollution Control Administration, la teneur de 0.2 mg/l en Mn est considérée comme teneur maximale tolérable dans les eaux d'irrigation pour tous types de sol (Ratel et *al.*, 1986).

Dans le cas d'une utilisation moins intensive des eaux usées, en irrigation, la teneur maximale tolérable en Mn doit être de l'ordre de 10 mg/l (Norme Algérienne).

Les concentrations en cuivre varient de 0.09 à 1.4 mg/l, donc se caractérisent par des teneurs relativement faibles en Cu par rapport à la norme Algérienne (10 mg/l).

Le cuivre peut être relâché dans l'environnement par des sources naturelles et par les activités humaines, il est très énormément diffusé dans l'environnement et, de ce fait, il peut s'accumuler dans les plantes et les animaux quand il est présent dans le sol.

Sur les sols riches en cuivre, seul un nombre limité de plante a des chances de survivre.

Le seuil fixé par la norme Algérienne des eaux destinées à l'irrigation est de 5 mg/l, les teneurs en cuivre dans les eaux de l'oued Seybouse varient de 0.16 à 0.41 mg/l qui représentent respectivement l'oued Seybouse et l'oued Boussora, sont donc inférieure à la norme.

III.2.3.3. Cadmium et Nickel

Certains éléments trace métalliques sont essentiels pour la croissance et le développement des végétaux, leurs présence dans le sol avec des fortes doses devient toxiques. Contrairement le Cadmium est considéré comme phytotoxique, même à faible concentration (M.M. Lasat. 2002 ; M. Bertrand et I. Poirier 2005).

La recommandation de la norme Algérienne pour la qualité des eaux visant la protection des cultures établie pour le cadmium dans l'eau d'irrigation est de 0.05 mg/l.

Toutes les concentrations en Cadmium dans les points de prélèvements sont supérieures à la Norme Algérienne, Selon (Pescod, 1992; Ayers and Westcot, 1994), le Cadmium est toxique pour certains aliments tel que (les haricots, les betteraves et les navets) à de faibles concentrations (0,1 mg/l).

Le Nickel est un composé qui est présent dans l'environnement à des concentrations très faibles. (www.Lenntech.fr), il apparaît comme l'élément ayant le plus fort potentiel de mobilité dans le sol, de disponibilité et de toxicité pour la plante (L'Huillier, 1992). L'absorption du nickel par les végétaux et à son transport dans la plante provient le plus souvent des risques d'entrée excessif dans la chaîne alimentaire.

Les concentrations en Nickel dans les eaux de l'oued Seybouse varient entre 0.1 mg/l au niveau de point (S1) à 1.1 mg/l au niveau de point (S5), elles sont inférieures à la norme Algérienne qui est de 2 mg/l.

Selon (Pescod, 1992; Ayers and Westcot, 1994), le Nickel est toxique pour un certain nombre de plantes à partir de concentrations variant de 0,5 mg/l à 1,0 mg/l, sa toxicité est réduite avec un pH neutre ou alcalin.

III.2.3.4. Chrome

En agriculture, Les cultures possèdent un système contrôlant la consommation de chrome. Mais lorsque la quantité de chrome dans le sol augmente, cela peut mener à des concentrations plus élevées dans les cultures.

L'acidification des sols influence aussi la consommation de chrome par les cultures. En général, les plantes absorbent uniquement le chrome (III). C'est peut-être le type essentiel de chrome mais lorsque les concentrations dépassent une certaine valeur, des conséquences négatives peuvent toujours se produire.

Le seuil fixé par l'Algérie pour les eaux destinées à l'irrigation, au-dessus duquel les problèmes de toxicité pourraient avoir lieu, est de 1 mg/l en Cr. Les teneurs du chrome dans les eaux de l'oued Seybouse ne dépassent pas la norme dans toutes les points de prélèvement. Selon (Pescod, 1992; Ayers and Westcot, 1994), cet élément n'est en général pas considéré comme un élément essentiel à la croissance, en raison d'un manque d'information sur ses effets toxiques, on recommande des limites prudentes.

III.3. Aptitude des eaux de l'oued Seybouse à l'irrigation

Le suivi de la qualité des eaux destinées à l'irrigation est obligatoire pour le rendement des cultures, la productivité du sol et la protection de l'environnement. On peut ainsi connaître les propriétés physiques et chimiques du sol (perméabilité, structure...etc.), qui sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation.

Parmi les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture, on peut citer :

- Risque de Salinité (Concentration en sels dissous)
- Risque de Sodium ou SAR (la quantité de sodium dans l'eau comparé à d'autres cations)
- Carbonate et bicarbonates en relation avec les teneurs en Ca^{2+} & Mg^{2+}
- Anions toxiques (la concentration des éléments toxiques qui inhibent la croissance des plantes et deviennent un danger environnemental).
- Le bénéfice nutritionnel résultant de nutriments (nitrates, phosphates et sulfates (HACH Company, 1993).

III.3.1. Risque de Salinité

Depuis la dernière décennie, la salinité (ou l'accumulation des sels) dans le sol, à entrainée des effets nocifs sur l'agriculture et donc est devenue une problématique typique des régions arides et semi arides.

Une concentration élevée en sel dans l'eau ou dans les sols affectera négativement le rendement des récoltes et provoquera une dégradation des sols et par la suite une pollution des eaux souterraines. (Site Web, Lenntech).

Une salinité primaire, due en particulier à des inondations périodiques par une eau de mauvaise qualité et à la remontée d'une nappe phréatique, contrairement à la salinité secondaire qui est induite par l'activité humaine, qui est liée souvent à des pratiques d'irrigation (Mansouri, 2003).

Richards, en 1969 a établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité, elle est évaluée par leur conductivité électrique (D'après Faby et al, 2000).

Tableau 40 : Classe de salinité selon Richards (Faby et al, 2000)

Classes	Conductivité de l'eau	Sels correspondants estimés en Na Cl
I- Excellente	<0,25	<160
II- Faible salinité	0.25-0.75	160-500
III- Forte salinité	0.75-2.25	500-1500
IV- Très forte salinité	2,25-5	1500-3600

III.3.2. Risque de Sodium

Une grande quantité d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace les calcium et les magnésium adsorbés sur les argiles du sol et cause la dispersion des particules dans le sol (c-à-d. si le calcium et le magnésium sont les cations prédominants adsorbés sur le complexe d'échange du sol, le sol tend à être facilement cultivé et à une structure perméable et granulaire).

Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et de l'air, affectant ainsi sa structure.

Ce problème est également relié avec plusieurs facteurs tels que le taux de salinité et le type de sol.

Le SAR s'exprime par la relation suivante

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \text{ (meq/l)}$$

III.3.3. Risque des Bicarbonates

Une forte teneur en carbonate (CO_3^{2-}) et en bicarbonate (HCO_3^-) augmente la valeur du SAR. La valeur limite est d'environ : > 3-4 méq/l ou entre 180-240 mg/l).

Les ions carbonate et bicarbonate combinés au calcium ou au magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium ($CaCO_3$) ou carbonate de magnésium ($MgCO_3$) dans des conditions de sécheresse.

Lorsque la concentration en Ca et en Mg décroît, contrairement la teneur en sodium et l'indice du SAR deviennent plus importants. Ceci causera un effet d'alcalisation et augmentera le pH. Par conséquent, lorsqu'une analyse d'eau indique un pH élevé, ceci peut être un signe d'une teneur élevée en ions carbonate et bicarbonate.

Risque des Bicarbonates HCO_3^- pour les eaux d'irrigation			
	Nul	Léger à modéré	sévère
(méq/l)	< 1.5	1.5 – 7.5	> 7.5

III.4. Le sodium adsorption ratio (SAR), le pourcentage de sodium (Na%)

L'interprétation des résultats du sodium ne peut se faire sur la teneur du sodium seul, malgré ses effets indésirables sur les caractéristiques physico chimiques du sol et sur le comportement des cultures. Ces effets sont tributaires de la présence/absence d'autres éléments. Les ions comme le calcium et le magnésium, dans les proportions rencontrées naturellement dans les sols, maintiennent la structure de ceux-ci (TAMRABET, 2011).

Lorsque ces sols sont soumis à l'irrigation avec des eaux riches en (Na) échangeable, ce dernier peut se substituer aux ions alcalino-terreux des argiles et les défloculer entraînant leur imperméabilisation (Ayers and Westcot, 1994 ; Maait, 1997).

Ce risque se mesure par le Sodium Adsorption Ratio (SAR) et le pourcentage de sodium (Na%) de l'eau usagée utilisée en irrigation. Pour des valeurs données du SAR et du Na%, le risque est d'autant plus grand que l'eau d'irrigation est minéralisée (Landreau, 1987; Rhoades, 1992).

Richards (1954) et Wilcox (1948), ont classé les eaux d'irrigation en fonction de leur conductivité électrique (CE), sodium adsorption ratio (SAR) et le pourcentage en sodium (Na%).

III.4.1. Classification de richards

Richards a élaboré une classification, en se basant sur les deux paramètres à savoir (SAR et conductivité électrique). Les classes de potabilité des eaux (C1S1,...C4S4) (tableau 41) correspondent dans le diagramme de Richards au SAR (en ordonnées pour la lettre S) et à la conductivité (en abscisses pour la lettre C). (Fig. N° 64)

Ainsi la classe C1S1 (coin bas à gauche) est considérée comme excellente car elle correspond à des valeurs minimales du SAR et de la conductivité ; en revanche, la classe C4S4 (coin haut à droite) est mauvaise, car les valeurs du SAR et de la conductivité sont à leur maximum (Richards, 1954).

La combinaison du SAR et de la conductivité électrique de l'eau permet de faire une classification de l'eau destinée à l'irrigation.

Selon les valeurs du Sar, la classification des eaux est établie comme suit :

SAR < 10 : eau excellente ;

10 < SAR < 18 : Eau bonne

18 < SAR < 26 : Eau convenable

SAR > 26 : Eau médiocre.

III.4.2 Classification de Wilcox

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de Wilcox est fondée sur la conductivité électrique et la teneur en Sodium dans l'eau. Elle est exprimée en pourcentage, et elle est définie par la relation : (Wilcox, 1948)

$$Na\% = \left[\frac{(Na + k)}{(Ca + Mg + Na + K)} \right] \times 100$$

Cette classification définit cinq classes d'eau : excellente, bonne, admissible, médiocre, mauvaise. (Derradji, 2004).

Tableau 41 : Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation	Point de prélèvement
1 ^{ère}	Excellente	C1-S1 C1-S2	Eau à utilisation sans danger pour l'irrigation pour la plupart des sols.	
2 ^{ème}	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans control particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes en sels.	
3 ^{ème}	Admissible	C2-S3 C3-S1 C3-S2	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes en sel, sur des sols bien drainés l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.	S1- S5-S6- S7- S9- S10
4 ^{ème}	Médiocre	C3-S3 C4-S1 C4-S2	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes en sel sur des sols bien drainés et lessivés.	S2- S3-S4- S8- - S12
5 ^{ème}	Mauvaise	C4-S3 C4-S4 C3-S4	Eau ne convenant pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines condition.	S11

Les eaux de la zone d'étude sont respectivement dans les classes : Admissible, médiocre et mauvaises (tableau 41).

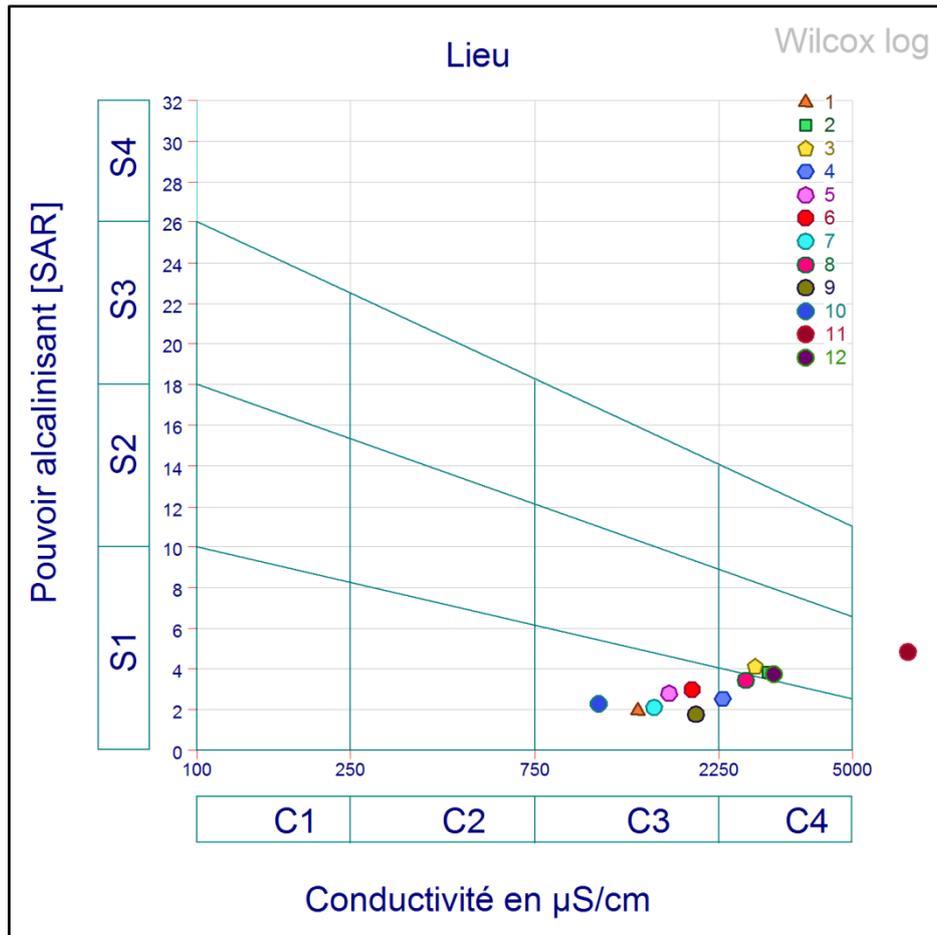


Fig. N°64 : Classification des eaux d’irrigation de la zone d’étude d’après le diagramme de Richards

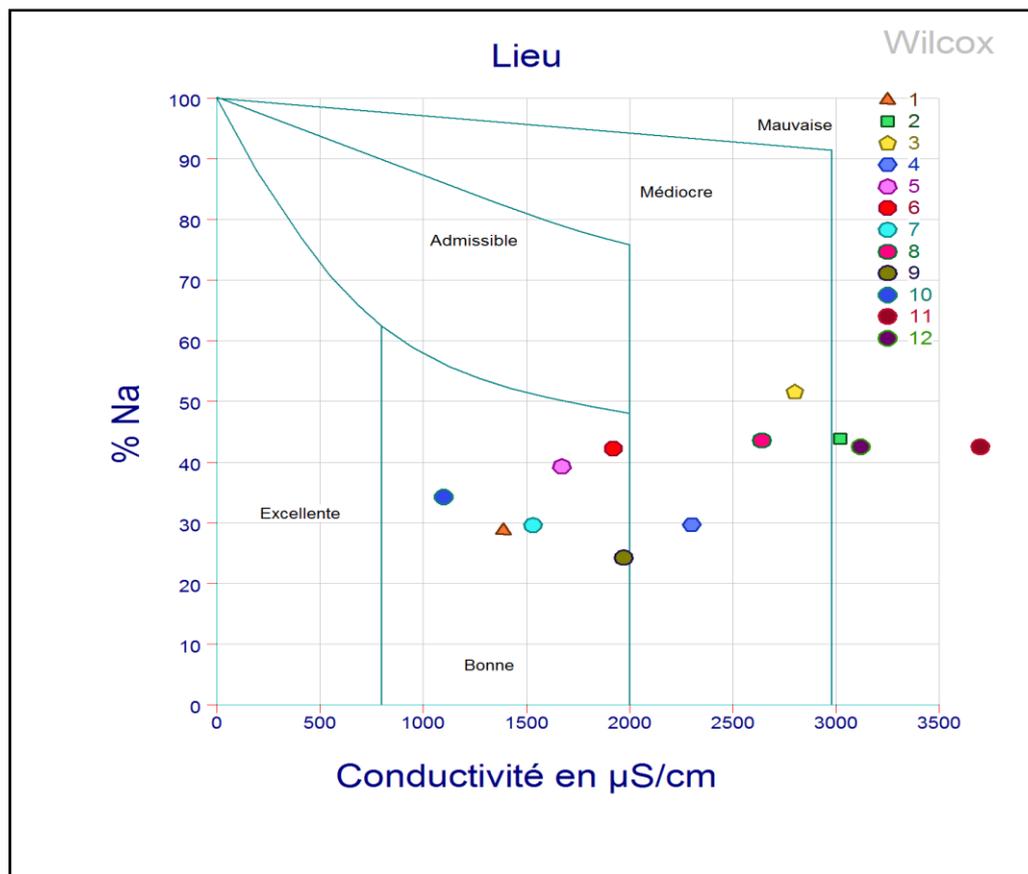


Fig. N°65 : Classification des eaux d'irrigation d'après le diagramme de Wilcox

III.5 Interprétation des Résultats

D'après le (Tableau 41) de la classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation et le Diagramme de Richards (Fig. N° 67), on note une concentration des points de prélèvements dans les classes (3, 4) ; cela signifie la présence de deux qualités suivantes :

C3S1 – C3S2 : les eaux des points de prélèvements (S1, S5, S6, S7, S9, et S10) qui appartiennent à cette catégorie conviennent à l'irrigation des cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, cependant l'évolution de la salinité du sol irrigué doit être contrôlée (FAO, 2003).

C4S1 – C4S2 : caractérisant les points S2, S3, S4, S8, et S12, représentant une classification médiocre. Les eaux d'irrigation de cette catégorie sont considérées comme fortement minéralisées et peuvent convenir à l'irrigation de certaines espèces tolérantes au sel et sur des sols lessivés (FAO, 2003).

Concernant la Classification des eaux par la méthode de Wilcox (Fig. N° 66), les résultats montrent que les eaux de l'oued Seybouse appartiennent aux trois classes suivantes: Bonne, Médiocre et Mauvaise.

- **La classe Bonne** regroupe les points de prélèvements S1, S5, S6, S7, S9, et S10, ces eaux peuvent être utilisées sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes en sels.

- **La classe Médiocre**, représentée par les points S3, S4, et S8, caractérise des eaux fortement minéralisées, pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes en sel sur des sols bien drainés et lessivés.

- **La classe Mauvaise** regroupe les points S2, S12 et S11, correspondant à des eaux ne convenant pas à l'irrigation mais pouvant être utilisées sous certaines conditions.

III. Biodégradabilité

L'estimation de la matière organique oxydable présente dans les effluents et le calcul du rapport DCO/DBO₅ permet d'évaluer la biodégradabilité d'une eau usée, c'est à dire la faculté de transformation de la matière organique en matière minérale, admissible par le milieu naturel. Ce rapport permet de donner une idée sur l'origine et le degré de pollution des effluents.

Une valeur faible du rapport DCO/DBO₅ implique la présence d'une grande proportion de matières biodégradables et permet d'envisager un traitement biologique, contrairement une valeur importante indique qu'une grande partie de la matière organique n'est pas biodégradable et dans ce cas il est préférable d'envisager un traitement physico-chimique.

Pour les effluents d'origine agroalimentaires, le rapport de biodégradabilité est de l'ordre de 1,5 à 2, ce qui traduit une meilleure biodégradabilité, c'est le cas des points de prélèvements **S1, S2, S3, S7 et S11**, ceci est dû au lessivage agricole du périmètre d'irrigation Guelma-Boucheouf et aux activités agroalimentaires au niveau des communes de Hammam debagh, Charef, Medjez Amar, et Boucheouf.

Pour un effluent à dominance domestique, ce rapport est généralement compris entre 2 et 3 caractérisant les points **S4, S6, S9, S10 et S12**, suite aux rejets domestiques des agglomérations des communes d'El Fedjoudj, Belkheir, Boumahra, Hammam N'bails et Boucheouf.

Enfin, lorsque le rapport est supérieur à 3 cela traduit l'apport d'un effluent industriel plus ou moins difficilement biodégradable, c'est le cas des points **S5 et S8**.

Le point S5 représente le point de rejet de la ville de Guelma (rejets industriels de la zone industrielle de la Cité des Frères Rahabi) et Boumahra (entreprise Nationale du marbre)

Les résultats du calcul du rapport de la biodégradabilité sont reportés dans le tableau 42 et schématisés dans la figure N°66.

Tableau 42 : Résultats du rapport (DCO/DBO₅)

Points de prélèvements	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
DCO/DBO ₅	1.02	1.97	1.89	2.25	3.6	2.97	1.87	5	2.24	2	1.61	2.4

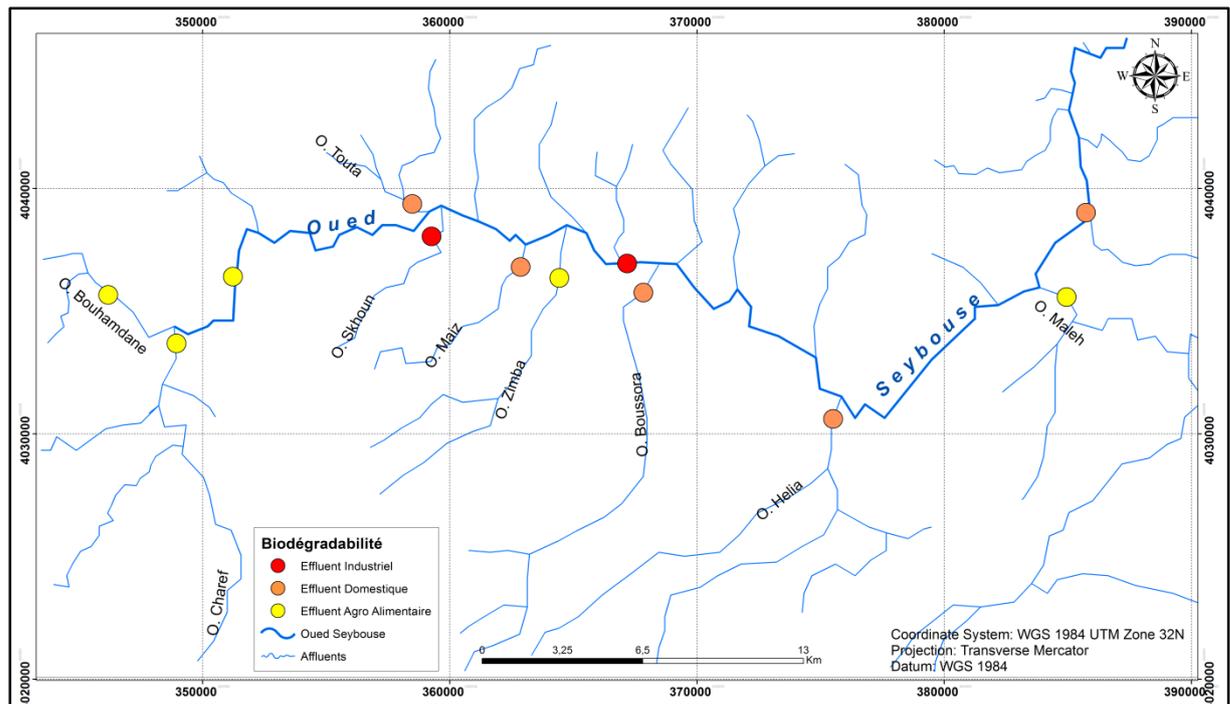


Fig. N° 66: Représentation du rapport de la Biodégradabilité

IV. Etude de l'Indice de la pollution organique (IPO)

V.1. Définition

Pour établir l'estimation du pouvoir auto-épurateur de l'Oued Seybouse, nous avons choisi la méthode de l'indice de la pollution organique.

Les matières organiques qui proviennent des déchets domestiques, agricoles ou industriels étaient toujours les principaux polluants qui ont touchés les milieux aquatiques.

Certaines substances organiques sont facilement biodégradables, donc leur élimination grâce aux capacités naturelles d'autoépuration des milieux aquatiques est toujours possible, sauf dans le cas où elles sont en excès. Leur décomposition peut entraîner l'asphyxie de la faune aquatique. (Bahroun, 2016). Ce sont les poissons qui souffrent le plus du manque d'oxygène, les invertébrés étant moins affectés, et les bactéries encore moins. En cas de la forte pollution, la vie végétale tend à disparaître.

L'indice de la pollution organique des eaux de l'oued Seybouse permet de nous renseigner sur leur qualité et leur degré de pollution. Les indicateurs de la pollution organique regroupent les phosphates et les ions provenant de l'azote qui provoquent la pollution organique.

V.2. Evaluation de la pollution organique

Généralement, pour caractériser la pollution organique au niveau des eaux de surface, il existe trois méthodes le calcul de l'IPO (Bahroun, 2007).

- La méthode de l'indice de pollution organique IPO établi par Leclercq & Maquet, 1987 ;
- La méthode de Lisec-index établi par Beckers & Steegmans, 1979 ;

- La méthode de classification des paramètres de l'institut d'hygiène et épidémiologie (IHE), 1986

Notre étude est basée sur l'utilisation de la première méthode celle de **Leclercq & Maquet**.

V.2.1. Indice de pollution organique (IPO, Leclercq & Maquet, 1987)

L'indice de pollution organique IPO, calculé à partir des concentrations de ces ions, permet de classer l'eau analysée sur une échelle à 5 niveaux de pollution (tableau 43) et chaque niveau est représenté avec une couleur (Haied, 2008). On introduit habituellement dans le calcul de l'IPO, la demande biochimique en O₂ à 5 jours (DBO₅).

Tableau 43 : Grille de qualité IPO

	DBO ₅ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	NO ₂ ⁻ µg/l	PO ₄ ³⁻ µg/l
Classe 5	< 2	< 0,1	≤ 5	≤ 15
Classe 4	2 – 5 S1	0,1 – 0,9	6 – 10	16 - 75
Classe 3	5,1 – 10	1 – 2,4,	11 – 50	76 - 250
Classe 2	10,1 – 15	2,5 - 6	51 – 150	251 - 900
Classe 1	>15	> 6	> 150	> 900

$$\text{IPO} = (\text{DBO}_5 + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{PO}_4^{3-})/4$$

L'indice IPO est la moyenne des numéros de classe pour chaque paramètre et les valeurs obtenues sont divisées en 5 niveaux de pollution. Le tableau 44 qui représente la grille de degré d'indice de pollution organique, montre la représentation graphique des niveaux de pollution.

L'indice le plus faible ressemble à une pollution élevée, cependant l'indice le plus élevé correspond à une pollution nulle ou très faible.

Tableau 44 : Grille du degré d'indice de pollution organique

indice	Pollution organique	cartographie
5,0 –4,6	Nulle	
4,5 –4,0	Faible	
3,9 –3,0	Modérée	
2,9 –2,0	Forte	
1,9 –1,0	Très Forte	

V.3. Évolution de la pollution organique et pouvoir auto-épurateur de l'oued Seybouse

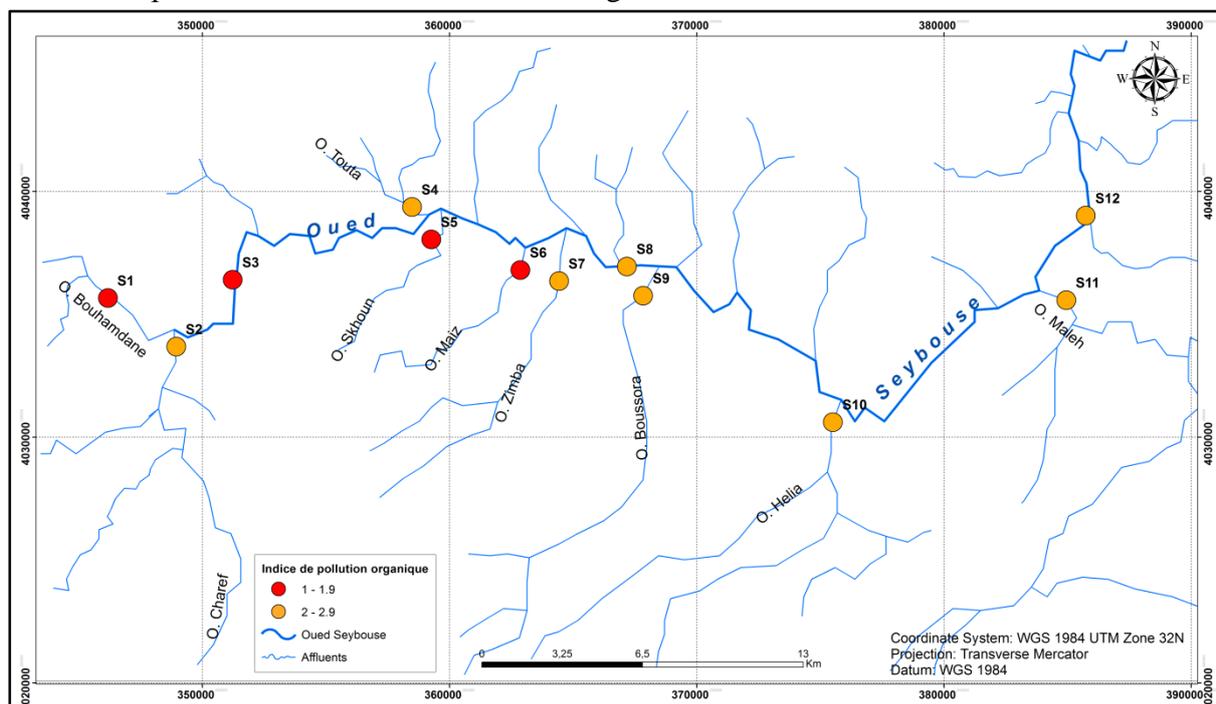
Les valeurs de l'indice de pollution organique au niveau les points de prélèvements varient de 1.75 (pollution très forte) à 2.5 (pollution forte), ceci nous permet de conclure qu'il y'a une dominance de la pollution forte suivie par une pollution très forte. (Tableau 45)

Tableau 45 : Valeurs des indices et classes de la pollution organique

station	IPO	
	indice	classe
S1 (Oued Bouhamdane)	2.5	
S2 (Oued Charef)	2	
S3 (Oued Seybouse)	1.75	
S4 (Oued Touta)	2	
S5 (Oued Skhoun)	1.75	
S6 (Oued Maiz)	1.75	
S7 (Oued Zimba)	2.5	
S8 (Oued Seybouse)	2.5	
S9 (Oued Bossora)	2	
S10 (Oued Helia)	2	
S11 (Oued Maleh)	2.5	
S12 (Oued Seybouse)	2.5	

VI.3.1. Représentation graphique de l'indice de pollution organique

Pour établir la carte de qualité de la zone d'étude vis –vis de la l'indice de pollution organique, nous avons utilisé les valeurs obtenues du tableau 45, l'établissement de la carte de l'indice de pollution a été établie à l'aide du logiciel Arc Gis.

**Fig. N° 67 : Carte de la qualité des eaux de l'Oued Seybouse**

V.4. Discussion des résultats

La région d'étude est caractérisée par deux types de pollution, une pollution organique forte (2 – 2.9), enregistrée au niveau des points **S2, S4, S7, S8, S9, S10, S11**, et **S12**. Cette dernière est due à un apport d'azote et de phosphate lessivé par les eaux au niveau des parcelles agricoles. L'autre type de pollution organique très forte (1– 1.9) est enregistré au niveau des points de prélèvements **S1, S3, S5** et **S6**. (Fig. 67)

Le point S1 situé au niveau de l'oued Bouhamdane, présente une pollution très forte provenant du lessivage agricole en amont.

Le point de S3 situé dans l'oued Seybouse, après la confluence des oueds Bouhamdane et charef, présente une pollution forte, suite aux rejets des eaux domestiques provenant des agglomérations avoisinantes et au lessivage agricole.

Les points S5 et S6 représentant respectivement Oued Skhoun et oued Maiz, malgré qu'ils soient situés en amont et loin des rejets des communes de Guelma et Belkheir, présentent aussi une pollution très forte, ceci étant du aux concentrations excessives en nitrates qui dépassant largement celles des nitrites. Avec l'enrichissement du milieu en oxygène dissous, la ré oxygénation du milieu permet l'activation de l'oxydation qui est la transformation de l'ammonium en nitrate ce qui favorise la nitrification de l'ammonium, cette transformation se fait par la voie aérobie. (Martin, 1979).

VI. Classification de la qualité des eaux superficielles selon l'ANRH

La qualité générale de l'eau est définie selon quatre classes de qualité déterminées à partir d'une grille à double entrée (Classe de qualité / Paramètres mesurés).

Elle a pour but de faire apparaître le risque d'eutrophisation, à l'aide de deux autres grilles (azote et phosphore), ainsi que d'autres éléments tels que les métaux et éléments indésirables.

La représentation graphique différenciée, s'avère indispensable pour mentionner des problèmes ponctuels aux endroits où l'on dispose de données. (ANRH, 2009). (Tableaux 46, 47, 48 et 49).

- Classe I : Eau de **bonne qualité**, utilisée sans exigences particulières ; Elle est représentée graphiquement par la **couleur bleue**.
- Classe II Eau de **qualité moyenne**, utilisée après un simple traitement. Elle est représentée en **vert**.
- Classe III Eau de **mauvaise qualité**, ne peut être utilisée qu'après un traitement très poussé. Elle est représentée en **jaune**.
- Classe IV **Pollution excessive**, ne peut être utilisée qu'après traitements spécifiques et très onéreux. Elle est représentée en **rouge**.

Tableau 46 : Grille utilisée pour signaler les problèmes des matières minérales et organiques

Eléments	I	II	III	IV
Qualité Minérale				
Ca ²⁺	40 - 100	100-200	200 - 300	>300
Mg ²⁺	<30	30 -100	100 - 150	>150
Na ⁺	10 - 100	100 - 200	200 - 500	>500
SO ₄ ²⁻	50 - 200	200 - 300	300 - 400	>400
Cl ⁻	10 - 150	150 - 300	300 - 500	>500
Qualité Organique				
O ₂ %	90 - 100	50 - 90	30 - 50	<30
DBO ₅	<5	5 -10	10 - 15	>15
DCO	<20	20 - 40	40 - 50	>50
MO	<5	5 - 10	10 - 15	>15

Tableau 47 : Grille utilisée pour signaler les problèmes du Phosphore

Forme du Phosphore	Situation normale	Pollution modérée	Pollution notable	Pollution importante
PO ₄ ⁻³	≤0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3

Tableau 48: Grille utilisée pour signaler les problèmes de l'azote

Formes de l'azote	Situation normale	Pollution modérée	Pollution notable	Pollution importante
NH ₄ ⁺	<0.01	0.01 – 0.1	0.1 - 3	>3
NO ₂ ⁻	<0.01	0.01 – 0.1	0.1 - 3	>3
NO ₃ ⁻	<10	10 - 20	20 - 40	>40

Tableau 49 : Grille utilisée pour signaler les problèmes des éléments toxiques et indésirables

Elément toxique	M1	M2	M3	M4
Fe (mg/l)	0 - 0.5	0.5 – 1	1 – 2	> 2
Mn (mg/l)	0 – 0.1	0.1 – 0.3	0.3 – 1	> 1
Cr (mg/l)	0	0 – 0.05	0.05 – 0.5	> 0.5
Cu (mg/l)	0 – 0.02	0.02 – 0.05	0.05 – 1	>1
Cd (mg/l)	0	0	0 – 0.01	> 0.01

VI.1. Discussion et Cartographie des résultats

Au vu des résultats présentés dans les tableaux (47, 48, 49 et 50), il apparaît que :

VI.1.1. Matière minérale

Vis-à-vis de la qualité minérale, les eaux de la Seybouse et ses affluents appartiennent à la classe II, ce sont donc des eaux d'une qualité moyenne, prêtes à être utilisées après un simple traitement. (Fig. N° 68)

Le point S11 qui représente l'oued Maleh se caractérise par une forte minéralisation, il apparaît dans la classe III vis-à-vis de (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ et SO₄²⁻) et la classe IV pour les Chlorures traduisant ainsi une eau de mauvaise qualité.

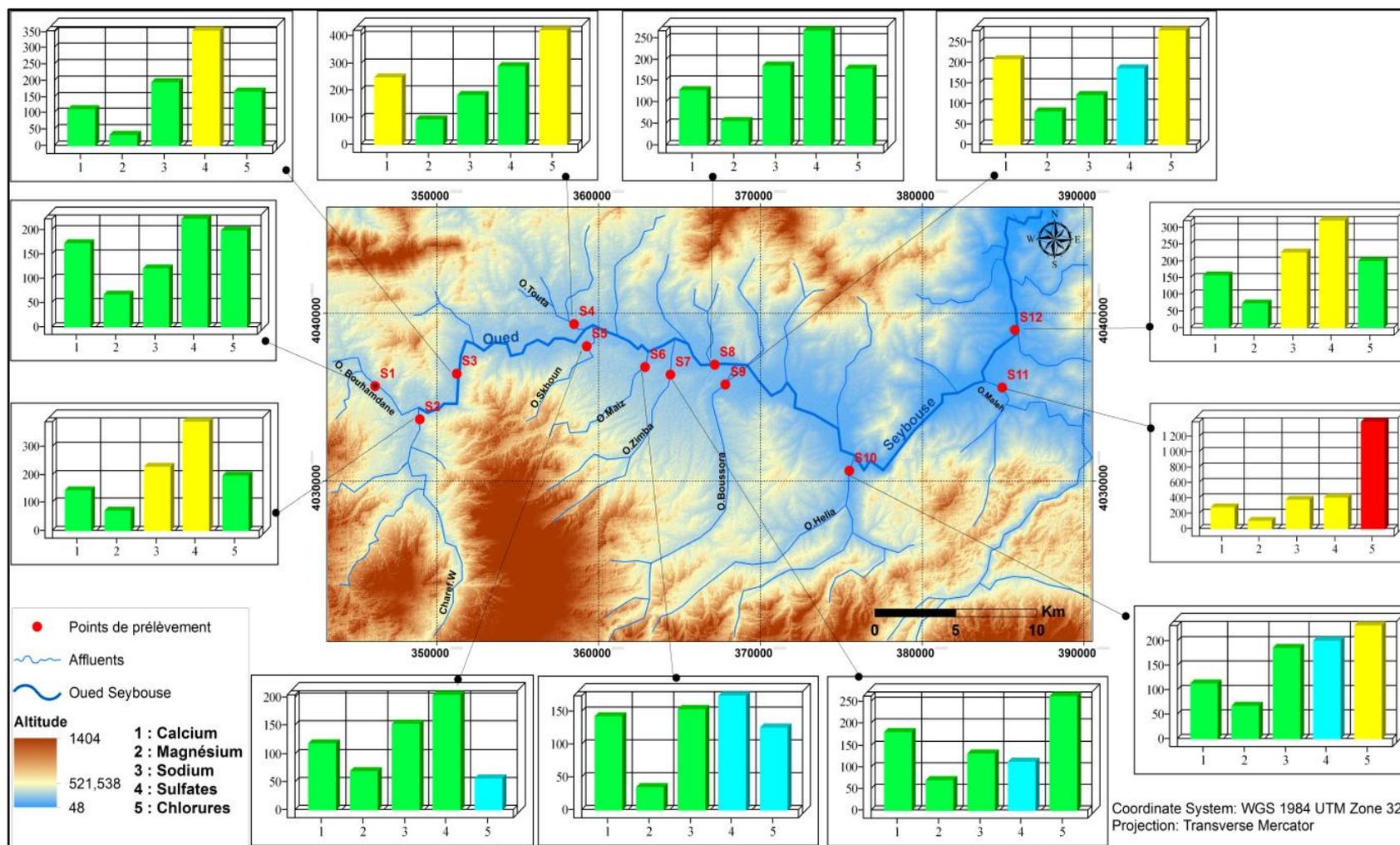


Fig. N° 68 : Carte de qualité Minérale des eaux de l'Oued Seybouse

VI.1.2. Matières organiques et oxydables

La classification de la qualité organique vis-à-vis de l'oxygène dissous, montre que les points de prélèvement, présentent une pollution classée moyenne qui ne dépasse pas la norme 90 %, à l'exception du point S3 (Oued Seybouse) qui est caractérisé par une qualité excellente.

Vis-à-vis de la DBO5, les résultats des analyses montrent que la majorité des points présentent des concentrations très élevées, représentant ainsi une pollution excessive dépassant la norme tolérée.

Concernant la DCO, la majorité des points analysés de la zone d'étude sont classés dans la catégorie moyenne, sauf les points **S3**, **S5** et **S6** qui présentent une mauvaise qualité.

(Fig. N° 69).

Pour les matières oxydables, la majorité des points de prélèvements sont situés dans la dernière classe (pollution importante), ceci indique la présence d'une pollution domestique due aux rejets urbains et parfois industriels déversés directement dans le milieu aquatique.

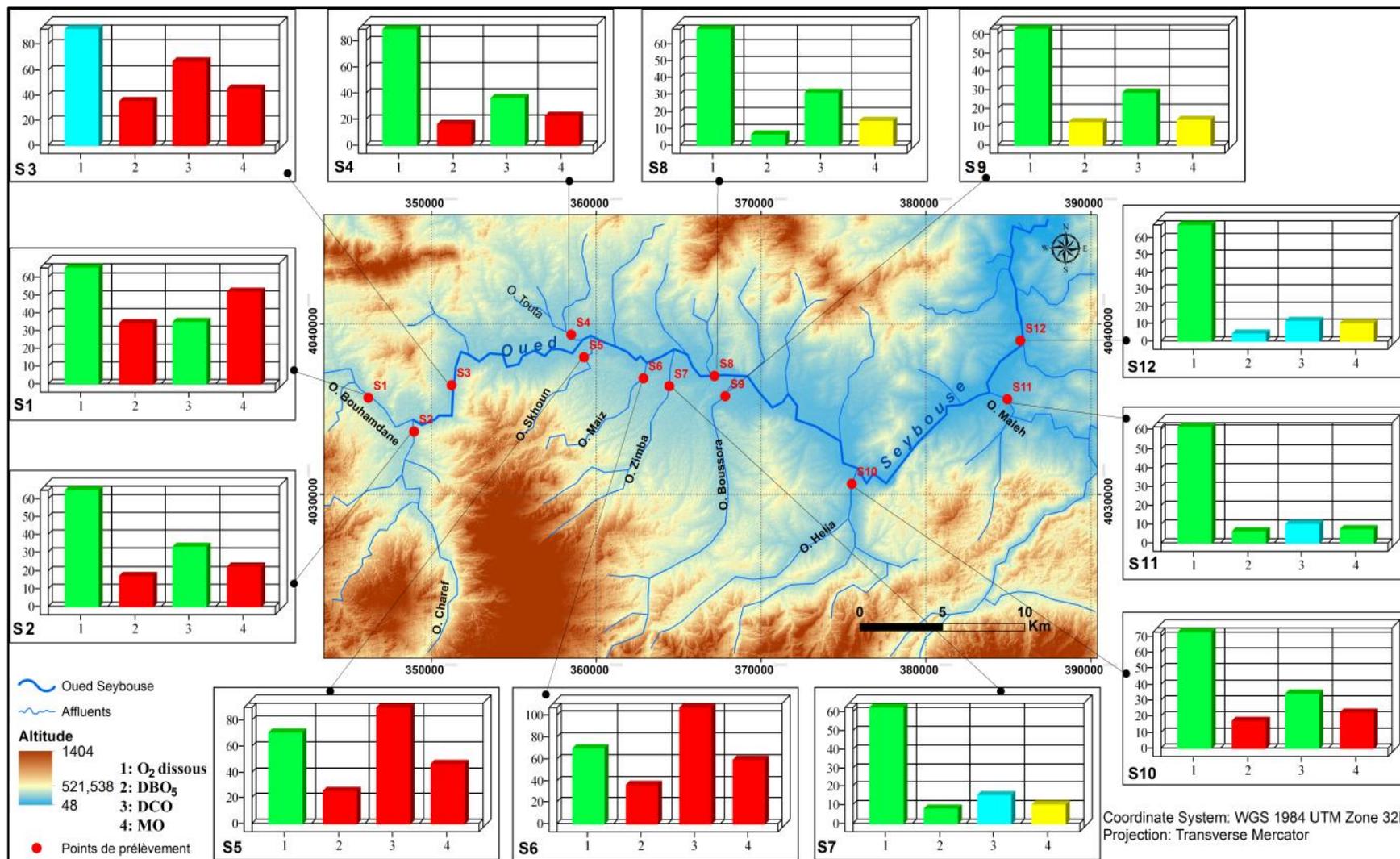


Fig. N° 69 : Carte de qualité Organique des eaux de l’Oued Seybouse

VI.1.3. Matière Azotées

Dans la partie amont de la zone d'étude (**S1, S2 et S3**), les valeurs des éléments nutritifs sont classées dans la catégorie Mauvaise, sauf pour les Nitrites au niveau du point **S2** qui est dans la catégorie passable.

Dans la partie centrale de la zone d'étude (**S4, S5 et S6**), on observe que les nutriments sont mentionnés dans la classe **Mauvaise à très mauvaise** pour les nitrates qui peuvent avoir comme origine des engrais azotés utilisés en agriculture, représentant ainsi les impacts du périmètre irrigué Guelma Bouchegouf. (Fig. N° 70)

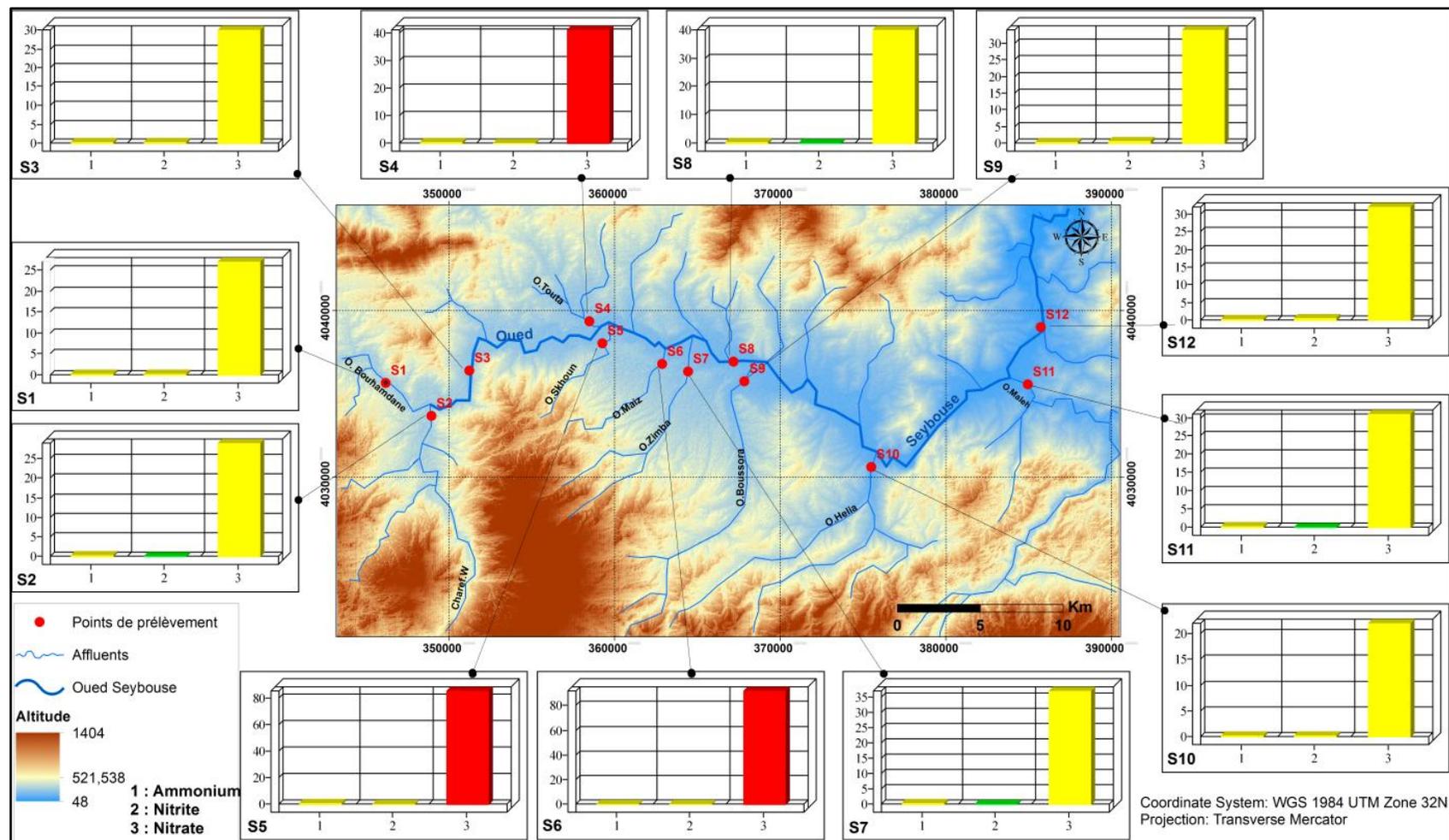


Fig. N° 70: Carte de qualité des éléments de l'Azote dans les eaux de l'oued Seybouse

VI.1.4. Matières phosphorées

La pollution par les matières phosphorées touche l'ensemble des points de prélèvements, Les eaux sont de très mauvaise qualité et ceci est du principalement à une présence excessive d'ortho phosphates dans la zone d'étude, en raison des rejets domestiques et des activités agricoles au niveau de périmètre d'irrigation Guelma-Boucheouf.

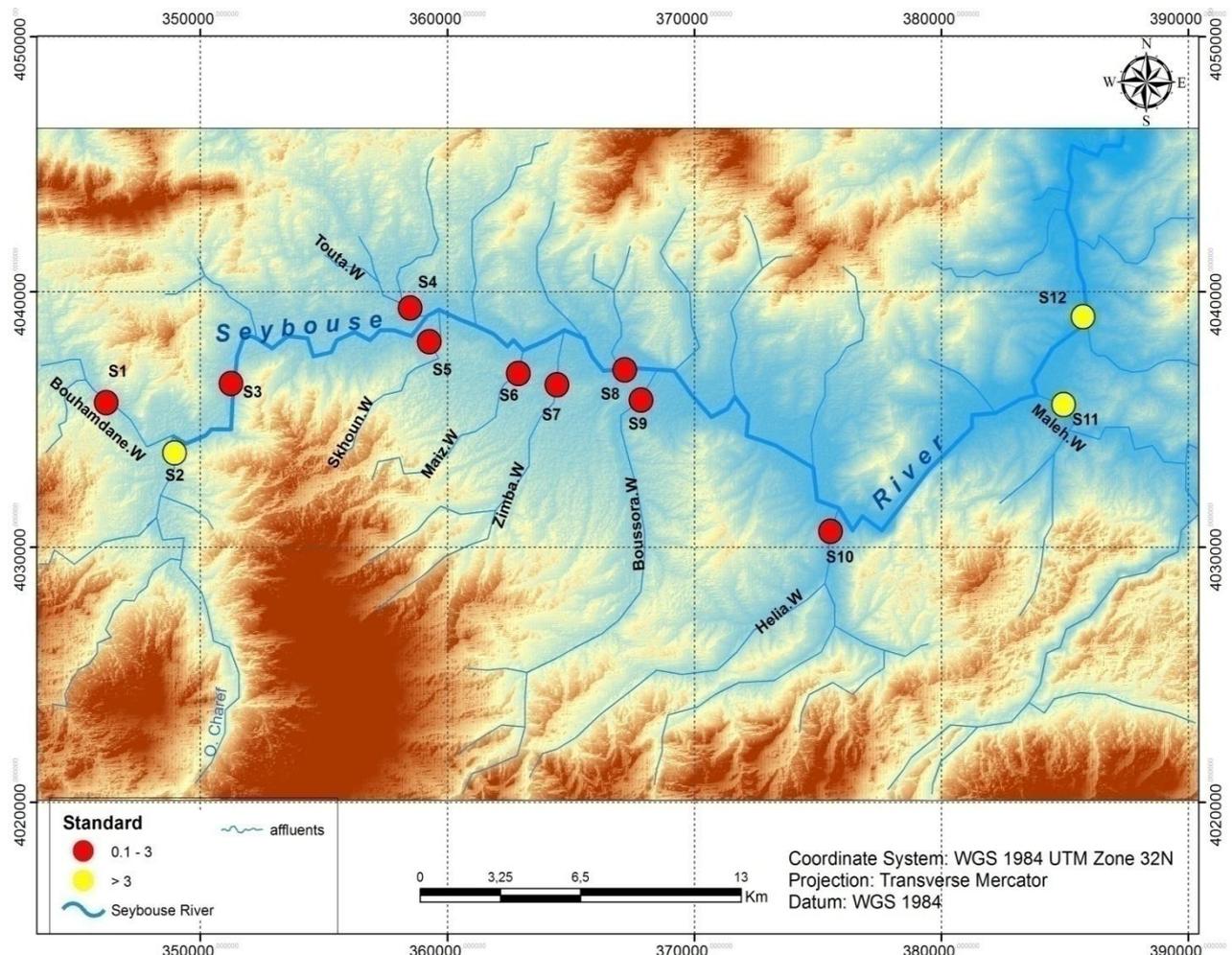


Fig. N°71 : Carte de qualité des Ortho phosphates des eaux de l'oued Seybouse

VI.1.5. Éléments trace métalliques

Selon les normes de la Grille utilisée pour signaler les problèmes des éléments traces métallique, le Fer se caractérise par une qualité excellente à moyenne, contrairement les valeurs du Cd dépassent la norme toléré dans tous les points de prélèvements et appartiennent à la dernière classe (pollution importante).

L'origine du cadmium doit être recherchée dans les effluents industriels (galvanoplastie, en particulier), des incinérations de déchets, et aussi l'utilisation d'engrais.

Le Mn dans certains points de prélèvements de la partie centrale de notre zone étude se caractérise par des fortes teneurs, correspondant à la classe mauvaise a très mauvaise et inacceptable au niveau le point S6 (Oued Maiz).

Les eaux de l’oued Seybouse sont d’une qualité mauvaise vis-à-vis du Cu et moyenne vis-à-vis du Cr.

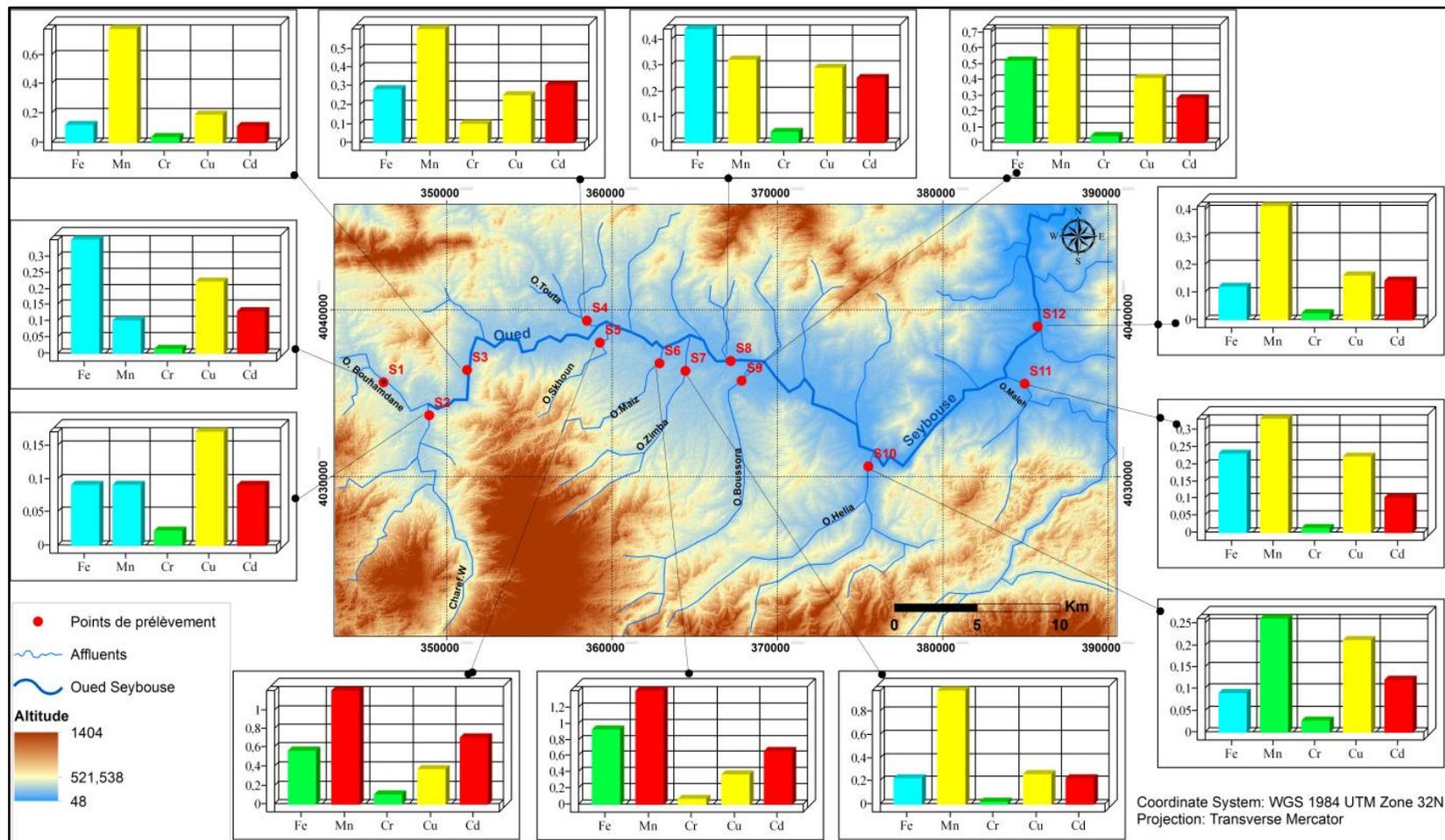


Fig. N° 72 : Carte de qualité des éléments traces métalliques des eaux de l’oued Seybouse

VI. Application de l'Analyse Composante Principale (A.C.P)

VII.1. Introduction

L'analyse en composantes principales A. C. P est une méthode statistique essentiellement descriptive. Son objectif est de présenter sous une forme graphique le maximum de l'information contenue dans un tableau des données.

L'A.C.P est une méthode statistique ancienne c'est à H.HOTLLING en 1933. Que l'on doit la première publication sur ce sujet et c'est le même K. Pearson en 1901 qui en a entrevu les idées essentielles. Cependant l'utilisation de l'A. C. P est récente ce n'est que depuis les années 1960 et l'avènement des ordinateurs que la théorie a pu être mise en pratique.

L'A.C.P peut s'utiliser dans des situations nombreuses et variées pour savoir comment se structurer les variables, quelles sont celles qui sont associées ?, quelles sont celles qui ne le sont pas ?, quelles sont celles qui « vont dans le même sens » ?, quelles sont celles qui s'opposent ?

Le schéma de l'A.C.P est une méthode de réduction du nombre de caractères qui ne se fait pas sur une simple sélection de certains d'entre eux mais par la construction de nouveaux caractères synthétiques obtenus en combinant les caractères initiaux au moyen des facteurs.

C'est une méthode linéaire de données sur le quel figurent en colonnes (P) variable et en ligne (n) échantillons, également chaque variable peut être représenté dans un espace à n dimensions.

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

Aussi faut-il avoir recours à une représentation dans un espace à dimension réduite, déterminée à partir des axes principaux du nuage de points.

Chaque axe factoriel est choisi de façon à décrire le maximum de variance du nuage de points. L'association deux à deux de ces axes ou facteurs permet une représentation graphique plane de ce nuage.

Généralement le calcul se poursuit jusqu'au facteur qui exprime 90% au moins de la variance totale.

Pour conserver au maximum la forme du nuage, donc son inertie par rapport au centre de gravité, on centre de variable, c'est-à-dire faire passer les axes principaux de projection par le centre de gravité. Il s'agit alors d'une ACP centré. *In* : Nagabhsushan et Kumar, 2007 ; Husson et al. 2010). L'intérêt de cette technique réside dans le fait qu'elle permet de réduire à quelques plans factoriels, la majeure partie de la variance exprimée par les descripteurs. Le premier axe F1 est celui qui exprime le plus fort pourcentage de la variance totale. Le second axe F2, indépendant du premier, est celui qui exprime la plus grande partie de la variance résiduelle et ainsi de suite (Mudry et Blavoux, 1986).

L'A.C.P permettra de regrouper selon les mêmes facteurs les échantillons présentant des caractères d'origine ou d'évolution similaire.

VII.2. Application de l'ACP

Pour réaliser cette partie, nous avons utilisé le logiciel Statistica 8, les données concernent 12 individus (points de prélèvements) représentant les eaux de l'oued Seybouse et

ses affluents et 24 variables (pH, T, O₂, CE, MES, DBO₅, DCO, NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, Cu, Fe, Cr, Cd, Ni, et Mn).

On a appliqué la méthode d'analyse en composantes principales sur des données centrées réduite (matrice de corrélation).

VII.2.1. Statistiques élémentaires

Les statistiques élémentaires (moyenne et écart type) concernant les 24 variables analysées sont représentées dans le tableau 50

Tableau 50 : Statistiques élémentaires des variables

Paramètres	Moyenne	Ecart-type
MES	79,883	91,236
Fe	0,328	0,238
Cr	0,041	0,029
Cu	0,259	0,079
Mn	0,598	0,408
Cd	0,258	0,199
Ni	0,513	0,316
pH	8,713	0,509
O₂	10,300	1,403
Ca²⁺	166,675	50,558
Na⁺	187,008	66,359
Mg²⁺	67,700	20,025
CE	2691,833	1408,534
K⁺	17,792	4,855
DBO₅	15,533	10,773
DCO	41,367	29,362
SO₄²⁻	258,308	86,531
HCO₃⁻	273,118	78,485
Cl⁻	307,658	335,510
NO₃⁻	41,667	21,604
NH₄⁺	0,318	0,066
NO₂⁻	0,267	0,204
PO₄³⁻	5,018	2,598
T	23,728	2,340

Les statistiques montrent que les valeurs excessivement élevées sont la conductivité, la TDS, les sels minéraux (Cl⁻, Na⁺, HCO₃⁻, Mg²⁺), les sulfates, et les paramètres de pollution tels que (la turbidité, les MES, les nitrates et la DCO).

VII.2.2. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation (tableau 51) présente les différentes corrélations entre les variables prises deux à deux, elle nous permet de dégager les associations suivantes :

Entre l'O₂ dissous et T (0.62), DBO₅ et MES (0.66), DBO₅ et DCO (0.86), NO₃⁻ et DCO (0.83), NH₄⁺ et MES (0.65), PO₄³⁻ et CE (0.61), PO₄³⁻ et MES (0.67), PO₄³⁻ et DCO (0.77), Na²⁺ et CE (0.97), K⁺ et MES (0.60), K⁺ et NO₃⁻ (0.67), K⁺ et PO₄³⁻ (0.81), La DCO et MES (0.83), NO₃⁻ et MES (0.92), PO₄³⁻ et NO₃⁻ (0.84), Cl⁻ et CE (0.88), Cd et MES (0.84), Cd et NO₃⁻ (0.97), PO₄³⁻ et Cd (0.88), la DCO et la DBO₅ (r= 0.86), qui pourrait s'expliquer par une forte activité bactérienne (Hmama, 1993), Mg²⁺ et DCO (0.66), Mg²⁺ et DBO₅ (0.65), Ca²⁺ et Mg²⁺ (0.81), DCO (0.6), Fe et NO₃⁻ (0.83), Fe et PO₄³⁻ (0.71), Cu et NO₃⁻ (0.66) Cu et SO₄²⁻ (0.62), Cr et MES (0.61), DCO et Cr (0.63), Cr et NO₃⁻ (0.70), Cr et PO₄³⁻ (0.71), Mn et MES (0.67), Mn et DCO (0.70), Mn et DBO₅ (0.64), Mn et NO₃⁻ (0.82), Mn et PO₄³⁻ (0.74), Mn et SO₄²⁻ (0.67), Ni et MES (0.67), Ni et NO₃⁻ (0.81), Ni et NH₄⁺ (0.62), Cd et DCO (0.79), Cd et k⁺ (0.67), et entre les micropolluants Cd et Fe (0.84), Cd et Cu (0.77), Cd et Cr (0.78), Mn et Cu (0.66), Mn et Cr (0.61), Ni et Fe (0.69), Ni et Cu (0.67), Ni et Mn (0.70), Cd et Mn (0.82), Cd et Ni (0.83).

Tableau 51 : Matrice de corrélation

T	1																							
pH	-0,50	1																						
C	0,15	-0,21	1																					
O ₂	-0,62	0,42	-0,1	1																				
MES	-0,4	0,03	-0,1	0,00	1																			
DCO	-0,45	0,19	-0,3	0,33	0,83	1																		
DBO ₅	-0,59	0,32	-0,21	0,54	0,66	0,86	1																	
NO ₂ ⁻	0,04	0,09	-0,20	0,03	0,19	0,20	0,21	1																
NO ₃ ⁻	-0,25	-0,09	-0,3	0,00	0,92	0,83	0,58	0,20	1															
NH ₄ ⁺	-0,12	-0,1	0,08	-0,2	0,65	0,46	0,42	0,53	0,56	1														
PO ₄ ³⁻	-0,20	0,00	-0,61	0,16	0,67	0,77	0,48	0,00	0,84	0,20	1													
Na ⁺	-0,02	-0,17	0,97	-0,0	-0,04	-0,35	-0,18	-0,21	-0,25	0,09	-0,57	1												
K ⁺	-0,19	-0,19	-0,22	0,15	0,60	0,58	0,35	-0,22	0,67	0,17	0,81	-0,15	1											
Mg ²⁺	0,41	-0,01	0,49	-0,3	-0,32	-0,66	-0,65	-0,26	-0,35	-0,26	-0,39	0,47	-0,1	1										
Ca ²⁺	0,37	0,07	0,50	-0,1	-0,28	-0,50	-0,44	-0,19	-0,23	-0,37	-0,31	0,44	-0,2	0,81	1									
Cl ⁻	0,31	-0,1	0,88	-0,2	-0,21	-0,45	-0,34	-0,32	-0,27	-0,13	-0,46	0,82	-0,1	0,68	0,80	1								
HCO ₃ ⁻	-0,43	-0,09	-0,56	0,19	0,32	0,25	0,09	0,14	0,42	0,23	0,46	-0,42	0,32	-0,21	-0,4	-0,6	1							
SO ₄ ²⁻	-0,4	0,25	0,69	0,22	-0,10	-0,25	-0,05	-0,06	-0,37	-0,00	-0,64	0,77	-0,3	0,24	0,19	0,45	-0,21	1						
Fe	0,11	-0,16	-0,34	-0,1	0,66	0,68	0,38	0,21	0,83	0,35	0,71	-0,38	0,36	-0,31	-0,0	-0,2	0,17	-0,50	1					
Cu	0,27	-0,08	-0,38	-0,1	0,46	0,48	0,27	0,21	0,66	0,42	0,59	-0,47	0,22	-0,09	0,01	-0,1	0,21	-0,62	0,84	1				
Cr	-0,38	0,19	-0,37	0,49	0,61	0,63	0,51	0,11	0,70	0,23	0,71	-0,30	0,54	-0,07	-0,0	-0,2	0,59	-0,22	0,51	0,55	1			
Mn	-0,22	0,02	-0,37	0,15	0,67	0,70	0,64	0,32	0,82	0,52	0,74	-0,36	0,50	-0,40	-0,1	-0,2	0,32	-0,53	0,67	0,66	0,61	1		
Ni	0,13	-0,41	-0,09	-0,2	0,67	0,43	0,20	0,36	0,81	0,62	0,59	-0,07	0,51	0,006	0,00	-0,0	0,42	-0,39	0,69	0,67	0,59	0,70	1	
Cd	-0,15	-0,07	-0,41	0,02	0,84	0,79	0,52	0,21	0,97	0,52	0,88	-0,38	0,67	-0,28	-0,2	-0,3	0,48	-0,49	0,84	0,77	0,78	0,82	0,83	1

VII.2.3. Diagonalisation et vecteurs propres

Une valeur propre représente la variation des individus sur l'axe correspondant. Elle a pour but de faciliter l'interprétation, ces valeurs sont exprimées en pourcentage par rapport aux valeurs propres totales. (Fig. N° 73), (tableau 52).

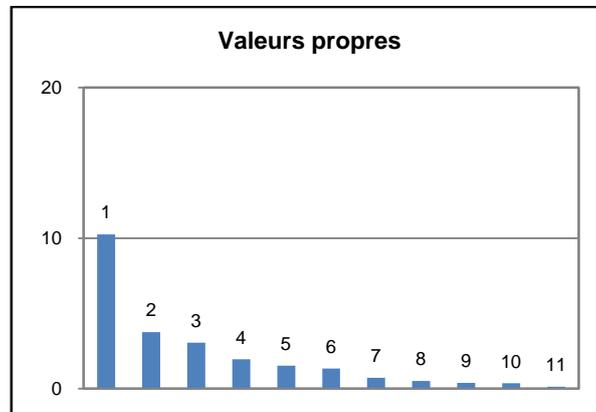


Fig. N° 73 : Valeurs propres

Tableau 52 : Tableau de diagonalisation

axe	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Valeur propre	10.24	3.74	3.06	1.95	1.52	1.33	0.73	0.51	0.39	0.35	0.13
% variance	42.69	15.62	12.75	8.13	6.36	5.57	3.04	2.15	1.62	1.48	0.55
% cumulé	42.69	58.31	71.06	79.2	85.56	91.14	94.18	96.33	97.96	99.45	100

Pour l'interprétation des données, nous avons choisi trois axes, représentant les plans : (F1-F2) et (F1-F3), exprimant respectivement 58.32 % et 55.45 % de la fréquence cumulée.

VII.2.4. Etude des variables

Pour bien visualiser la distribution des variables en fonctions des axes, la corrélation entre les variables avec les axes principaux, est mentionnée dans le tableau 53.

Tableau 53 : Corrélation des variables avec les axes

Variable	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
T	0,29	0,63	0,59	0,11	-0,11	0,167	0,17	0,03	-0,08	-0,23	0,01
pH	-0,01	-0,5	-0,28	-0,25	-0,6	-0,04	-0,36	0,24	0,006	-0,04	-0,09
C	0,59	0,46	-0,61	0,12	0,10	0,09	0,11	-0,03	0,04	-0,04	-0,027
O ₂	-0,17	-0,62	-0,39	-0,35	-0,14	-0,08	0,49	-0,09	-0,006	-0,09	-0,07
MES	-0,80	0,19	-0,43	0,10	0,10	0,04	-0,25	0,03	-0,10	-0,001	0,13
DCO	-0,88	-0,16	-0,29	0,03	-0,05	0,284	-0,04	-0,05	-0,10	-0,10	-0,004
DBO ₅	-0,66	-0,33	-0,47	0,10	-0,18	0,29	0,14	-0,01	0,12	-0,04	0,19
NO ₂ ⁻	-0,29	-0,02	0,03	0,62	-0,44	-0,36	0,24	0,18	-0,30	0,03	0,0003
NO ₃ ⁻	-0,92	0,27	-0,19	-0,01	0,06	0,027	-0,09	-0,03	-0,08	0,10	-0,003
NH ₄ ⁺	-0,51	0,26	-0,31	0,65	0,007	-0,17	-0,09	0,14	0,23	-0,15	-0,08
PO ₄ ³⁻	-0,90	0,04	0,11	-0,32	0,11	0,119	-0,02	0,10	-0,09	0,02	-0,09
Na ⁺	0,54	0,38	-0,70	0,10	0,20	-0,006	0,04	-0,02	-0,007	0,019	-0,006
K ⁺	-0,64	0,13	-0,12	-0,36	0,50	0,16	0,09	0,31	-0,10	-0,10	-0,06
Mg ²⁺	0,54	0,56	-0,04	-0,39	-0,09	-0,37	-0,12	0,15	0,011	-0,15	0,10
Ca ²⁺	0,46	0,58	-0,13	-0,45	-0,40	-0,09	0,03	-0,00	-0,05	0,19	0,04
Cl ⁻	0,57	0,62	-0,43	-0,19	-0,10	0,15	0,07	0,02	0,05	0,06	-0,09
HCO ₃ ⁻	-0,54	-0,23	0,14	-0,07	0,34	-0,67	-0,05	-0,13	0,09	0,08	-0,01
SO ₄ ²⁻	0,54	-0,15	-0,73	0,13	0,02	-0,19	-0,13	-0,19	-0,14	-0,04	-0,06
Fe	-0,77	0,40	0,10	0,01	-0,19	0,19	-0,08	-0,31	-0,16	0,07	-0,06
Cu	-0,68	0,44	0,26	-0,02	-0,36	0,01	-0,04	-0,20	0,21	-0,16	-0,06
Cr	-0,74	0,01	-0,22	-0,43	-0,10	-0,35	0,11	-0,10	0,003	-0,185	0,06
Mn	-0,85	0,16	-0,09	0,00	-0,18	0,049	0,18	0,16	0,23	0,287	-0,006
Ni	-0,69	0,62	-0,04	0,10	0,09	-0,28	0,15	0,03	-0,03	0,04	-0,007
Cd	-0,94	0,28	-0,05	-0,09	-0,001	-0,05	-0,06	-0,02	-0,02	-0,03	-0,007

VII.2.4.1. Représentation des variables : Cercles de corrélations

La représentation d'un nuage des valeurs centrées se fait dans un cercle de rayon $R = 1$ (sphère dans l'espace), dont les coordonnées sur les composantes principales sont les corrélations (Fig. N°74 et 75).

Pour l'interprétation des résultats des analyses des eaux de l'Oued Seybouse et ses affluents, on a pris en considération les plans (F1-F2) et (F1-F3).

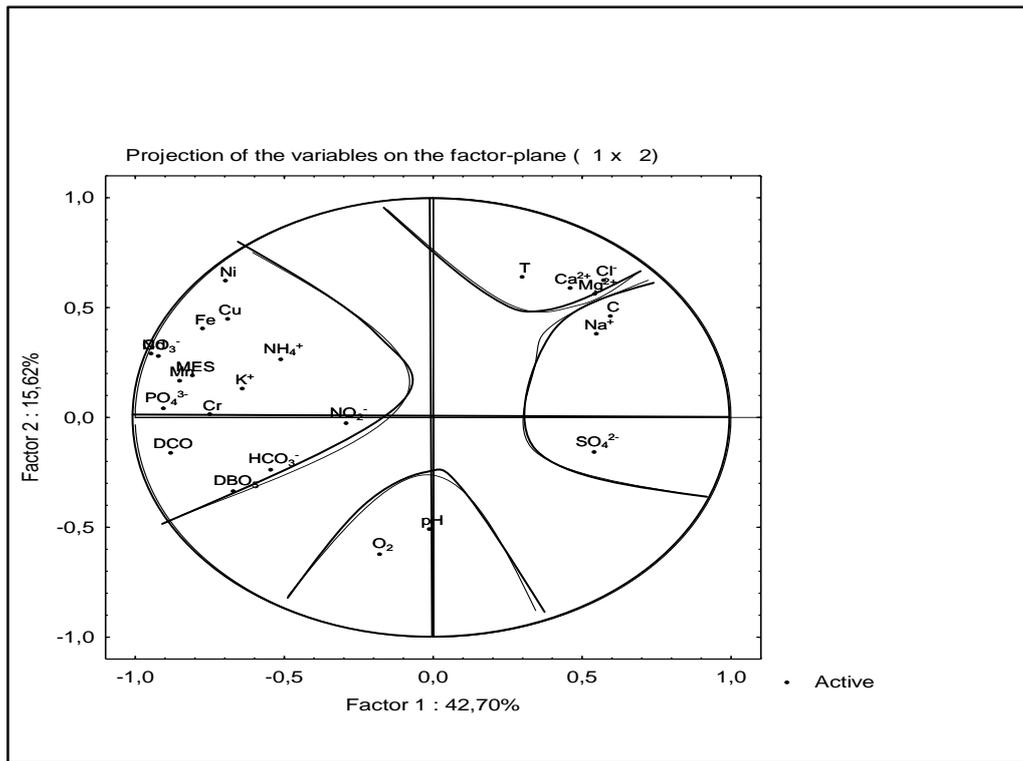


Fig. N° 74: Projection des variables selon le plan (F1-F2)

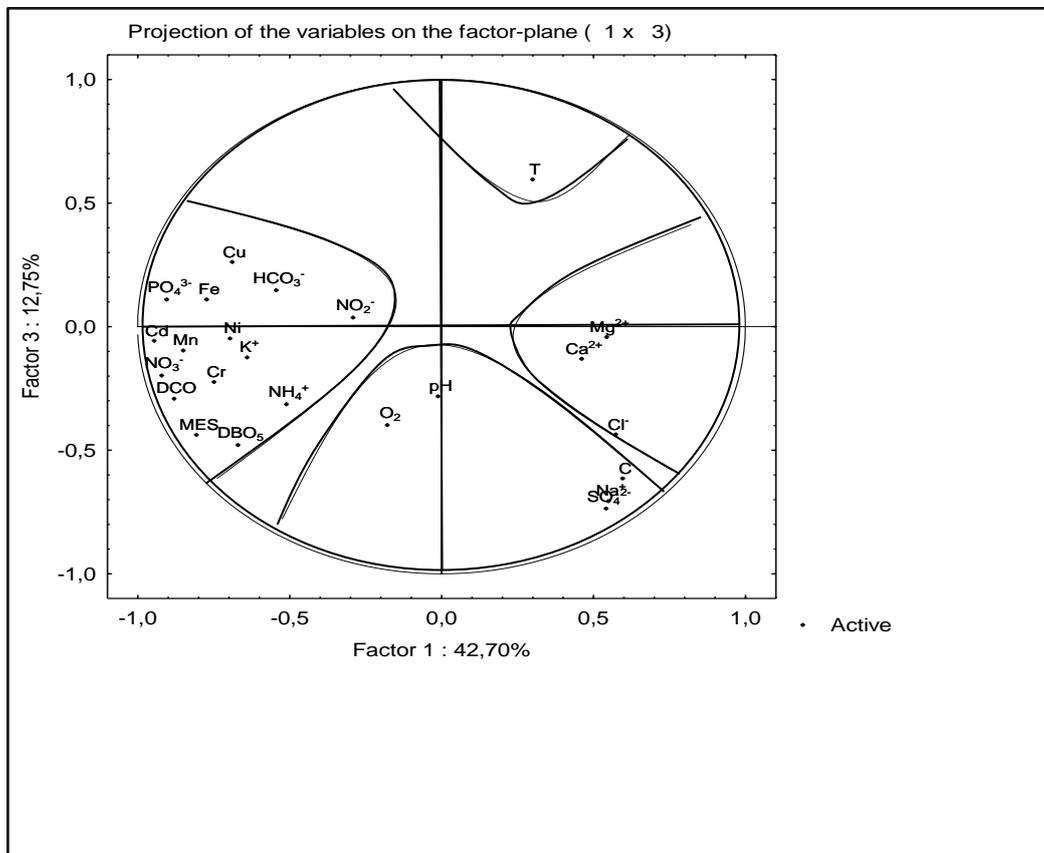


Fig. N° 75: Projection des variables selon le plan (F1-F3)

VII.2.4.2. Interprétation des résultats

- **Variables : Plan (F1-F2)**

Vis-à-vis des variables, selon le plan (F1-F2) représentant (58.32 %) de la fréquence cumulée, le facteur F1 dans son sens positif montre un nuage de point (conductivité, sodium, et sulfate) caractérisant une forte minéralisation avec des valeurs excessives en conductivité (de 3002 à 6400 $\mu\text{s}/\text{cm}$), ces éléments semblent avoir la même origine qui serait liée à une origine géologique de notre zone d'étude.

Les éléments traces métalliques, les bicarbonates, les nutriments et les paramètres biologiques tels que (DBO_5 et la DCO), caractérisant la partie négative de l'axe F1, indiquant une pollution anthropique d'origine domestique, industrielle et agricole.

Le facteur F2 avec 15.62 % oppose la température à O_2 et le pH, pouvant se présenter aussi comme un axe de pollution organique. (Fig. N° 76)

- **Variables : Plan (F1-F3)**

Selon Le plan (F1-F3) ayant une fréquence cumulé de 55.45 %, le facteur F1 présentant (42.70 %) de la variance regroupe dans son sens positif le nuage de point (Ca^{2+} , Mg^{2+} et Cl^-) caractérisant une forte minéralisation par les sels minéraux, ces éléments semblent avoir la même origine qui seraient liée à une origine géologique de région d'étude.

Selon le sens négatif de l'axe F1, les éléments traces métalliques et les paramètres de pollution (MES , DBO_5 , DCO, NH_4^+ , NO_3^+ , NO_2^- , PO_4^{3-}) avec les HCO_3^- et K^+ , indiquant une pollution anthropique d'origine domestique, industrielle et agricole

Le facteur F3 avec 12.75 % de fréquence, oppose l'oxygène dissous, le pH, la conductivité, Na^+ , SO_4^{2-} , à la température. On peut dire que c'est aussi un axe de minéralisation et de pollution organique. (Fig. N° 77)

- **VII.2.5. Etude des individus**

Pour bien visualiser les individus (points de prélèvements) par rapport aux axes, leur corrélation par rapport aux axes principaux est mentionnée dans le Tableau 54.

Tableau 54 : Corrélation des individus avec les axes

Individus	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
S1	1,74	-1,03	2,14	-0,93	-0,44	1,21	-0,91	0,32	-1,17	-0,10	-0,42
S2	2,27	-1,85	-1,27	0,55	0,47	-0,32	-1,93	-0,30	0,23	-0,00	0,54
S3	0,07	-3,95	-2,27	0,88	-1,11	0,73	0,79	0,11	0,43	0,12	-0,39
S4	-0,02	-0,64	-0,85	-3,51	-0,66	-1,36	0,69	-0,41	-0,28	0,07	0,25
S5	-6,19	0,85	-1,00	-0,29	0,62	-1,01	-0,71	0,85	0,24	-0,75	-0,34
S6	-6,17	1,16	-0,67	0,68	-0,12	1,59	0,19	-0,52	-0,57	0,65	0,36
S7	0,15	0,21	2,28	-0,84	0,59	0,26	-0,02	0,85	1,05	1,11	0,01
S8	0,17	0,15	1,2	0,31	1,72	-0,35	0,15	-1,70	0,32	-0,10	-0,45
S9	0,04	1,46	2,08	1,13	-2,95	-0,60	-0,04	-0,34	0,44	-0,45	0,12
S10	1,50	-0,44	1,02	0,14	1,33	1,17	1,12	0,46	0,09	-1,09	0,48
S11	4,79	4,01	-2,82	-0,21	-0,08	0,80	-0,01	0,14	0,09	0,05	-0,21
S12	1,62	0,06	0,15	2,10	0,63	-2,13	0,67	0,53	-0,88	0,49	0,03

VII.2.5.1. Représentation des individus

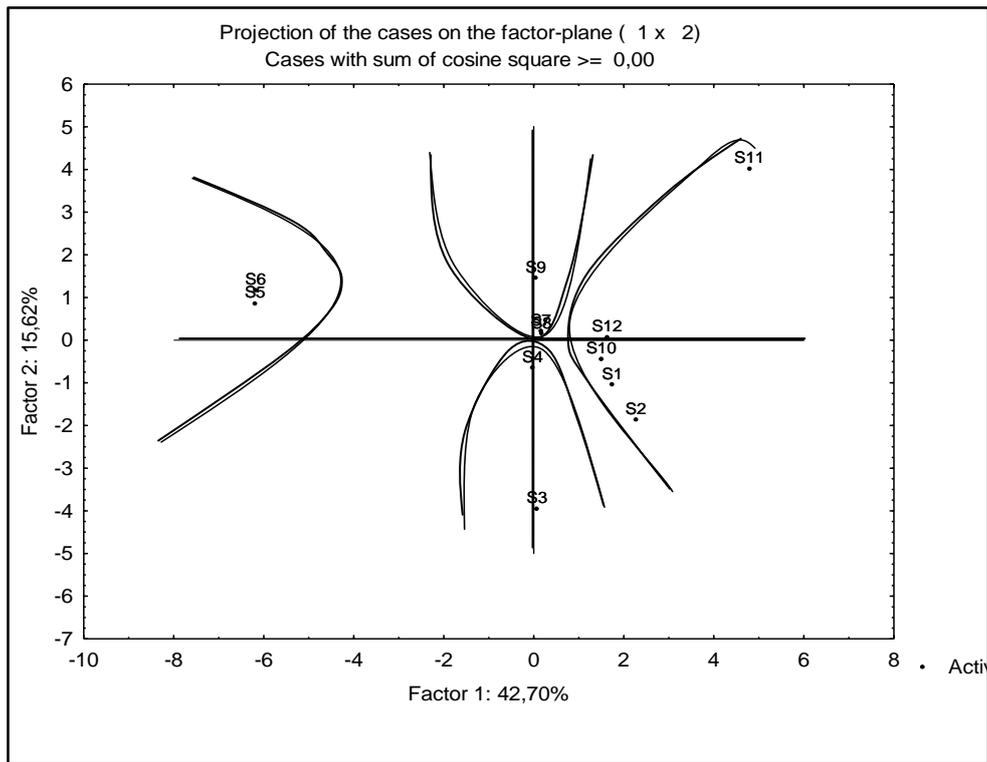


Fig. N° 76: Projection des individus selon le plan (F1-F2)

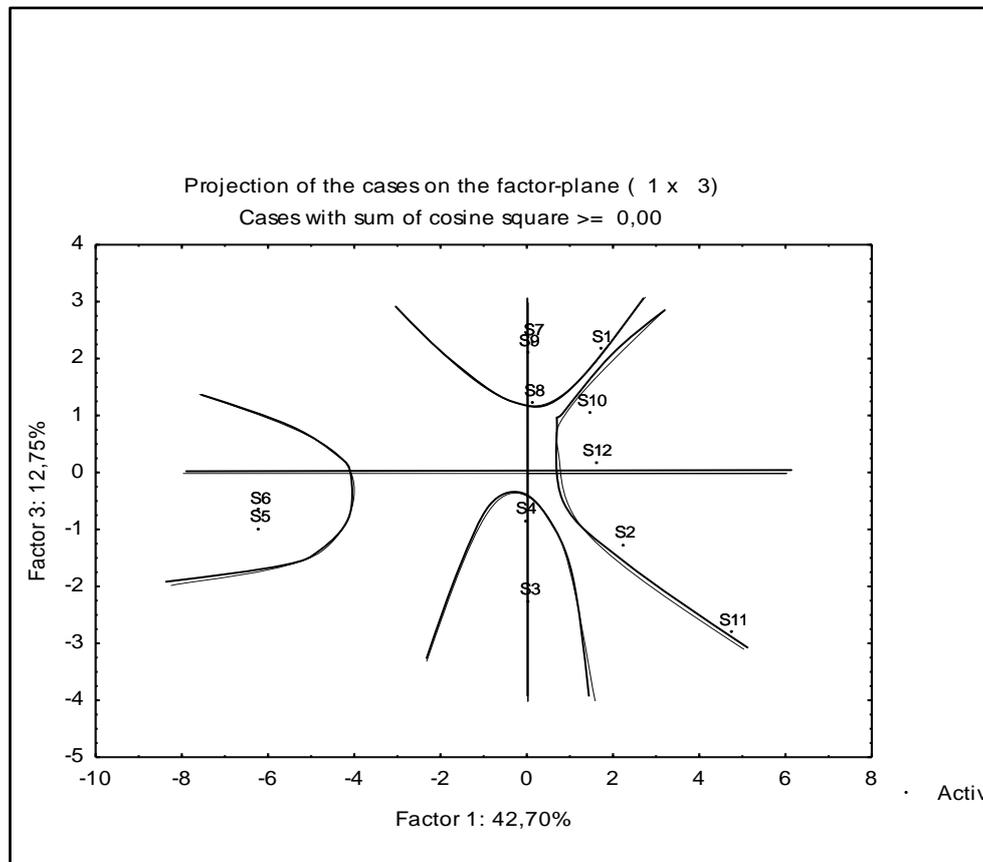


Fig. N° 77: Projection des individus selon le plan (F1-F3)

VII.2.5.2. Interprétation des résultats**• Individus : Plan (F1-F2)**

Le plan (F1-F2) avec une fréquence cumulé de 58.32% représentant le maximum de l'information, montre selon le facteur F1 dans son sens positif, un nuage de point (**S1, S2, S10, S11, et S12**), caractérisés par une forte conductivité (de 1390 jusqu'à 6940 $\mu\text{s}/\text{cm}$) et présentant comme faciès chimique le chloruré calcique et le sulfaté sodique et traduisant ainsi une forte minéralisation.

Les deux points S5 et S6 dans la partie négative du plan F1, représentant respectivement l'Oued skhoun et Oued Maiz caractérisant les points de rejets de la ville de Guelma, avec une forte pollution organique.

L'axe F2, regroupe les individus caractérisées par la pollution organique (PO_4^{3-} et NO_2^-) et oppose les points (S7, S8, et S9) au nuage de point (S3 et S4).

• Individus (plan F1-F3)

Le plan (F1-F3) avec une fréquence cumulé de 55.45% est presque identique au plan (F1-F2), le facteur F1 dans son sens positif, regroupe un nuage de points (S2, S10, S11, et S12), ayant pour faciès le chloruré calcique et le sulfaté sodique et caractérisé par une forte conductivité (de 1390 jusqu'à 6940 $\mu\text{s}/\text{cm}$) traduisant ainsi les points à forte minéralisation.

Les deux points S5 et S6 dans sa partie négative représentant respectivement Oued skhoun et Oued Maiz caractérisant les points de rejets de la ville de Guelma.

L'axe F3, regroupe les individus caractérisées par la pollution organique (PO_4^{3-} et NO_2^-) et oppose les points (S1, S7, S8, et S9) au nuage de point (S3 et S4).

L'analyse en composante principale a permis de définir des zones de contamination homogènes, vis-à-vis des individus pris en considération.

Conclusion

Les faciès chimiques des eaux de surfaces de la région d'étude sont diversifiés : le faciès chloruré calcique-sodique indique une prédominance et un excès en chlorures, le sulfaté sodique indique le lessivage des formations gypsifères existantes dans la région d'étude.

Le faciès bicarbonaté sodique est du principalement à la dissolution des Cipolins de la région d'étude, le bicarbonaté calcique est en relation avec la présence des calcaires travertins qui sont à l'origine du calcium et du bicarbonate.

La classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation et le Diagramme de Richards ont montré que les eaux de la région d'étude sont classées en deux qualités :

- Des eaux appartenant à une catégorie convenant à l'irrigation des cultures tolérantes en sels sur des sols bien drainés, cependant l'évolution de la salinité du sol irrigué doit être contrôlée.
- Des eaux appartenant à une classification médiocre, elles sont considérées comme fortement minéralisées et pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces tolérantes au sel et sur des sols lessivés.

Selon la classification des eaux par la méthode de Wilcox, les résultats montrent que les eaux de l'oued Seybouse appartiennent aux trois classes suivantes: Bonne, Médiocre et Mauvaise :

- La classe Bonne concerne les eaux pouvant être utilisées sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes en sels.
- La classe Médiocre caractérise des eaux fortement minéralisées, pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes en sel sur des sols bien drainés et lessivés.
- La classe Mauvaise concerne le type d'eaux correspondant à des eaux ne convenant pas à l'irrigation mais pouvant être utilisées sous certaines conditions.

Le calcul de la Biodégradabilité par le biais du rapport DCO/DBO₅ a montré une origine diversifiée de la pollution dans la région d'étude.

- Une pollution agroalimentaires, avec un rapport de l'ordre de 1,5 à 2, ce qui traduit une meilleure biodégradabilité, du au lessivage agricole du périmètre d'irrigation Guelma-Boucheouf et aux activités agroalimentaires au niveau des communes de Hammam debagh, Charef, Medjez Amar, et Boucheouf.
- une pollution à dominance domestique, avec un rapport compris entre 2 et 3, suite aux rejets domestiques des agglomérations des communes d'El Fedjoudj, Belkheir, Boumahra, Hammam N'bails et Boucheouf.
- une pollution d'origine industrielle, plus ou moins difficilement biodégradable présentant un rapport supérieur à 3, caractérisant le point de prélèvement S5 représentant le lieu de rejet de la ville de Guelma (rejets industriels de la zone industrielle de la Cité des Frères Rahabi) et Boumahra Ahmed.

L'indice de pollution organique a montré que la région d'étude se caractérise par une pollution organique forte enregistrée au niveau de la majorité des points de prélèvements, due à un apport d'azote et de phosphate lessivé par les eaux au niveau des parcelles agricoles et une pollution organique très forte dans le reste des points de prélèvements.

La classification de la qualité minérale des eaux de la région a montré que vis-à-vis de la qualité minérale, les eaux de la Seybouse et ses affluents appartiennent à la classe II, ce sont donc des eaux d'une qualité moyenne, prêtes à être utilisées après un simple traitement.

Sauf que la région d'Oued Maleh se caractérise par une forte minéralisation avec un excès en Chlorures traduisant ainsi une eau de mauvaise qualité.

La classification de la qualité organique vis-à-vis de l'oxygène dissous, montre que les eaux de la région d'étude présentent une pollution classée moyenne.

Vis-à-vis de la DBO5, les résultats des analyses montrent que la majorité des points présentent des concentrations très élevées, représentant ainsi une pollution excessive dépassant la norme tolérée.

Concernant la DCO, la majorité des points analysés de la zone d'étude sont classés dans la catégorie moyenne, sauf dans la partie centrale de la région d'étude qui présente une mauvaise qualité.

Pour les matières oxydables, la majorité des points de prélèvements présentent une pollution importante, ceci indique la présence d'une pollution domestique due aux rejets urbains et parfois industriels déversés directement dans le milieu aquatique.

Pour les matières azotées, dans la partie amont de la zone d'étude, les valeurs des éléments nutritifs sont classées dans la catégorie Mauvaise.

Dans la partie centrale de la zone d'étude, les nutriments sont mentionnés dans la classe **Mauvaise à très mauvaise** vis-à-vis des nitrates qui peuvent avoir comme origine des engrais azotés utilisés en agriculture, représentant ainsi les impacts du périmètre irrigué Guelma Bouchegouf.

La pollution par les matières phosphorées touche l'ensemble des points de prélèvements, Les eaux sont de très mauvaise qualité et ceci est dû principalement à une présence excessive d'ortho phosphates dans les eaux de la zone d'étude, en raison des rejets domestiques et des activités agricoles (engrais azotes) au niveau de périmètre d'irrigation Guelma-Bouchegouf.

Vis-à-vis des éléments traces métalliques, selon les normes de la Grille utilisée pour signaler les problèmes des éléments traces métallique, le Fer se caractérise par une qualité excellente à moyenne, contrairement les valeurs du Cd dépassent la norme tolérée dans tous les points de prélèvements et appartiennent à la dernière classe (pollution importante).

L'origine du cadmium doit être recherchée dans les effluents industriels (galvanoplastie, en particulier), des incinérations de déchets, et aussi l'utilisation d'engrais chimiques.

Le Mn dans certains points de prélèvements de la partie centrale de notre zone étude se caractérise par des fortes teneurs, correspondant à la classe mauvaise à très mauvaise et inacceptable au niveau le point S6 (Oued Maiz).

Les eaux de l'oued Seybouse sont d'une qualité mauvaise vis-à-vis du Cu et moyenne vis-à-vis du Cr.

L'analyse en composante principale a permis de définir des zones de contamination homogènes.

L'ACP a permis de mettre en évidence une contamination organique et métallique marquée beaucoup plus au niveau de la partie centrale de la région d'étude Oued Skhoun et Oued el Maiz caractérisant les points de rejets de la ville de Gulema et Belkheir.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail, nous pouvons tirer de la présente étude les points essentiels suivants :

La zone d'étude est située à 116 km à l'est de Constantine, à 65 km au sud-ouest d'Annaba, à 77 km à l'ouest de Souk Ahras et à 537 km à l'est d'Alger, Elle fait partie de la moyenne Seybouse (si on fait abstraction du dernier point de prélèvement au niveau de l'Oued Seybouse et qui est situé dans le bassin versant de la basse Seybouse).

La wilaya de Guelma, région à vocation essentiellement agricole a connu ces dernières années un important essor industriel. L'intensité agricole avec l'entrée en activité du périmètre irrigué Guelma – Bouchegouf a engendré une forte pollution en éléments nutritifs des eaux de surfaces et souterraines.

Les rejets liquides d'origine domestiques et industriels générés par la ville de Guelma, des Communes de Medjez Amar, El Fedjoudj, Heliopolis, Belkheir, Boumahra et Bouchegouf, sont déversés directement dans l'oued Seybouse d'une façon précaire et sans traitement préalable, à l'exception de $\frac{3}{4}$ des rejets de la ville de Guelma qui se déversent dans l'Oued Skhoun et l'Oued Maiz, qui sont collectés et épurés par la station d'épuration de Guelma. Le reste des rejets qui représente le quart $\frac{1}{4}$ des rejets de la ville ne sont pas encore raccordés à la station de relevage N° 2 et par conséquent à la STEP.

Du point de vue géologie, La zone d'étude fait partie de la chaîne des Maghrébides d'Algérie orientale (la chaîne alpine d'Afrique du Nord). Cette chaîne fait partie de l'orogénèse alpine périméditerranéenne, d'âge Tertiaire elle est caractérisée par des formations allant du primaire jusqu'au Quaternaire, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement des alluvions, argiles, des grès, et des calcaires.

L'étude hydro géologique a montré que la plaine de Guelma renferme deux nappes importantes qui sont : La nappe de Hammam Bradâa et la nappe alluviale.

La cartographie piézométrique et son interprétation a permis de définir le sens de l'écoulement souterrain et a mis en évidence la relation existant entre l'oued et la nappe. Durant la période des hautes eaux (Avril, 2009) la nappe alimente l'Oued et l'écoulement se faisait généralement du Sud vers le Nord.

Suite à cette alimentation Oued-nappe et inversement, les nappes alluviales de Guelma et de Bouchegouf sont très vulnérables à tous type de pollution surtout agricole

Sur le plan Hydro climatologique, la région de Guelma est soumise à un climat semi aride à tempéré caractérisé par un hiver doux et un été sec. Les pluies moyennes annuelles sont de l'ordre de 602.2 mm, alors que la température moyenne annuelle est de 18.3° C.

La formule de Thornthwaite, a permis l'estimation de l'ETR qui montre qu'une grande partie des précipitations est reprise par l'évapotranspiration (450.3 mm pour Belkheir, 431.1 mm pour Hammam Debagh et 461.4.mm pour la station de Bouchegouf).

Les proportions des ruissellements représentent vis-à-vis des précipitations respectivement pour les stations de Belkheir, H.Débagh et Bouchegouf 11.96%, 9.57% et 12.39% et pour l'infiltration : 12.28%, 13% et 12.60%.

Le calcul du bilan hydrique a montré pour les trois stations que les quantités d'eau ruisselées et infiltrées sont très faibles comparées à celles évaporées et ceci est en étroite corrélation avec le climat de la région qui est semi aride à tempéré.

Les faciès chimiques des eaux de surfaces de la région d'étude sont diversifiés, le faciès chloruré calcique- sodique indiquant une prédominance et un excès en chlorures, le sulfaté sodique indique le lessivage des formations gypsifères existantes dans la région d'étude.

Le faciès bicarbonaté sodique est du principalement à la dissolution des Cipolins de la région d'étude et le bicarbonaté calcique est en relation avec la présence des calcaires travertins qui sont à l'origine du calcium et des bicarbonates.

La classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation et le Diagramme de Richards ont montré que les eaux de la région d'étude sont classées en deux catégories :

- des eaux appartenant à une catégorie convenant à l'irrigation des cultures tolérantes en sels sur des sols bien drainés, cependant l'évolution de la salinité du sol irrigué doit être contrôlée.
- des eaux appartenant à une classification médiocre, elles sont considérées comme fortement minéralisées et pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces tolérantes au sel et sur des sols lessivés.

Selon la classification des eaux par la méthode de Wilcox, les résultats montrent que les eaux de l'oued Seybouse appartiennent aux trois classes suivantes: Bonne, Médiocre et Mauvaise :

- La classe Bonne concerne les eaux pouvant être utilisées sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes en sels.
- La classe Médiocre caractérise des eaux fortement minéralisées, pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes en sel sur des sols bien drainés et lessivés.

- La classe Mauvaise concerne le type d'eaux correspondant à des eaux ne convenant pas à l'irrigation mais pouvant être utilisées sous certaines conditions.

Le calcul de la Biodégradabilité par le biais du rapport DCO/DBO₅ a montré une origine diversifiée de la pollution dans la région d'étude.

- Une pollution agroalimentaires, avec un rapport de l'ordre de 1,5 à 2, ce qui traduit une meilleure biodégradabilité, due au lessivage agricole du périmètre d'irrigation Guelma-Boucheougouf et aux activités agroalimentaires au niveau des communes de Hammam Débagh, Charef, Medjez Amar, et Boucheougouf.

- Une pollution à dominance domestique, avec un rapport compris entre 2 et 3, suite aux rejets domestiques des agglomérations des communes d'El Fedjoudj, Belkheir, Boumahra, Hammam N'bails et Boucheougouf.

- Une pollution d'origine industrielle, plus ou moins difficilement biodégradable présentant un rapport supérieur à 3, caractérisant le point de prélèvement représentant le lieu de rejet de la ville de Guelma (rejets industriels de la zone industrielle de la Cité des Frères Rahabi) et Boumahra Ahmed.

L'indice de pollution organique a montré que la région d'étude se caractérise par une pollution organique forte enregistrée au niveau de la majorité des points de prélèvements, due à un apport d'azote et de phosphate lessivé par les eaux au niveau des parcelles agricoles.

La classification de la qualité minérale des eaux de la région a montré que vis-à-vis de la qualité minérale, les eaux de la Seybouse et ses affluents sont d'une qualité moyenne, prêtes à être utilisées après un simple traitement.

Exception faite pour les eaux d'Oued Maleh qui se caractérisent par une forte minéralisation avec un excès en Chlorures traduisant ainsi une eau de mauvaise qualité.

La classification de la qualité organique vis-à-vis de l'oxygène dissous, montre que les eaux de la région d'étude présentent une pollution classée moyenne.

Vis-à-vis de la DBO₅, les résultats des analyses montrent que la majorité des points présentent des concentrations très élevées, représentant ainsi une pollution excessive dépassant la norme tolérée.

Concernant la DCO, la majorité des points analysés de la zone d'étude sont classés dans la catégorie moyenne, sauf dans la partie centrale de la région d'étude qui présente une mauvaise qualité.

Pour les matières oxydables, la majorité des points de prélèvements présentent une pollution importante, ceci indique la présence d'une pollution domestique due aux rejets urbains et parfois industriels déversés directement dans le milieu aquatique.

Pour les matières azotées, dans la partie amont de la zone d'étude, les valeurs des éléments nutritifs sont classées dans la catégorie mauvaise.

Dans la partie centrale de la zone d'étude, les nutriments sont mentionnés dans la classe Mauvaise à très mauvaise vis-à-vis des nitrates qui peuvent avoir comme origine des engrais azotés utilisés en agriculture, représentant ainsi les impacts du périmètre irrigué Guelma Bouchegouf.

La pollution par les matières phosphorées touche l'ensemble des points de prélèvements, Les eaux sont de très mauvaises qualités et ceci est du principalement à une présence excessive d'ortho phosphates dans les eaux de la zone d'étude, en raison des rejets domestiques et des activités agricoles (engrais azotés) au niveau de périmètre d'irrigation Guelma-Bouchegouf.

Vis-à-vis des éléments traces métalliques, selon les normes de la Grille utilisée pour signaler les problèmes des ETM, le Fer se caractérise par une qualité excellente à moyenne, contrairement aux valeurs du Cd qui dépassent la norme toléré dans tous les points de prélèvements et appartiennent à la dernière classe (pollution importante).

L'origine du cadmium doit être recherchée dans les effluents industriels (galvanoplastie, en particulier), des incinérations de déchets, et aussi l'utilisation d'engrais chimiques.

Le Mn dans certains points de prélèvements de la partie centrale de la zone d'étude se caractérise par des fortes teneurs, correspondant à la classe mauvaise à très mauvaise et inacceptable au niveau de Oued Maiz.

Les eaux de l'oued Seybouse sont d'une qualité mauvaise vis-à-vis du Cu et moyenne vis-à-vis du Cr.

L'analyse en composante principale a permis de définir des zones de contamination homogènes.

L'ACP a permis de mettre en évidence une contamination organique et métallique marquée beaucoup plus au niveau de la partie centrale de la région d'étude Oued Skhoun et Oued el Maiz caractérisant les points de rejets de la ville de Gulema et Belkheir.

Références Bibliographiques

1. A.B.H., (2005). Les cahiers de l'agence. Les eaux souterraines dans le bassin de la Seybouse, *Rapport interne* 1- 46.
2. Aissaoui M., Benhamza M., Guettaf M. (2017). Caractéristiques Hydro chimiques des eaux de l'Oued Seybouse et ses affluents dans la région de Guelma Nord est Algérie. *Rev. Sci. Technol.*, Synthèse 35: 178-186.
3. Ayers, R.S., Westcot, D.W. (1994). Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and drainage paper. N° 29 Rev. 1 FAO, Rome. 174 p.
4. Bahri A., (1987). L'utilisation des eaux usées et des boues résiduares en agriculture : l'expérience tunisienne. Compte rendu du séminaire sur les eaux usées et milieux récepteurs. Casablanca (Maroc), 9-11 Avril. pp. 1-19.
5. Bahroun S., (2007). Impacts des eaux usées urbaines et industrielles sur les eaux naturelles dans la région d'el Tarf. Mémoire de Magister en Hydrogéologie, IST, Université Annaba, Algérie.
6. Bechiri N., (2011). Evolution du chimisme des eaux de surface et souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Nord-est Algérien). Mémoire de Magister en qualité des eaux et impact sur l'homme et l'environnement. Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
7. Bedou Y., (2014). Evaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « *Allium cepa* ». Thèse de doctorat, université Badji mokhtar Annaba, Algérie, 113 p.
8. Bekkouche M.F., (2016). Caractéristiques hydro chimiques des sources thermales de l'extrême Nord est Algérien. Thèse de doctorat En Sciences soutenue à l'université d'Annaba le 18/12/2016, 178 p.
9. Benhamza et al, (2015). Contamination par les micropolluants métalliques des eaux souterraines de la région d'Azzaba, Nord est Algérie ». *Larhyss Journal*. ISSN 1112-3680, N°21, Mars 2015, pp. 149-157.
10. Benmarce K., (2007). Caractéristiques physico-chimiques et isotopiques des eaux souterraines dans la région de Guelma (N.E Algérien). Mémoire de Magister en Hydrogéologie, IST, Université Badji Mokhtar Annaba.

11. Benmarce K., (2015). Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines dans la région de Guelma, Nord-est Algérien. Thèse doctorat université Badji Mokhtar Annaba, (Algérie).
12. Brahmia N., (2016). Evaluation et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant de la moyenne Seybouse, Nord-est, Algérien. Thèse de doctorat en hydrogéologie. Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
13. Brennan, R.F. et Bolland, M.D.A. (2004). Comparing Manganese Sources for Spring Wheat Grown on Alkaline Soils. *J. Plant Nutrition*, 27: 95-109.
14. Castany G., (1982). Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod université. 237 p
15. Chaoui W., (2007). Impacts de la pollution organique et chimique des eaux de l'Oued Maleh sur les eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (Guelma). Mémoire de Magister en Hydrogéologie, IST, Université Badji mokhtar Annaba, Algérie.
16. Chapman D. Et Kimstach V. (1996). Selection of water quality variables. *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring*, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, pp. 59-126.
17. Chocat B., (1997). Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Ed. Tec & Doc., 1124 p.
18. Chouabbi A., (1987). Etude géologique de la région de Hammam N'bails Sud est de Guelma-Constantine, Algérie, un secteur des Maghrébides, th. Univ. Toulouse. 35-49
19. Cornaz S., (2004). Evaluation du statut trophique d'un canal de drainage sous l'impact des pollutions d'origines diffuses et ponctuelles : cas du Grand Canal de la basse plaine du Rhône. Mémoire de licence. Université de Lausanne, Suisse, 180 p.
20. Daresté de la Chavane., (1910). Étude spéciale des terrains tertiaires de la région de Guelma et établissement de deux cartes, feuille de Guelma (n° 54) et de Gounod (la Mahouna, Ain Larbi ou même Abdi) (n°76).
21. Debbieche T.H., (2002). Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la base plaine de Seybouse Nord-Est Algérien. Thèse de Doctorat en Hydrogéologie et Environnement. Université de Franche compte, France.
22. De Martonne E., (1923). Aréisme et indice d'aridité. *Comptes rendus de l'académie des sciences*, Paris 182 : 1395-1398.

23. Djabri L., (1996). Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de l'Oued Seybouse, origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Thèse de doctorat d'état en Hydrogéologie, IST, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
24. Durand Delga., (1969). Mise au point sur la structure du Nord-est de la Berbérie. Publ. Serv. Géol. Algérie, n°39, 89-131. Alger, Algérie.
25. Faby J.A., (2003). L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Doc. Tech. FNDAE, Hors-série n° 11, 30 p.
26. FAO, (1990). Programme international d'action concernant l'eau et le développement agricole durable. Rome.
27. FAO, (1993). Problématique des ressources en Eau et Agriculture.
28. Gaud B., (1976). Etude hydrogéologique de la nappe alluvionnaire de Guelma. Rapport interne. 318-333
29. Ghachi A., (1986). Use of water Resources in Algeria: The Basin Seybouse, Office des Publications Universitaires, Algiers.
30. Guettaf M., (2015). Caractéristiques Hydro chimiques et évaluation des indicateurs de pollution dans l'environnement : Cas de l'Oued Seybouse et ses affluents dans le sous bassin de Guelma (Nord-est Algérien). Thèse de doctorat en Sciences biologiques. Université 8 Mai 45 Guelma.
31. <https://www.lenntech.fr/applications/irrigation/qualite/irrigation/qualite-eau/irrigation.htm>
32. Ilavsky et Snopkava., (1987). Première datation du Trias détritique d'Algérie septentrionale, dans la région de Guelma. *C.R. Acad. S., ser. II*, t. 305, pp. 379-401, Paris
33. Kachi N, (2015). Impact du périmètre irrigué sur la qualité des eaux souterraines dans le bassin versant de la Seybouse. Thèse de doctorat en Hydrogéologie. Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
34. Khadri S., (2018). La qualité des rejets urbains par temps de pluie dans un bassin versant urbanisé (B.V de la Seybouse). Thèse de Doctorat en Hydrogéologie. Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
35. Lahondère, 1987 ; Lahondère J.C., (1987). Les séries ultra telliennes d'Algérie nord orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural. Th. Doct. Es sciences. Université Paul Sabatier, Toulouse. 1- 242. »
36. Landreau A., (1987). La réutilisation des eaux usées épurées par le sol et le sous sol : Adéquation entre la qualité de l'eau, l'usage et la protection du milieu naturel.

- Séminaire sur les eaux usées et milieu récepteur, Casablanca (Maroc), 9-11 Avril. Chap. 5, pp. 1-13.
37. Lasat M M., (2002). Phyto extraction of toxic metals: a review of biological mechanisms. *Journal of Environmental Quality*, 31. 20-109.
38. Louamri A., (2013). Le bassin versant de la Seybouse (Algérie Orientale) : Hydrologie et Aménagement des eaux. Thèse de doctorat en Hydrologie, Université de Constantine 1, Algérie.
39. Mansouri Z., (2009). les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (Nord-est Algérien). Mémoire de Magistère. Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie 125p.
40. Mouassa S, (2006), Impact de périmètre d'irrigation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe alluviale de Guelma et sur les sols. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
41. Mouchara M., (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 Algérien). Mémoire de Magistère. Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
42. Nisbet M., & Verneaux, J., (1970). Composants chimiques des eaux courantes : Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annls. Limnol.* 6(2). pp. 161-190.
43. Nouar T., (2007). Impacts de la pollution sur les eaux superficielles et souterraines de la région de Guelma. Thèse de Doctorat d'état en Hydrogéologie, IST, université de Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
44. ONA, (2017) : fiche technique assainissement de la wilaya de Guelma. 1-8 p
45. Pescod M.B. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture. Publication FAO, irrigation & drainage N° 47. 117 p.
46. Pescod, M.B. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture. FAO irrigation and drainage paper n°47, FAO, 156 p.
47. Ratel C., Nejjar, A. et Bentaleb, M. (1986). La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation au Maroc : Cas de la ville de Marrakech. Séminaire sur les technologies appropriées pour l'eau et l'assainissement en zones arides, Rabat (Maroc), 24-28 Novembre. pp. 31-44.
48. Ratel C., Nejjar, A. et Bentaleb, M. (1986). La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation au Maroc : Cas de la ville de Marrakech. Séminaire sur les technologies

- appropriées pour l'eau et l'assainissement en zones arides, Rabat (Maroc), 24-28 Novembre. pp. 31-44.
49. Rhoades, J.D., (1992). The use of saline waters for crop production. FAO irrigation and drainage paper n° 48, FAO, Rome.
50. Richards, L. A., (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook 60, USDA, Washington D.C, 160 p.
51. Rodier, J., (1996). l'analyse de l'eau ; eaux naturelles, eaux résiduelles, eaux de mer. 8^{ème} édition Dunod Paris, France.
52. RODIER J., (1984). : Analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduelles, Eau de mer : Physico-chimie, bactériologie, Biologie, 7^{ème} éd Dunod. Paris, 1365 pages.
53. Slatni I., (2014). Etude de la destruction ou la perturbation des espèces végétales par la pollution. Mémoire de Magister en chimie physique et analytique, Université de M^{ed} Cherif Messaadia Soug Ahras.
54. Sogréah., (Société française d'ingénierie). (2005). Etude d'actualisation et de finalisation du plan national de l'eau. Région hydrographique Centre et Est- Rapport de mission 2, volet 6 : hydrogéologie. vol 2, 164 -168.
55. Scokart, P.O., Meeus-Verdinne, K. et De Borger, R. (1983) Mobility of heavy metals in polluted soils near Zinc Melters. *Water, Air and Soil pollution*. 20:436-451.
56. Tamrabet L., (2011). Contribution a l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage. Thèse de doctorat en Hydraulique. Université Hadj Lakhdar Batna.
57. Thornthwaite C.W., (1948). An approach towards a rational classification of climate. *Geographical review*. 38, 55-596
58. Toubal, A., (1984). Contribution à l'étude des Minéralisations Antimonifères du N.E. Algérien, thèse de Doctorat, Université de Paris VI.
59. Villa, J.M., (1971). Paléogéographie et tectonique des unités allochtones du type tellien et de type flysch à micro brèches dans le Nord-est (Algérie). *C.R. Acad. Sc. (D)*, t. 272, p. 1047-1050, 1 fig., Paris.
60. Vila, J.M., (1980). la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-Tunisiens. Thèse doctorat, université de Pierre et Marie Curie, Paris VI (France)
61. wilaya-guelma.dz/population/ (site web)
62. Wilcox, L.V., (1948). The quality of water for agricultural use. US Dept Agriculture Tech. Bull. 1962, Washington D.C.

63. Zouita, N., (2002). Etude de la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher (Nord-est Algérien). Mémoire de Magister en Hydraulique. Université de Batna.97p.