

**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: 2019**

## **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**

**IMPACT DE L'IRRIGATION SUR LA QUALITE DES EAUX  
SOUTERRAINES – CAS DU PERIMETRE IRRIGUE  
GUELMA - BOUCHEGOUF**

**Présenté par:**  
**TOUATI Mounira**

**Dirigé par:**  
**Pr BENHAMZA Moussa**

#### **Jury de soutenance:**

**Président :** LARABA Abdelaziz

**Pr U.B.M Annaba**

**Directeur :** BENHAMZA Moussa

**Pr U.B.M Annaba**

**Examineur:** GHERIEB Lassaad

**MCA Université 8 Mai 45 Guelma**

**Examineur:** DERRADJI El Fadel

**Pr UBM Annaba**

**Examineur:** BOUGHERIRA Nabil

**MCA U.B.M Annaba**

## Remerciements

**L**e seul moyen de se délivrer d'une tentation, c'est d'y céder paraît-il ! Alors j'y cède en disant un grand Merci aux personnes qui ont cru en moi et qui m'ont permis d'arriver au bout de cette thèse.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à monsieur le Professeur Benhamza Moussa, qui fut pour moi un directeur de thèse attentif et disponible malgré ses nombreuses charges. Sa compétence, sa rigueur scientifique et sa clairvoyance m'ont beaucoup appris. Ils ont été et resteront des moteurs de mon travail de chercheur.

**J**'exprime tous mes remerciements à l'ensemble des membres de mon jury  
Monsieur :  
Laraba Abdelaziz, Bougherira Nabil,  
Derradji El Fadel et Ghrieb lassaad

**J**'adresse toute ma gratitude à tous mes ami(e)s et à toutes les personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail. Je remercie toutes les personnes formidables que j'ai rencontrées, Merci pour votre support et vos encouragements.

**E**nfin, les mots les plus simples étant les plus forts, j'adresse toute mon affection à ma famille, et en particulier mon mari, mon fils Taïm, mes frères et mes sœurs et à ma maman qui m'a fait comprendre que la vie n'est pas faite que de problèmes qu'on pourrait résoudre grâce à des formules mathématiques et des algorithmes, leur intelligence, leur confiance, leur tendresse, leur amour me portent et me guident tous les jours. Merci pour avoir fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Est-ce un bon endroit pour dire ce genre de choses ? Je n'en connais en tous cas pas de mauvais. Je vous aime.

**U**ne pensée pour terminer ces remerciements pour toi qui n'a pas vu l'aboutissement de mon travail mais je sais que tu en aurais été très fier de ta fille !!!

**À** mes parents, et à tous ceux que je ne nomme pas, mais qui se reconnaîtront



## Résumé

S'étendant sur environ 80 km d'Est en Ouest, le **périmètre irrigué Guelma-Boucheougouf** est situé au Nord-est de l'Algérie. Il s'étend sur les deux rives de l'Oued Seybouse et il est composé de cinq unités indépendantes. Il est considéré comme un centre agricole très important et très réputé au niveau national depuis sa mise en exploitation en 1996.

La présente étude a été réalisée en adéquation avec l'exploitation du périmètre irrigué, à travers le suivi spatio-temporel de plusieurs paramètres physico-chimiques, organique et métalliques.

A cet effet deux campagnes de prélèvements d'échantillons d'eau et de sédiments ont été effectuées dans la zone d'étude. La première a été réalisée au niveau de quatorze (14) puits peu profonds pendant la période des basses eaux (Octobre 2017), la deuxième en Novembre 2018 au niveau de six (06) points de prélèvements dans les sédiments et a consisté à prélever le sol de la couche de 0 à 60 cm de profondeur.

Les résultats des analyses chimiques montrent que les eaux de puits de la région présentent les faciès Sulfaté-calcique, Chloruré-sulfaté-calcique et Chloruré – sodique. La minéralisation globale des eaux est très élevée avec des concentrations supérieures aux normes recommandées par l'OMS.

Du point de vue qualité, les eaux des puits de la zone d'étude présentent des valeurs excessives en éléments majeurs ( $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ), en composés azotés ( $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $NH_4^+$ ) et en phosphates ( $PO_4^{3-}$ ).

Les éléments traces métallique analysés dans les eaux souterraines montrent que le Fer, le Zinc, le cuivre, le manganèse et le chrome se caractérisent dans les eaux par une qualité bonne à mauvaise, contrairement les valeurs du Pb et du Cd dépassent les normes tolérées dans tous les points de prélèvements et caractérisent les eaux par une pollution excessive.

Les résultats des analyses des sols ont été comparés à des valeurs de références et ont montré que les sols étudiés présentent une texture sablo-limoneuse avec un pH moyennement alcalin pour la majorité des points analysés. Les résultats de la conductivité électriques des sols sont compris dans la fourchette 1000 à 2000  $\mu S/cm$ , correspondant à des sols salés.

Les sols de la région présentent des valeurs excessives en azote total, ammonium, nitrates, phosphore et en potassium.

Les histogrammes  $pH_{sol}$  vs  $pH_{eau}$  ;  $CE_{sol}$  vs  $CE_{eau}$  ;  $NO_3^-_{sol}$  vs  $NO_3^-_{eau}$ ,  $P_{sol}$  vs  $P_{eau}$ , montrent des corrélations très fortes, avec des coefficients de Pearson forts à très forts variant de 0.78 et 0.82. Ces coefficients mettent en évidence les phénomènes de nitrification et de dénitrification dans les eaux et les sédiments vis-à-vis des nutriments.

L'analyse en composante principale dans les eaux souterraines a pu mettre en évidence les pollutions agricoles et industrielles. Dans les sédiments elle a permis de définir des zones de contamination homogènes et a permis ainsi d'individualiser les sédiments en relation avec leurs minéralisations et leurs teneurs en nutriments dans les différents secteurs du périmètre irrigué.

**Mots clés :** Périmètre irrigué Guelma-Boucheougouf, Irrigation, Eaux souterraines, Sédiments, Normes, Pollution.

## Abstract

Extending about 80 km from East to West, **the irrigated Guelma-Boucheougouf perimeter** is located in the North-east of Algeria. It has been promoted since 1996 as an irrigable area of 9250 hectares (ha). It spans over both banks of the Seybouse Wadi and is subdivided into five independent units.

The purpose of the present study is based on following the temporal and the spatial changes of different physicochemical, organic, and metallic elements. In order to assess groundwater and sediments quality, two phases were organised, on the first phase the physicochemical and organic analyzes were carried out during the low flow period (October 2017) at fourteen shallow wells within the Guelma-Boucheougouf irrigation area. On the second phase, (November 2018) the samples were taken on the level of 6 points of sediments by grabbing soil from the layer of 00 to 60 cm in thickness.

Chemical analyzes results show that the study area is dominated by chloride-sodium, sulphate-calcium and chloride-sulphate-calcium water types. Concerning the general state of mineralization of waters, is too high compared with the standards set by the WHO.

From a quality point of view, groundwater is moderately to highly contaminated by major elements ( $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ), nitrogen compounds ( $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $NH_4^+$ ) and phosphates ( $PO_4^{3-}$ ).

The analysis of the mineral elements in the ground water showed that the rate of iron, zinc, copper, manganese, and chromium are classified from good to poor quality and that is contrary to the rate of Pb and Cd which exceeded the admissible standards and by that is considered as a highly polluted.

The results of the analysis made on the soil was compared to the standard rates and it showed that the soil has sandy-loam texture with a basic pH rate in almost of the points that were analysed. The result of the electric conductivity of the soil is about 1000 to 2000  $\mu S/cm$  which indicated it is a salty soil. The results have shown also that the soil of the studied region contain a high values of total Nitrogen, Ammonium, Nitrates, Phosphorus, and Potassium. Histograms pH\_sol vs pH\_water; CE\_sol vs CE\_water ;  $NO_3^-$ \_sol vs  $NO_3^-$ \_water, P\_sol vs P\_water, show very strong correlations, with strong to very strong Pearson coefficients ranging from 0.82 to 0.78. These coefficients highlight the phenomena of nitrification and denitrification in water and in sediments regarding to nutrients.

Principal component analysis used on the analysis of the ground water, the agricultural and the industrial pollution was proved. On the other hand the analysis of the soil marked the polluted regions in homogeneous manner. In addition, the study presented the relation of the sediment with its mineralization degree and also how much it contains nutrient contents on the different sectors of the irrigated perimeter.

**Key words:** Guelma-Boucheougouf irrigated perimeter, Irrigation, Groundwater, Sediments, Standards, Pollution.

## ملخص

يقع المحيط المسقي قالمة – بوشقوف في شمال شرق الجزائر حيث يبلغ طوله حوالي 80 كلم أين يمتد عبر ضفتي وادي سبيوس ويتكون من 05 وحدات مستقلة.

كما يعتبر عنصرا فلاحيا مهما جدا وذو شهرة وطنية وهذا منذ وضعه حيز الاستغلال سنة 1996.

هذه الدراسة أجريت بالارتباط مع استغلال محيط السقي وهذا من خلال متابعة التغيرات الزمانية والمكانية لعدة عناصر فيزيوكيميائية، عضوية ومعدنية.

لهذا الغرض تم القيام بحملتين لأخذ العينات من المياه والرواسب في منطقة الدراسة حيث تم خلال المرحلة الأولى أخذ العينات من 14 بئر سطحي أثناء فترة انخفاض المياه (أكتوبر 2017)، وخلال المرحلة الثانية (نوفمبر 2018)، تم أخذ العينات على مستوى 06 نقاط من الرواسب عبر استخراج التربة من الطبقة ذات السمك من 00 إلى 60 سم.

أظهرت نتائج التحاليل الفيزيوكيميائية بأن مياه ابار هذه المنطقة ذات طبيعة كلسية – كبريتية، كلور يديية – كبريتية – كلسية، وكلور يديية – صوديوم.

فيما يخص الخالة العامة لتمدن المياه فإنها مرتفعة جدا مع تسجيل تراكيز أعلى من تلك الموصى بها من طرف المنظمة العالمية للصحة.

من حيث النوعية فإن مياه ابار منطقة الدراسة أظهرت قيم عالية من حيث العناصر الرئيسية

( $PO_4^{3-}$ ) وكذلك الفوسفات ( $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $NH_4^+$ )، المركبات الازوتية ( $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ )

بخصوص العناصر المعدنية في المياه الجوفية فقد تبين من خلال معاييرها بأن نسب الحديد، الزنك، النحاس، المنغنيز والكروم يمكن تصنيفها على أنها ذات نوعية من جيدة إلى رديئة وه ذا على عكس نسب الرصاص والكاديميوم التي تخطت المعايير المسموح بها على مستوى جميع نقاط أخذ العينات حيث تعتبر ذات تلوث عالي.

نتائج التحاليل أجريت على مستوى التربة تمت مقارنتها بالقيم المرجعية وقد أظهرت بأن التربة ذات نسيج رملي – غريني مع نسب pH قاعدية في معظم النقاط التي تمت معاييرها.

نتائج الناقلية الكهربائية للتربة تراوحت ما بين 1000 إلى 2000  $\mu S/cm$  والتي تدل بإنها تربة ملحية.

نتائج التحاليل التي أجريت على مستوى تربة المنطقة أسفرت على قيم عالية من الازوت الكلي، الامونيوم، النترات، الفسفور والبوتاسيوم.

الرسومات البيانية لـ: pH التربة – pH المياه، ناقلية التربة – ناقلية المياه،  $NO_3^-$  التربة –  $NO_3^-$  المياه، فسفور التربة – فسفور المياه، أظهرت علاقة جد عالية مع تسجيل معامل بيرسون من عالي إلى عالي جدا حيث تراوحت القيم ما بين 0.78 إلى 0.82، والتي من خلالها تم إبراز الترثرة وإزالة النتريجة على مستوى المياه والترسبات بالنسبة للمغذيات.

من خلال نتائج التحاليل التي تم إجراؤها على مستوى المياه الجوفية تم إبراز مستوى التلوث الفلاحي والصناعي أما فيما يخص النتائج المسجلة من خلال تحاليل التربة فقد تم تعيين مناطق ملوثة بشكل متجانس كما تم إبراز علاقة الترسبات مع درجة تمدنها وكذلك مدى احتوائها على المغذيات عبر مختلف نقاط محيط السقي.

## الكلمات الدالة :

محيط السقي قالمة – بوشقوف، سقي، مياه جوفية، ترسبات، معايير، تلوث.

## Table des matières

Résumé	
Abstract	
المخلص	
Remerciement	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	

### CHAPITRE I : CADRE GÉNÉRAL

I. Situation géographique .....	4
I.1. Situation régionale.....	4
II. Géomorphologie générale.....	5
III. Hydrologie.....	6
IV. Ressources en eau de la région d'étude .....	8
IV.1. Ressource en eau de surface .....	8
IV.1.1. L'apport de l'oued Seybouse .....	8
IV.1.2. Barrages et Retenues collinaires .....	8
V. Contexte socio-économique .....	10
V.1. Couvert végétal.....	10
V.2. Agriculture et production végétale .....	11

### CHAPITRE II : CADRE GÉOLOGIQUE

Introduction .....	13
I. Cadre géologique régional .....	13
II. Cadre géologique local .....	13
II.1. Stratigraphie des différentes unités structurales .....	15
II.1.1. Les formations récentes (Post-nappes).....	16
II.1.2. Le domaine allochtone .....	16
II.1.3. Le domaine para-autochtone .....	20
II.2. Le cadre structural.....	21
II.2.1. La phase fini-éocène dite « atlasique » .....	21
II.2.2. La phase miocène inférieure .....	21
II.2.3. La phase tectonique post-nappe .....	21

II.3. Reconstitution paléogéographique .....	22
Conclusion.....	23

### **CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE**

Introduction .....	25
I. Climatologie de la zone d'étude.....	25
II. Variations des facteurs climatiques .....	26
II.1. Les précipitations .....	26
II.1.1. Précipitations moyennes mensuelles .....	26
II.1.2. Précipitations saisonnière .....	27
II.1.3. Précipitations moyennes annuelles.....	27
II.1.4. Le coefficient pluviométrique .....	28
II.2. La température .....	30
III. Type de climat.....	30
III.1. Indice de l'UNESCO (1977).....	30
III.2. Indice d'aridité d'Emberger.....	31
III.3. Diagramme ombro thermique de Gaussen (P=2T).....	33
IV. Le Bilan hydrique.....	34
IV.1. L'évapotranspiration .....	34
IV.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP) .....	34
IV.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR).....	35
IV.2. Interprétation du bilan : .....	36
IV.2. Estimation de l'écoulement .....	40
IV.3. Estimation de l'infiltration .....	40
Conclusion.....	41

### **CHAPITRE IV : CADRE HYDROGÉOLOGIQUE**

Introduction .....	42
I. Identification des aquifères .....	42
I.1. Les nappes de la plaine de Guelma .....	42
I.1.1. Aquifère des alluvions Mio-Plio Quaternaires de Guelma.....	42
I.1.2. Aquifère des formations carbonatées dans la région d'Héliopolis-El Fedjoudj .....	45
I.2. Nappes de la plaine de Bouchegouf .....	47
II. La piézométrie .....	48
II.1. La carte piézométrique.....	48

II.2. Piézométrie de l'aquifère alluvionnaire de Guelma.....	49
II.3. Piézométrie de la nappe alluviale de Bouchegouf .....	50
Conclusion.....	51

## **CHAPITRE V : CARACTÉRISTIQUE DU PÉRIMÈTRE IRRIGUÉ GUELMA-BOUCHEGOUF**

Introduction .....	52
I. Présentation du Périmètre d'irrigation Guelma-Bouchegouf .....	52
II. Evaluation des besoins en eau pour l'irrigation.....	53
II.1. Ressource en eau.....	54
II.1.1. Volume annuel d'eau pompé de l'oued Seybouse .....	55
II.2. Mode d'irrigation .....	55
II.2.1. L'irrigation par aspersion .....	55
II.2.2. L'évolution des superficies irriguées .....	56
II.2.3. Schéma de distribution de l'eau d'irrigation .....	56
II.2.4. Consistance du périmètre d'irrigation .....	57
II.2.5. Stations de pompage.....	58
II.2.6. Principe de fonctionnement des installations .....	58
III. Analyse Agro- pédologique .....	59
III.1. Evaluation des sols du périmètre irrigué .....	59
III.1.1. Propriété physique du sol du périmètre irrigué.....	59
III.2. Les systèmes cultureux .....	63
III.2.1. Les assolements .....	63
III.2.2. La rotation .....	63
IV. les engrais .....	63
IV.1. Les engrais les plus utilisés dans la zone d'étude .....	63
Conclusion.....	65

## **CHAPITRE VI : HYDROCHIMIE**

Introduction .....	66
I- Hydrochimie des eaux souterraines .....	66
I.1. Méthodes et stratégie de travail.....	66
I.1.1 Prélèvements.....	66
I.1.2. Matériels et méthodes d'analyse.....	66
I.1.3. Mesures in situ .....	66



I.1.4. Analyse des éléments chimiques .....	66
I.1.5. Inventaire des points de prélèvements .....	67
I.2. Résultats et interprétations .....	68
I.2.1 Distribution spatiale des paramètres physico-chimiques.....	68
I.2.2. Eléments métalliques en traces .....	84
I.2.3. Classification et interprétation de la qualité des eaux souterraines :.....	90
I.2.4. Analyse en Composantes Principales .....	96
II. Hydrochimie dans les sédiments .....	104
II.1. Méthodes et stratégie de travail .....	104
II.1.1. L'échantillonnage.....	104
II.1.2. Matériels et méthodes.....	104
II.1.3. Analyse des éléments .....	104
II.1.4. Inventaire des points de prélèvements.....	104
II.2. Résultats et interprétations .....	105
II.2.1. Analyse granulométrique et texture des sols.....	105
II.2.2. Caractéristiques des sols sablo-limoneux.....	106
II.2.3. Le pH des sols .....	106
II.2.4. La conductivité électrique .....	107
II.2.5. L'oxygène du sol.....	108
II.2.6. L'Azote.....	109
II.2.7. Nitrate.....	110
II.2.8. Nitrite .....	111
II.2.9. L'ammonium .....	112
II.2.10. Le phosphore (P) .....	112
II.2.11. Le phosphore assimilable .....	113
II.2.12. Le potassium .....	114
II.2.13.....	115
II.2.14. L'engrais NPK 15.15.15.....	116
II.4. Relation sol Versus eau souterraine .....	118
III. Analyse en Composantes Principales (Sédiments et eaux souterraines).....	122
III.1. Statistiques élémentaires.....	122
III.2. Matrice de corrélation.....	122
III.3. Analyse factorielle des données .....	124

III.4. Etude des variables .....	125
III.5. Cercles de corrélations des variables .....	125
III.6. Etude des individus.....	126
III.6.1. Représentation des individus .....	126
III.6.2. Projection des individus: Plan (F1-F2) .....	127
<b>Conclusion.....</b>	<b>128</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>130</b>
<b>Références Bibliographiques.....</b>	<b>133</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Retenues collinaires (DHW, Guelma).....	9
Tableau 2: Répartition des capacités d'eau souterraine par type .....	10
Tableau 3: Types de cultures, superficies agricoles et surfaces irriguées dans la région de Guelma en 2009 (DSA, 2012) .....	12
Tableau 4 : Caractéristiques géographiques et topographiques des stations pluviométrique .....	25
Tableau 5 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) (1997 - 2017) .....	26
Tableau 6 : Variation des précipitations saisonnières.....	27
Tableau 7 : Coefficients pluviométriques (station de Belkheir et Bouchegouf) (1997-2017) .....	29
Tableau 08 : Indice annuel d'aridité (A) .....	31
Tableau 9 : Indices d'aridité mensuels (IDM) .....	
Tableau 10: Résultat de l'ETR par la méthode de Turc, pour les stations de Belkheir et de Bouchegouf .....	35
Tableau 11 : Bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite pour la station de Belkhir (1997/1998 – 2016/2017) .....	37
Tableau 12 : Bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite pour la station de Bouchegouf (1997/1998 – 2016/2017) .....	37
Tableau N°13: Estimation selon la formule de TixerontBerkalof .....	40
Tableau N°14 : Estimation de l'infiltration .....	40
Tableau 15 : Description Hydrogéologique des formations de la plaine de Guelma....	
Tableau 16: Superficies des secteurs irrigués et leurs besoins en eau (ONID Guelma, 2016).....	53
Tableau 17: Répartition des surfaces agricoles totale et utile dans les communes du bassin de Guelma (Brahmia, 2016) .....	54
Tableau 18: La description des différents types de sols et leurs aptitudes culturales .....	61
Tableau 18 : La description des différents types de sols et leurs aptitudes culturales (suite).....	62
Tableau 19 : Types et quantités de fertilisants utilisés dans la wilaya de Guelma durant la Campagne (2005-2006). (Mouchara, 2007 et Kachi N., 2015) .....	64
Tableau 20 : Principaux engrais utilisés dans le périmètre Guelma-Boumahra.....	65
(Kachi N, 2015) .....	65
Tableau 21 : Localisation des points de prélèvements .....	67
Tableau 22: Echelle du Potentiel d'Hydrogène .....	69

Tableau 23 : Grille de classement des TDS dans les eaux .....	71
Tableau 24 : Grille utilisée pour l'évaluation de l'O <sub>2</sub> des eaux souterraines. (ANRH, 2012).....	73
Tableau 25 : Formules ioniques et faciès chimiques (méq/l) .....	80
Tableau 26 : Grille utilisée pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines. (ANRH, 2012) .....	91
Tableau 27 : Statistiques élémentaires des variables .....	96
Tableau 28 : Matrice de corrélation .....	97
Tableau 29 : Tableau de diagonalisation .....	98
Tableau 30 : Corrélation des variables avec les axes .....	99
Tableau 31 : Corrélation des individus avec les axes .....	101
Tableau 32 : Localisation des points de prélèvements dans les sédiments .....	105
Tableau 33 : Résultats de la granulométrie.....	106
Tableau 34: Le statut acido-basique des sols selon Durand J.H. (1983) .....	107
Tableau 35 : Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand J.H. (1983) ....	108
Tableau 36 : Référentiel des teneurs en oxygène dissous dans le sol selon l'échelle de Durand J.H. (1983).....	109
Tableau 37 : Classement d'appréciation de teneur en azote dans le sol (Riquier, 1966).....	110
Tableau 38 : Classement d'appréciation de la teneur en phosphore dans le sol (Riquier, 1966).....	113
Tableau 39: Normes du phosphore assimilable (Delaunoy, 2008).....	114
Tableau 40 : Seuils de richesse du potassium du sol (CRAAQ, 2003).....	115
Tableau 41 : Norme du potassium assimilable du sol (Delaunoy, 2008).....	116
Tableau 42 : Classification de Landsheere 1979.....	119
Tableau 43 : Statistiques élémentaires des variables .....	122
Tableau 44 : Matrice de corrélation .....	123
Tableau 45 : Valeurs propre des axes principaux.....	124
Tableau 46: Corrélations entre les variables et les axes principaux .....	125
Tableau 47 : Corrélation des individus avec les axes .....	126

## Liste des figures

Fig. N° 1 : Carte de la situation géographique de la zone d'étude (Touati, 2019).....	4
Fig. N° 2 : Carte des reliefs de la wilaya de Guelma (Touati, 2019).....	5
Fig. N° 3 : Carte du réseau hydrographique (Touati, 2019).....	7
Tableau 3: Types de cultures, superficies agricoles et surfaces irriguées dans la région de Guelma en 2009 (DSA, 2012) .....	12
Fig. N° 4 : Esquisse structurale de la région de Guelma (In Villa 1971, modifiée par Touati 2019) .....	14
Fig. N° 5 : Carte géologique de la zone d'étude (D'après Vila, 1980 in Benmarce, 2015).....	15
Fig. N° 6 : Coupe des différentes unités telliennes entre Bensmih et Bardou (Nouar, 2007 modifiée par Aissaoui 2018).....	19
Fig. N° 7 : Plan de position et coupures stratigraphiques des séries néritiques constantinoises (Vila, 1980) .....	20
Fig. N° 8 : Carte de localisation des stations pluviométriques dans la région d'étude (Touati, 2019) .....	25
Fig. N° 9 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles en (mm) sur une période de 20 ans (1997 - 2017) (Station de Belkheir et Bouchegouf ) .....	26
Fig. N° 10 : Répartition saisonnière des précipitations (Touati, 2019).....	27
Fig. N°11: Histogramme des précipitations moyennes annuelles (mm) Station de Belkheir et Bouchegouf (1997-2017) .....	28
Fig. N° 12 : Variation du coefficient pluviométrique (Stations de Belkheir et Bouchegouf) .....	29
Fig. N°13 : Températures moyennes mensuelles (°C), au niveau des Station de Belkeir et de Bouchegouf (1997/1998– 2016/2017).....	30
Fig. N° 14 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.....	32
Fig. N°15 : Courbe ombrothémique: station de Belkheir «1997-2017». ....	33
Fig. N°16 : Courbe ombrothémique: station de Bouchegouf «1997-2017». ....	34
Fig. N°17 : Représentation graphique du bilan hydrique (station de Belkhir) .....	38
Fig. N° 18 : Représentation graphique du bilan hydrique (station de Belkhir) .....	38
Fig. N°19 : Représentation graphique du bilan hydrique (station de Bouchegouf) ..	39
Fig. N°20 : Représentation graphique du bilan hydrique (station de Bouchegouf) ..	39
Fig. N° 21 : Coupe hydrogéologique au niveau de la plaine de Guelma (d'après B. Gaud, 1976) .....	44

Fig. N° 22 : Coupe hydrogéologique Nord-Sud dans la plaine de Guelma (D'après Brahmia, 2009, modifiée par Béchiri) .....	45
Fig. N° 23 : Coupe hydrogéologique Ouest-est (Nappe Hammam Bradâa) .....	46
Fig. N° 24: Coupe schématique illustrant la limitation de la zone non saturée et la zone saturée dans la plaine de Bouchegouf (Chaoui, 2007) .....	47
Fig. N° 25 : Coupe hydrogéologique N° 4 dans la région de Bouchegouf.....	48
(Chaoui, 2007).....	48
Fig. N° 26 : Carte piézométrique de l'aquifère alluvionnaire de Guelma (Touati Mai, 2017).....	49
Fig. N° 27 : Carte piézométrique de la nappe alluviale de Bouchegouf (Touati Mai, 2017).....	50
Fig. N°28 : Carte de la localisation du périmètre irrigué Guelma- Bouchegouf (Touati, 2019).....	52
Fig. N° 29: Carte des différents secteurs du périmètre d'irrigation Guelma- Bouchegouf.....	53
Fig. N° 30: Evolution des volumes d'eau consommés par année dans le périmètre de Guelma-Bouchegouf. (O.N.I.D, 2016).....	55
Fig. N°31 : l'irrigation par aspersion .....	56
Fig. N°32 : Evolution des superficies irriguées dans le périmètre de Guelma- Bouchegouf. (O.N.I.D, 2016).....	56
Fig. N°33 : Exemple du schéma de distribution de chaque secteur (ONID, 2016) ....	57
Fig. N° 34 : Carte des types des sols du périmètre irrigué Guelma-Bouchegouf (des quatre secteurs) (Touati, 2019).....	60
Fig. N° 35: Carte de situation des points de prélèvements .....	68
Fig. N° 36: Variation de la température dans les eaux de la région d'étude.....	69
Fig. N° 37: Evolution du pH des eaux de la région d'étude .....	70
Fig. N° 38 : Evolution de la conductivité électrique des eaux de la zone d'étude....	70
Fig. N° 39 : Evolution de la TDS dans les eaux de la zone d'étude .....	72
Fig. N° 40 : Evolution de la Turbidité dans les eaux de la zone d'étude.....	72
Fig. N° 41 : Variation des concentrations en O <sub>2</sub> dans les eaux de la zone d'étude ...	73
Fig. N° 42: Variation des concentrations en calcium dans les eaux de la région d'étude .....	74
Fig. N° 43: Variation des concentrations en Magnésium dans les eaux de la zone d'étude .....	75
Fig. N° 44 : Variation des concentrations en potassium dans les eaux de la zone d'étude .....	75

Fig. N°45 : Variation des concentrations en sodium dans les eaux de la zone d'étude .....	76
Fig. N° 46 : Variation des concentrations en chlorures dans les eaux de la zone d'étude .....	76
Fig. N° 47 : Variation des concentrations en bicarbonates dans les eaux de la zone d'étude .....	77
Fig. N° 48 : Variation des concentrations en sulfates dans les eaux de la zone d'étude .....	78
Fig. N° 49: Représentation des résultats des analyses chimiques sur le Diagramme de Piper.....	79
Fig. N° 50: Représentation graphique des faciès chimiques selon le diagramme de Stabler .....	81
Fig. N° 51 : Variation spatiale des concentrations en nitrates dans les eaux de la Zone d'étude .....	82
Fig. N° 52: Variation spatiale des concentrations en Nitrites dans les eaux de la zone d'étude .....	83
Fig. N° 53: Variation spatiale des concentrations en ammonium dans les eaux de la zone d'étude.....	83
Fig. N° 54 : Variation spatiale de concentrations en Phosphate dans les eaux de la zone d'étude.....	84
Fig. N° 55 : Variation des concentrations en Fer dans la zone d'étude.....	84
Fig. N° 56: Variation des concentrations en Manganèse dans la zone d'étude.....	85
Fig. N° 57 : variation des concentrations en Zinc dans la zone d'étude.....	86
Fig. N° 58 : Variation des concentrations en Plomb dans la zone d'étude .....	86
Fig. N° 59: Variation des concentrations de Nickel dans la zone d'étude.....	87
Fig. N° 60 : Variation des concentrations en Cadmium dans la zone d'étude .....	88
Fig. N° 61 : Variation des concentrations en Aluminium dans la zone d'étude .....	88
Fig. N° 62 : Variation des concentrations de cuivre dans la zone d'étude .....	89
Fig. N° 63 : Variation des concentrations en Chrome dans la zone d'étude .....	90
Fig. N° 64 : Carte de qualité minérale des eaux souterraines de la zone d'étude	93
Fig. N° 65 : Carte de qualité des éléments azotés des eaux souterraines de la zone d'étude .....	94
Fig. N° 66 : Carte de qualité des éléments traces métalliques des eaux souterraines de la zone d'étude .....	95
Fig. N°67 : Représentation graphique des valeurs propres.....	98
Fig. N° 68: Projection des variables selon le plan (F1-F2).....	100
Fig. N° 69: Projection des variables selon le plan (F1-F3).....	100

Fig. N° 70: Projection des individus selon le plan (F1-F2).....	102
Fig. N° 71 : Projection des individus selon le plan (F1-F3).....	102
Fig. N° 72 : Carte de situation des points de prélèvements pour les sédiments.....	105
Fig. N° 73: Variation du pH des sols.....	107
Fig. N° 74 : variation de la conductivité électrique des sols.....	108
Fig. N° 75: variation de l'oxygène dissous dans les sols .....	109
Fig. N° 76: variation de l'azote dans les sols.....	110
Fig. N° 77: Variation des nitrates dans les sols.....	111
Fig. N° 78: Variation des nitrites dans les sols.....	111
Fig. N° 79 : Variation de l'ammonium dans les sols .....	112
Fig. N° 80: variation du phosphore des sols .....	113
Fig. N° 81: variation du phosphore assimilable des sols .....	114
Fig. N° 82: variation du potassium des sols.....	115
Fig. N° 83: variation du potassium assimilable des sols .....	116
Fig. N° 84 : variation du N.P.K dans les sols.....	118
Fig. N° 85 : Droites de régression est équation respectives.....	120
Fig. N° 86: Droites de régression est équation respectives.....	121
Fig. N° 87 : Représentation graphique des valeurs propres.....	124
Fig. N° 89: Projection des individus selon le plan (F1-F2).....	126



## Liste des abréviations

DHW : Direction d'Hydraulique de la Wilaya.

ABH : Agence des Bassins Hydrographiques.

DSA : Direction des Services Agricoles.

STEP : Station d'épuration.

SAU : Surface Agricole Utilisée.

ETP. : Evapotranspiration Potentielle.

ETR. : Evapotranspiration Réelle.

BH. : Bilan Hydrique.

DA : Déficit Agricole.

I : Infiltration.

R : Ruissellement.

P : Précipitation.

T : Température.

ACP : Analyses en Composantes Principales.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

SAT : Superficie Agricole Totale.

SAU : Superficie Agricole Utile.

NPK : Engrais ternaire N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O.

N : Azote.

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ou P : Phosphate.

K<sub>2</sub>O ou K : Potasse.

ONU : Organisation des Nations Unies.

Mha : Millions d'hectares.

## INTRODUCTION GENERALE

La gestion quantitative et qualitative des ressources en eaux superficielles et souterraines est désormais devenue une nécessité, compte tenu d'une part de l'accroissement continu des besoins en eaux et d'autre part de la dégradation continue constatée durant ces dernières décennies de la qualité des eaux dans les pays en voie de développement.

L'agriculture de par ses modes d'emplois, ses objectifs pour l'intensification des productions agricoles, avec l'utilisation des pesticides et du fait de sa relation directe avec l'environnement (eau, sol, biodiversité) est mise en cause dans la dégradation de l'environnement, compte tenu des impacts causés sur les eaux et les sédiments.

L'agriculture est un facteur important dans l'accroissement économique de l'Algérie, qui est subdivisé en deux types de régions : une zone saharienne dominante (84% du territoire) et une zone côtière (16%). L'irrigation fait partie des techniques mises en œuvre dans le secteur agricole en Algérie et qui représente un moyen d'intensification de la production agricole.

L'irrigation s'est améliorée au cours des dernières décennies pour couvrir de milliers d'hectares répartis sur tout le territoire. La surface des terres agricoles en Algérie couvre 20% de la superficie totale du pays, soit environ 40 MHa.

La Wilaya de Guelma qui se situe au Nord-est du pays est considérée comme une région à vocation essentiellement agricole et pour cause l'entrée en activité du périmètre irrigué Guelma – Bouchegouf.

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). 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 de la région qui augmentent sa charge polluante.

Étalé sur les deux rives de l'Oued Seybouse, le périmètre 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.

La zone d'étude 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.

Les différents rejets dans la région de Guelma sont déversés directement dans l'oued Seybouse d'une façon précaire 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 STEP, via la station de relevage.

Dans le périmètre de Guelma, la méthode d'irrigation utilisée est l'irrigation par aspersion.

Plus de 70% des populations locales (200 000 habitants) sont approvisionnées en eau potable des forages avoisinants, des puits et des sources situées dans la zone du périmètre irrigué, donc la protection de ces ressources en eau est une priorité majeure.

La région d'étude connaît une intensification de la mise en valeur des pratiques agricoles qui a un effet positif sur les rendements agricoles et en même temps elle génère une détérioration de la qualité des sols et des eaux souterraines. Les processus de dégradation les plus marquants sont la **pollution azotée des eaux** et la **salinisation des terres**.

Dans le périmètre irrigué de la zone d'étude, l'engrais NPK 15.15.15 utilisé est constitué en majorité de  $K_2O$ , moyennement d'azote et en partie moindre de  $P_2O_5$ .

L'intensification des engrais azotés dans la région implique une perte significative des stocks organiques des sols et accentue les processus de détérioration de leur qualité.

La présente étude concerne l'évaluation de la qualité physico-chimique et organique des eaux souterraines et des sédiments dans la zone du périmètre irrigué.

### **Objectifs de la thèse**

L'objectif de la présente étude est la détermination de la qualité physico-chimique des eaux souterraines et des sols dans la zone du périmètre irrigué Guelma- Bouchegouf, afin de déterminer l'impact de l'irrigation et l'utilisation des pesticides.

### **L'organisation du manuscrit**

Ce manuscrit débute par une introduction générale et s'articule autour de six chapitres.

Le premier chapitre présente un aperçu du cadre général de la région d'étude qui comprend une description des caractéristiques géomorphologiques, hydrographique et socio économique.

Le deuxième chapitre résume le contexte géologique et structural de la région, basée essentiellement sur la synthèse des travaux antérieurs réalisés dans la zone d'étude.

Le troisième et le quatrième chapitre ont été consacrés à l'étude hydro climatologique et Hydrogéologique de 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.

Le cinquième chapitre a traité les informations recueillies sur le périmètre irrigué qui ont été rassemblées d'après plusieurs ouvrages, articles et organismes concernés.

Le sixième chapitre de ce mémoire a été consacré à l'hydrochimie, objet principal de notre thème de recherche.

Pour mener à bien cette recherche l'étude hydro chimique s'est déroulée en deux parties :

- La première partie s'est basée sur l'interprétation des paramètres physico-chimique et les polluants métalliques, afin de déterminer la qualité des eaux souterraines dans la région.

- La deuxième partie a concerné l'interprétation des analyses physico-chimiques réalisées dans les sédiments de la zone du périmètre irrigué Guelma-Boucheouf, pour évaluer l'impact de l'irrigation sur la qualité des sols.
- Une conclusion générale a été élaborée en fonction des résultats des analyses, à la fin de cette thèse.

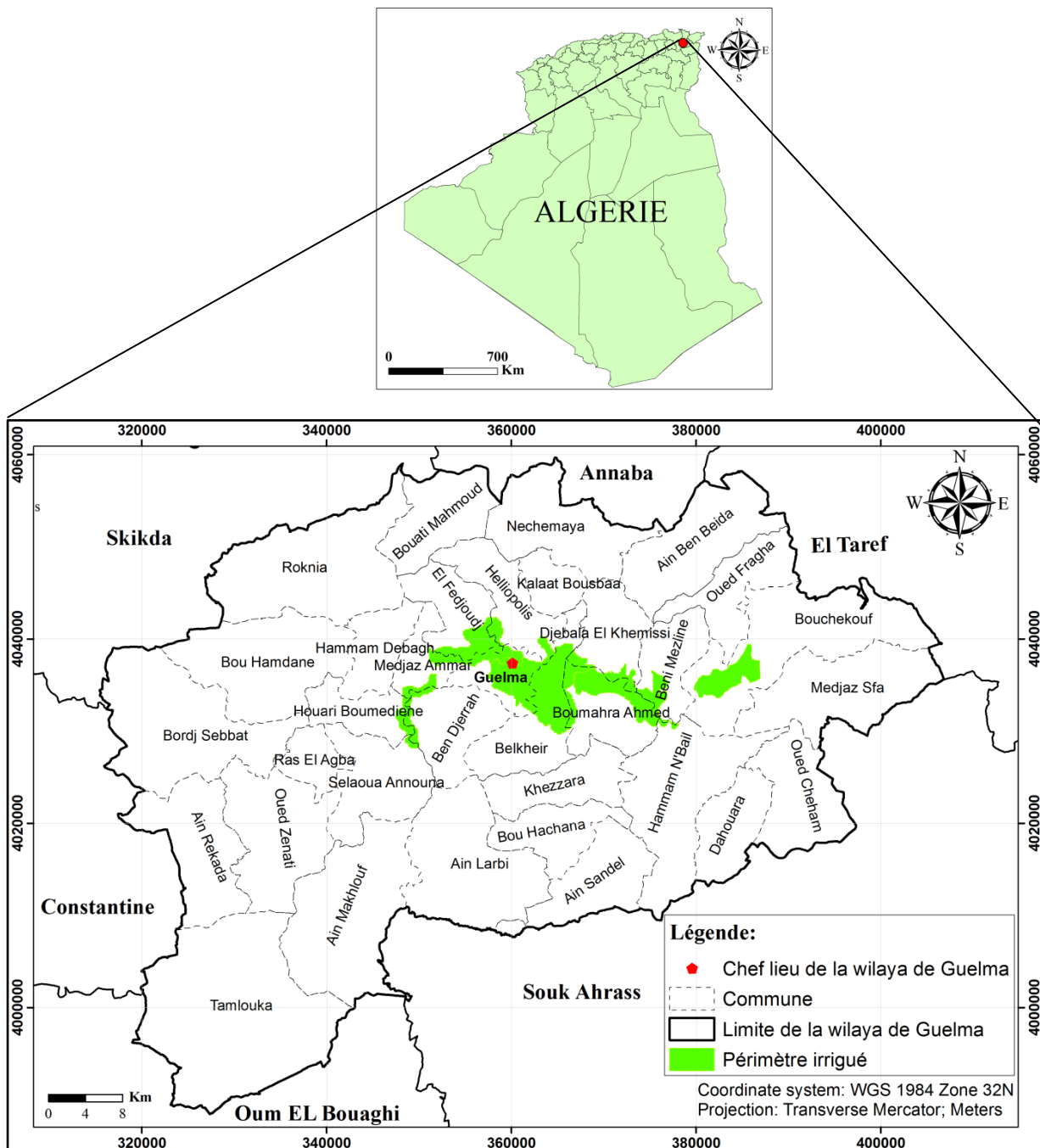
# **CHAPITRE I**

## **CADRE GENERAL**

**I. Situation géographique**

**I.1. Situation régionale**

La wilaya de Guelma se situe au Nord-est de l’Algérie à 290 m d’altitude. Elle s’étend de 39° au 40° de latitude Nord et de 5° à 6° de longitude Est. Elle est limitée par : Les wilayas d’Annaba au Nord, Skikda au Nord-ouest, Constantine à l’Ouest, Oum El Bouaghi au Sud, Souk Ahras à l’Est et la wilaya d’El Taref au Nord-est. (Fig. N° 1)



**Fig. N° 1 : Carte de la situation géographique de la zone d’étude (Touati, 2019)**

La zone d'étude se localise en totalité dans la région Constantinois-Seybouse-Mellegue, elle s'étend sur une superficie de 4 101 km<sup>2</sup>, elle est subdivisée en 34 communes, 10 Daïras et compte 118 agglomérations, pour une population globale de 577832 habitants (ABH, 2016). Elle occupe une position géographique stratégique, elle est donc un point de rencontre entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda), les centres d'échanges au Sud (Oum El Bouaghi et Tébessa) et la proximité du territoire Tunisien à l'Est.

## II. Géomorphologie générale

Le relief est composé dans sa majorité de 32,82% de montagnes (Fig. N° 2), dont les principales sont :

- Mahouna qui culmine à 1411 m.
- Houara qui culmine à 1 292 m.
- Taya (Bouhamdane) qui culmine à 1208 m.
- Débar qui culmine à 1060 m.

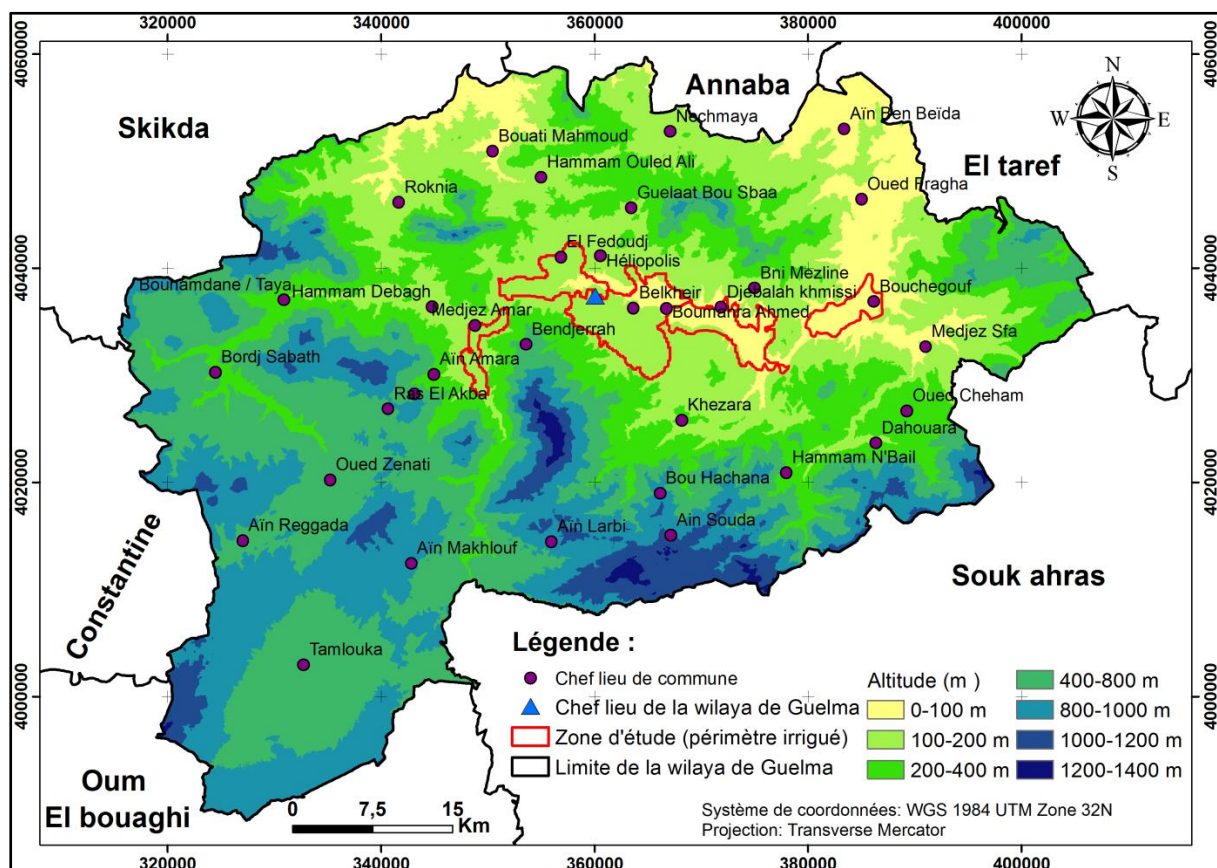


Fig. N° 2 : Carte des reliefs de la wilaya de Guelma (Touati, 2019)

Le reste des reliefs est composé de plaines et de plateaux (27,22%), de collines et de piémonts (26,29%).

Le Sud de Guelma comporte la chaîne centrale de la Medjerda où s'impose l'important massif du Ras El Alia : série d'entassements de calcaires éocènes, dont les principaux sont : le Dj. Bardou (1261m) et le Dj. Zouara (1292m). Vers le Sud-est la haute chaîne se poursuit par les

massifs calcaires sénoniens du Dj. El Arous (1160 m) et calcaires éocènes du Dj. Safiet, puis par les monts d'Ain Seynour couverts par les grés 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).

La majeure partie du versant est recouverte par l'épaisse formation grés-argileuse du Numidien qui caractérise le paysage jusqu'à la frontière Algéro-tunisienne.

Les sommets sont arrondis sans alignement net, les formes massives et les vallées sont peu profondes. Il en est de même pour les formations triasiques d'Ain Seynour-Nador qui s'élèvent en massif sans vigueur au dessus de la plaine de Bouchegouf. 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 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 (1208m) continue vers l'Ouest, séparant le bassin d'Oued Saf Saf au nord de l'oued Bouhamdane au Sud.

L'Ouest de la zone d'étude comprend des régions très variées, allant de large et profonde vallée de l'oued Cherf en amont, qui s'écoule du Sud au Nord, des plaines élevées de la région de Ain Makhoulouf, Ras El Agba (700 – 800 m) vers les vallées profondes de Guelma à l'aval.

### **III. Hydrologie**

Le réseau hydrographique de la zone d'étude est très dense. Il est constitué principalement de l'oued Seybouse et de ses affluents (Fig. N°3) et draine une superficie de 6471 km<sup>2</sup>, pour se jeter en méditerranée à l'Est de la ville d'Annaba.

Le sous bassin de Guelma fait partie du bassin versant de la Seybouse (A.B.H., 2005).

Le réseau hydrographique emprunte surtout les axes des principaux plissements dans les couches marneuses facilement érodables.

Situé dans la région Nord-est du territoire national, le bassin 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.



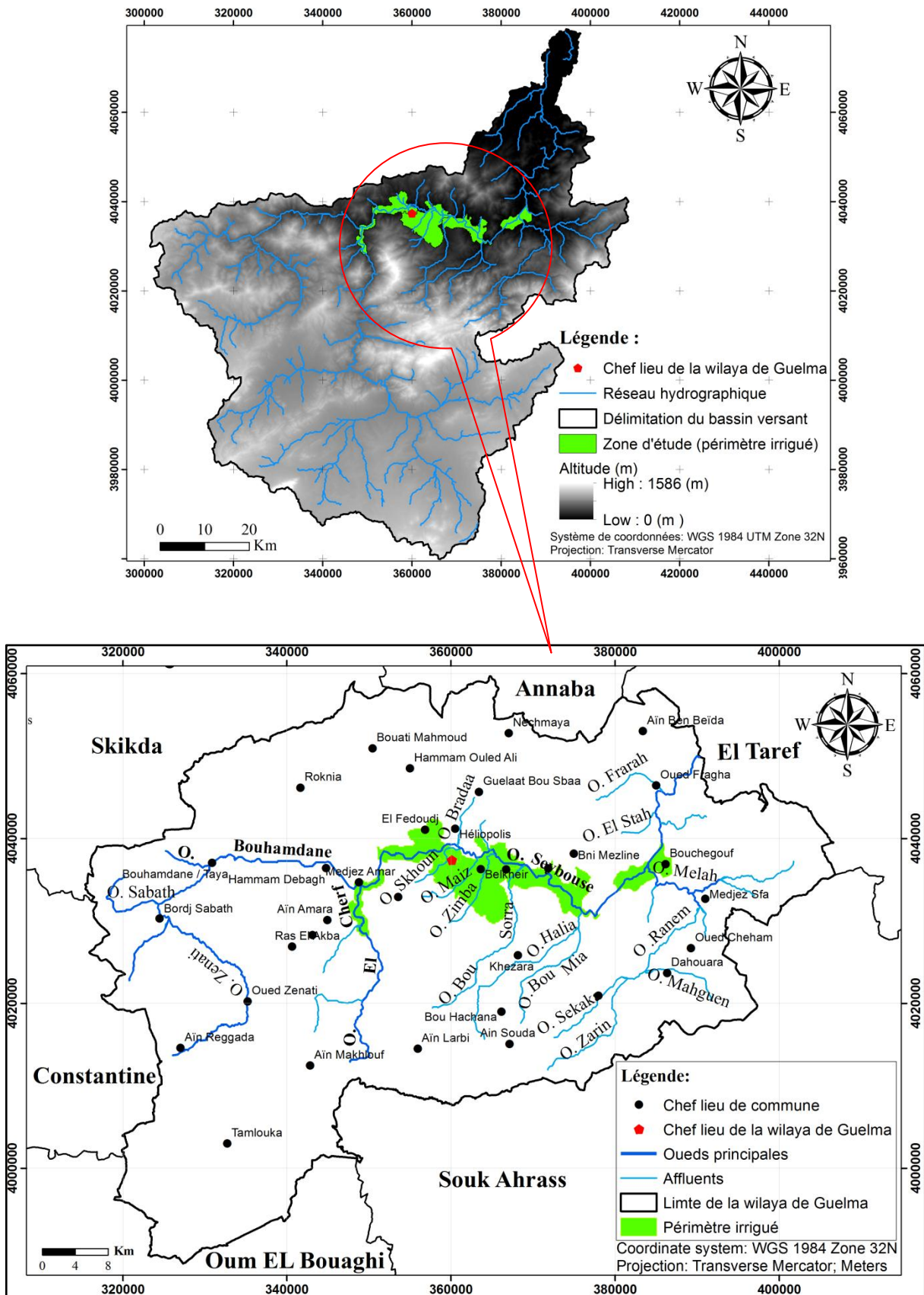


Fig. N° 3 : Carte du réseau hydrographique (Touati, 2019)

Les principaux cours d'eau (A.B.H., 2005) qui constituent le réseau hydrographique 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  $408 \text{ hm}^3/\text{an}$  à la station de Boudaroua, il 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  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{S}^{-1}$ , mais peut atteindre des valeurs de  $630 \text{ m}^3 \cdot \text{S}^{-1}$  (observées le 01/01/1985, selon l'Agence Nationale des Ressources Hydriques d'Annaba). (Fig. N°3)

Ses principaux affluents sont :

- L'oued Bouhamdane (45,37 km) constitué des oueds Sabath et oued Zénati, apporte  $96 \text{ hm}^3/\text{an}$  à la station de Medjez Amar II (point de confluence avec l'oued Cherf).
- L'oued Cherf (36,46 km) au Sud-ouest, apporte  $107 \text{ hm}^3/\text{an}$  à la station de Medjez Amar I.
- L'oued Mellah au Sud-est a un apport de  $151 \text{ hm}^3/\text{an}$  à la station de Bouchegouf.
- Oued Maiz, Oued, Zimba, Oued Skhoune, Oued Bou Sorra, Oued Fragha, Oued Djefeli, Oued Meboudja....etc.

#### **IV. 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.

Du point de vue géographique, le bassin versant de la moyenne Seybouse ou se localise notre région d'étude serait marqué par des étiages prononcés avec souvent des débits nuls en été et des crues fortes et rapides 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)

##### **IV.1. Ressource en eau de surface**

###### **IV.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.

L'apport hydrique annuel de l'oued Seybouse a été estimé à  $203.15 \text{ hm}^3$  (Djabri, 1996).

###### **IV.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  $\text{m}^3$ , il dispose d'une station de traitement et d'une retenue créée par le barrage d'une capacité totale de  $220 \text{ hm}^3$  permettant une régularisation annuelle de  $55 \text{ hm}^3$  à  $60 \text{ hm}^3$ .

- Le deuxième Barrage, celui de Medjez Beggar, représentant un petit barrage d'une capacité de 2.8 millions de  $\text{m}^3$ , il a été mis à la disposition de la direction des services agricoles.

Le barrage de Medjez Beggar est implanté sur l'oued Charef précisément au niveau de 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, 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 de m<sup>3</sup> d'eau, dont 5 retenues collinaires uniquement installées dans le sous bassin de Guelma. (Tableau 1)

**Tableau 1 : Retenues collinaires (DHW, Guelma)**

Commune	Dénomination	Capacité (m <sup>3</sup> )	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

Le tableau 1 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 m<sup>3</sup>/an.

#### IV.2. Eaux Souterraines

Les eaux souterraines constituent une des réserves emmagasinée depuis de longues années et qui sont alimentées 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 hm<sup>3</sup> destinés à l'AEP, 62 forages (87.5 %) destinés à l'irrigation, 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 hm<sup>3</sup>/an. (Direction du développement agricole dans les zones arides et semi arides, 2010) (Tableau 2)

**Tableau 2: Répartition des capacités d'eau souterraine par type**

Désignation	Nombre	Volume (Million m <sup>3</sup> /an)
puits	22	0.80
Sources captées et /ou aménagées	19	1.30
Forages (AEP+ IRR+IND)	78	20
Total	119	22.10

## V. Contexte socio-économique

La région de Guelma est une zone à vocation agro-sylvo-pastorale avec une Surface agricole totale de 266 000 ha et une surface agricole utile de 187 338 ha pour une superficie totale de 3 686,84 km<sup>2</sup>.

Le territoire est fortement montagneux représentant 38% de la superficie totale. Les montagnes et bassins versants de Houara, Mahouna, Débar et la forêt de Béni salah offrent d'importantes opportunités de développement rural. Sur une superficie forestière de 105.295 ha (28,45 %), les forêts occupent une superficie de 29 950 ha dont 24 437 ha en chêne liège d'où des opportunités de traitement, d'exploitation et de transformation de liège. (DPAT, 2006).

Les terres à grand potentiel agricole se situent dans le sud-ouest (plaines d'Oued Zénati et Tamlouka réputées par 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.

Le sol du territoire de Guelma recèle également d'importantes richesses minières qui sont principalement le marbre, le kaolin, les argiles et les agrégats, qui ont permis l'existence d'une industrie des matériaux de construction susceptibles d'être d'avantage développés.

Les richesses touristiques sont importantes et diversifiées (thermes Hammam Débagh, 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 les sites naturels (réserve de Béni Salah, forêts de Mahouna et Haouara, plans d'eau des barrages et retenues collinaires) et historiques (les dolmens et grottes de Roknia, les ruines romaines de Sellaoua Announa et théâtre romain de Guelma qui sont des atouts pour l'épanouissement touristique de la région.

### V.1. Couvert végétal

Le couvert végétal a une influence directe sur l'écoulement fluvial ainsi que les facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense. Dans la région d'étude, les aires agricoles sont localisées essentiellement dans la plaine alluviale. Les cultures pratiquées sont dominées par des cultures maraîchères et quelques vergers d'agrumes et d'arbres fruitiers. Les forêts, les maquis et les broussailles occupent pratiquement toute la bande des monts.

## V.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, 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 par 24197 ha.

La surface réservée pour la plantation de tomates industrielles pendant la saison agricole 2011/2012 était 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 occupaient une superficie de 919 ha en 2007. (Tableau 3)

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 3: Types de cultures, superficies agricoles et surfaces irriguées dans la région de Guelma en 2009 (DSA, 2012)**

Commune	Types de cultures		Surface (ha)	Fourrage (ha)	Culture maraichère	Culture Maraichère Superficie (ha)	Surface Totale Irriguée (ha)
<b>Guelma</b>	Céréales	Blé dur	30	Fourrage Naturelle 3	Pomme de terre	2	650
		Blé tendre	3		Tomate maraichère	1	
		Orge	2		Salade	0.5	
					Oignon sec	2	
					Piment et poivron	1	
		Avoine	0		Tomate industrielle	10	
<b>El-Fedjoudj</b>	Céréales	Blé dur	30	Orge + avoine 220 Fourrage naturelle 120	Pomme de terre	40	290
					Tomate maraichère	12	
		Blé tendre	3		Salade	5	
					Petit pois	15	
		Orge	2		Oignon sec et vert	16	
					Piment et poivron	18	
					Tomate industrielle	80	
<b>Héliopolis</b>	Céréales		53	/	maraichère	30	96
<b>Medjez Amar</b>	Céréales	Blé dur	652	/	Pomme de terre	62	
					Oignon sec et vert	9	
					Petit pois	6	
					Courgette	2	
		Blé tendre	120		Salade	2	96
					Haricot vert + blanc	40	
					Ail	2	
		Pastèque	10		450		
		Orge	80			Melon	30
						Concombre	1
		Fève vert	50				
		Tomate industrielle	70				

## **CHAPITRE II**

### **CADRE GEOLOGIQUE**

## **Introduction**

La région de Guelma fait partie de l'ensemble géologique du Tell d'Algérie Nord orientale. Sa structure, trop complexe est due essentiellement à des mouvements tectoniques tertiaires, surtout miocènes.

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

## **I. 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 périméditerranéenne (Durand Delga, 1969), d'âge Tertiaire. Elle s'étend de l'Ouest à l'Est sur 2000 km, 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 paléomarge 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 (domaine allochtone).

## **II. 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 elle essentiellement due à des mouvements Tertiaire, surtout d'âge Miocène. (Fig. N° 4)



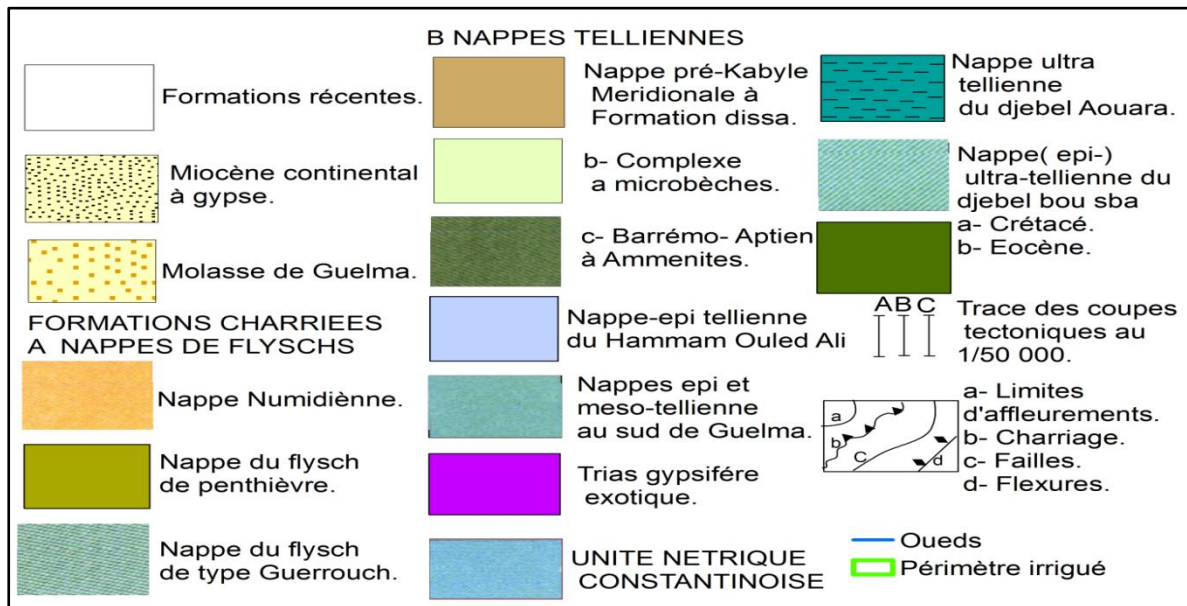
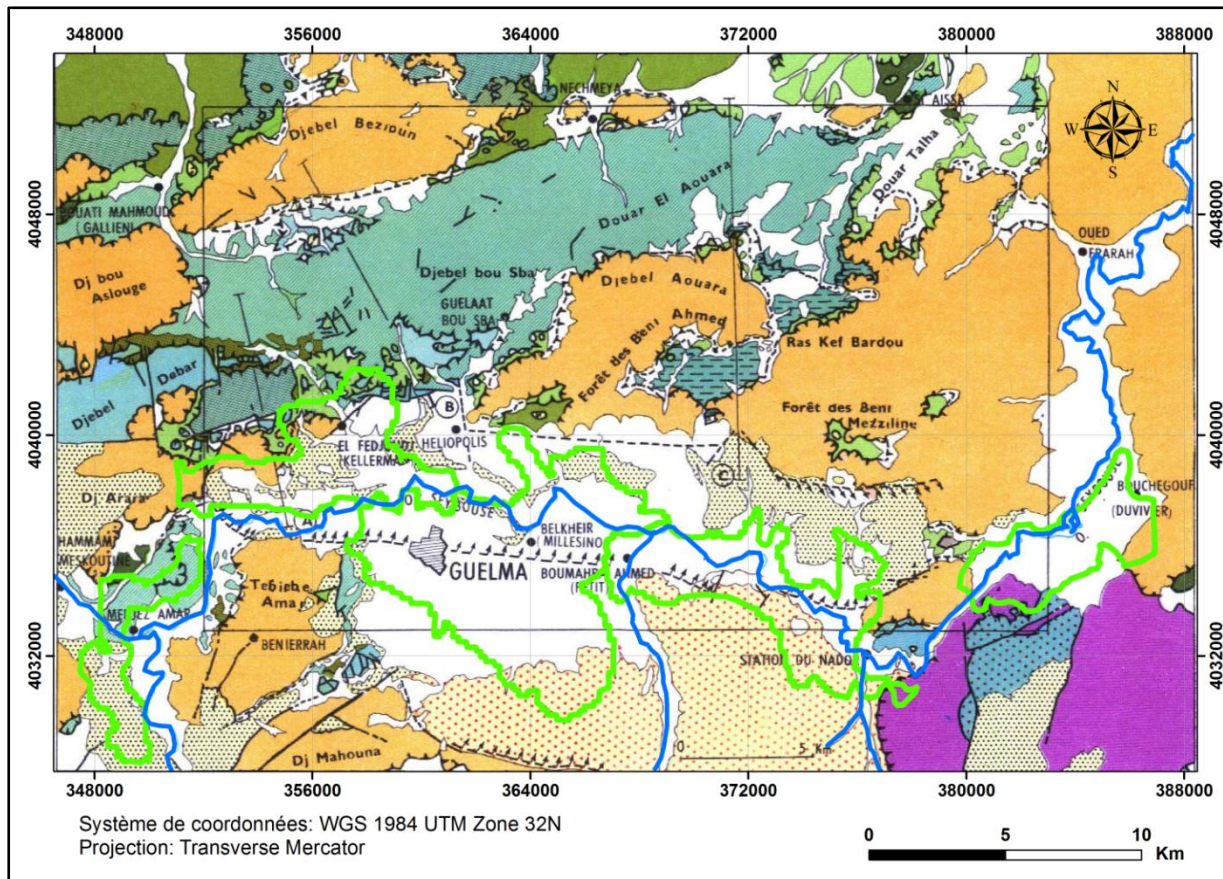


Fig. N° 4 : Esquisse structurale de la région de Guelma (In Villa 1971, modifiée par Touati 2019)

**II.1. Stratigraphie des différentes unités structurales**

La zone d'étude appartient à l'ensemble géologique du Tell externe. On distingue de haut en bas : le Quaternaire, le Mio-Pliocène, la nappe numidienne, les nappes des flyschs, la nappe ultra-tellienne, la nappe tellienne, les écailles des Sellaoua et enfin la nappe néritique constantinoise. (Fig. N°5)

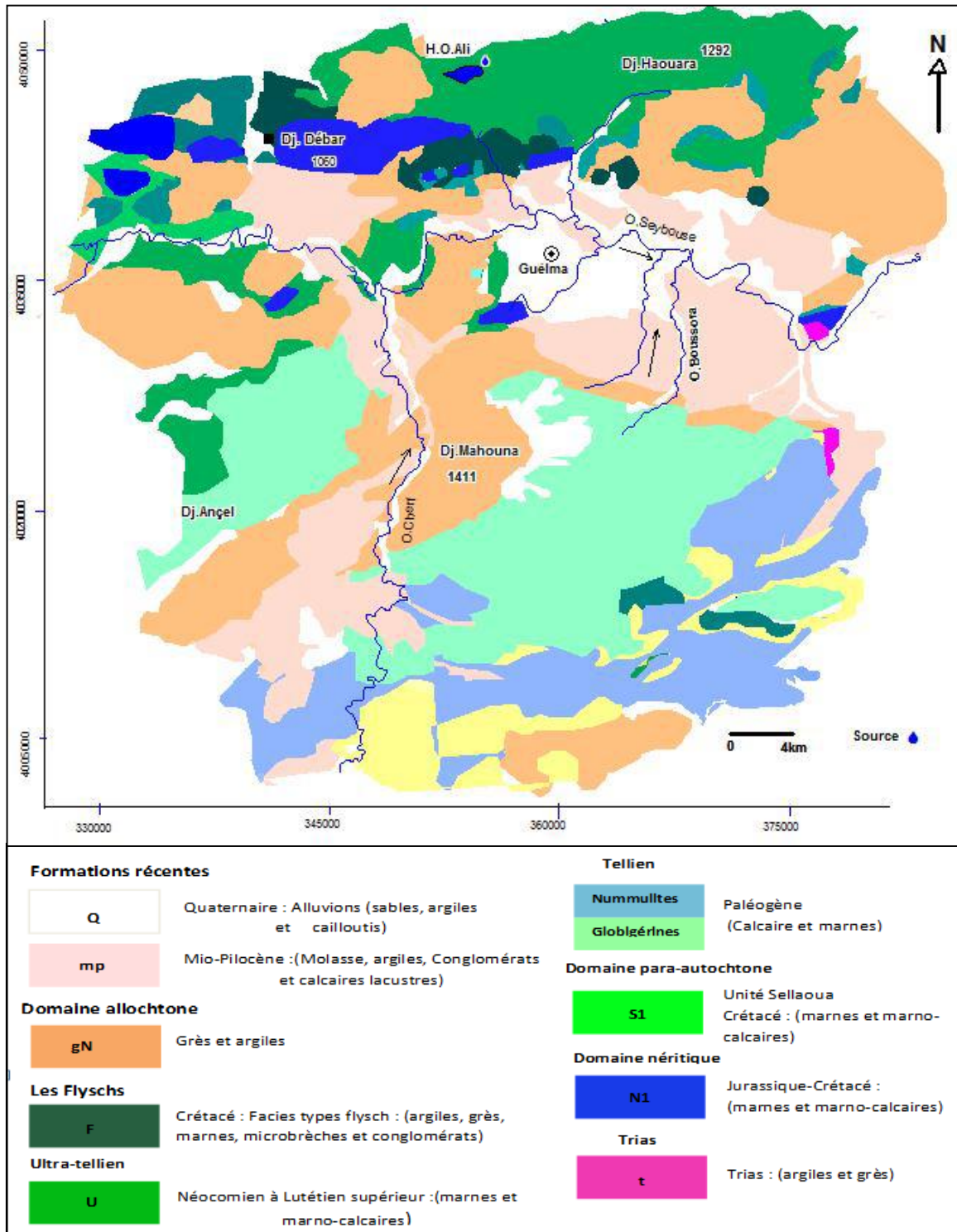


Fig. N° 5 : Carte géologique de la zone d'étude (D'après Vila, 1980 in Benmarce, 2015)

### II.1.1. Les formations récentes (Post-nappes)

#### II.1.1.1. Quaternaire

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

- **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.

#### II.1.1.2. Mio-Pliocène

Ce sont des argiles grises avec des 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.

### II.1.2. Le domaine allochtone

On distingue de haut en bas :

#### II.1.2.1. La nappe numidienne

Elle constitue les sommets des reliefs, en l'occurrence de Djebel Haouara, Beni Mezline et Mahouna. Elle est marquée par un faciès argilo-gréseux. La base de la série numidienne, représentée par des argiles à (Tubotomaculum), d'âge Oligocène moyen à supérieur (Lahondère et al, 1979) et surmontée par une épaisse série gréseuse d'âge Aquitanien. A Dj. Mahouna Vila (1980), signale des séries renversées.

#### II.1.2.2. La nappe des Flyschs

Sous le faciès argilo-gréseux de la nappe numidienne affleurent les formations attribuées au domaine des flyschs à Dj. Haouara, on distingue:

- **Sénonien** : C'est une série conglomératique et argileuse d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur. Les bancs les plus épais (50 à 60 cm) montrent des figures de convolutes bedding. Ce sont les faciès les plus méridionaux du flysh. Dans les affleurements des

talus ouest de la route Guelma-Annaba (Col d'El Fej), (Vila, 1966), la microfaune est représentée par (*Globotruncana Sheegansi*) et de rares (*orbitoides Tissoti*).

- **Cénomaniens - Turoniens** : Il est représenté par des niveaux bréchiques clairs bien classés en bancs à bandes silicifiées blanches. Ces formations sont datées par (*Rotalipora* sp), (*Thalmaninella* sp) et (*Globotruncana helvetica*).
- **Crétacé inférieur** : Flysh de type Guerrouch : C'est une série gréseuse à intercalations argilo- schisteuses grises ou brunâtres. Elle affleure à Ain Sefra au pied-mont de Mahouna. A la base, elle montre quelques bancs calcaires à (*Nannoconus*).  
Le complexe de base avec des 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.

### II.1.2.3. La nappe tellienne

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

On distingue trois grandes unités :

#### II.1.2.3.1. 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.

##### II.1.2.3.1.1. La nappe ultra-tellienne du Djebel Haouara

Ce sont de vastes affleurements qui se situent entre la forêt des Beni Ahmed et celle des 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 (*Phylloparachyceras Barodense* Cop) et le Sénonien inférieur.

##### II.1.2.3.1.2. 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 Guelmat 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).

#### II.1.2.3.2. Les unités telliennes sensu stricto

Ce sont les unités méridionales à Globigérines et à Nummulites.

**II.1.2.3.2.1. 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 dominante des teintes noires dans les faciès. La microfaune est représentée par (*Globotruncana stuartiformis*), (*Rotalipora* sp) et (*Hedbergella Washitensis*).

**II.1.2.3.2.2. La nappe tellienne de la région de Ras El Agba-Sellaoua Announa**

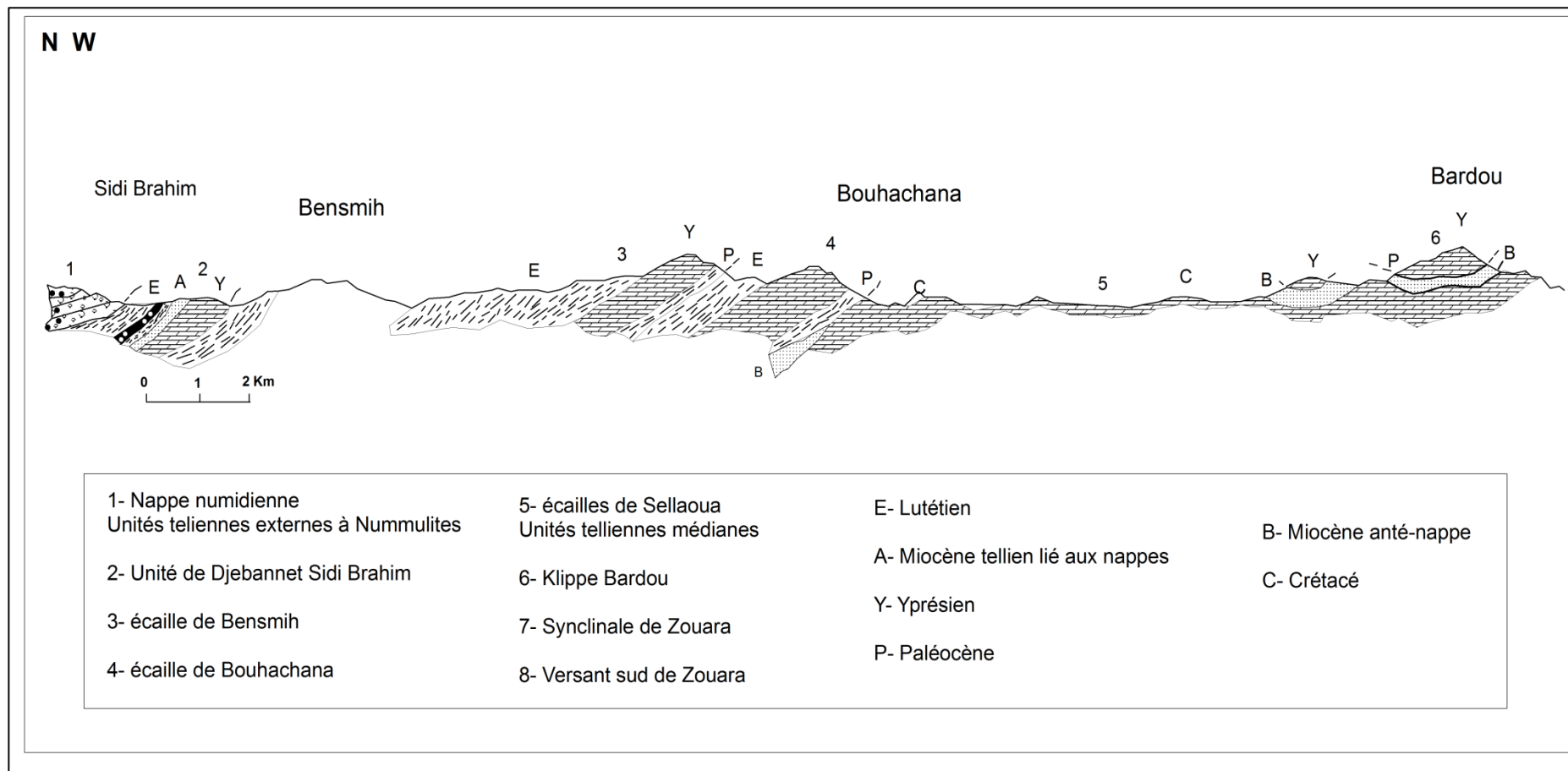
Elle correspond au domaine tellien externe constitué de formations paléogènes. On distingue :

**II.1.2.3.2.2.1. 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).

**II.1.2.3.2.2.2. 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 (Chouabbi, 1987, modifiée par Aissaoui 2018)**

### II.1.3. Le domaine para-autochtone

#### II.1.3. 1. La nappe néritique constantinoise

La néotectonique a dispersé les affleurements des séries néritiques constantinoises en massifs isolés de taille variable (Vila, 1978, 1980), (Fig. N°7), étudiés par plusieurs auteurs avant que La micropaléontologie des milieux de plate-forme ait été mise au point.

Seuls les massifs septentrionaux ont fait l'objet d'études récentes (Vila et Magné, 1969 ; Vila, 1970, 1972) et d'une première tentative de biozonation.

Parmi ces massifs, c'est le groupe nord-oriental qui est traité dans cette étude.

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.

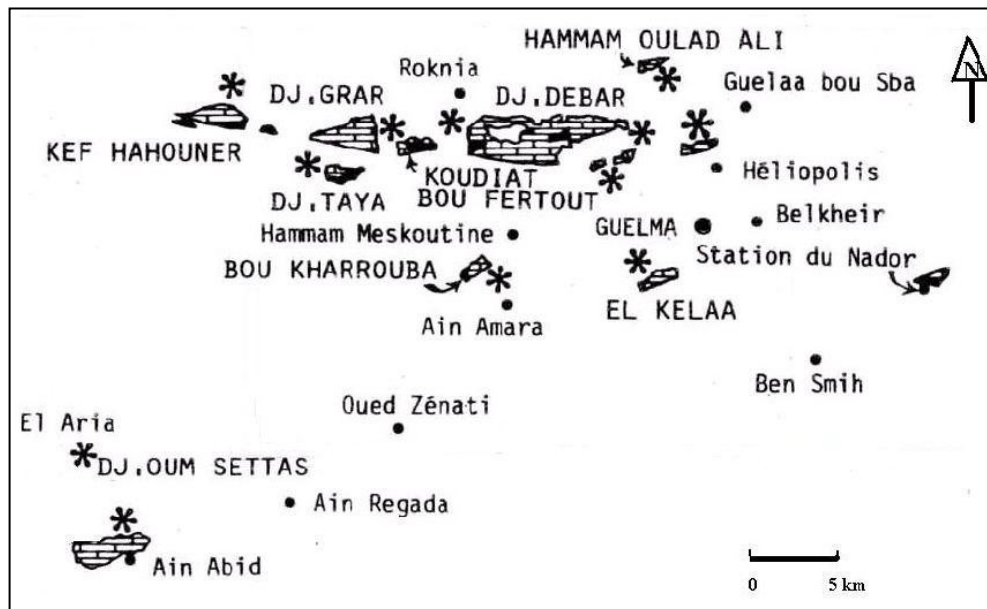


Fig. N° 7 : Plan de position et coupures stratigraphiques des séries néritiques constantinoises (Vila, 1980)

#### II.1.3.1.1. A l'Est de Djebel Debar

Le djebel Débar qui fait partie du pôle 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 haut en bas :

##### II.1.3.1.1.1. 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.

**II.1.3.1.1.2. Les calcaires massifs organo-détritiques**

À (orbitoides cf. Média), attribués au Campanien.

**II.1.3.1.1.3. Les dolomies noires**

À la base, épaisses de 250 à 300 m largement cristallines supportent toute la série.

**II.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.

**II.1.3.3.1.3. 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.

**II.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*).

**II.2. Le cadre structural**

La structure actuelle de la région d'étude est la conséquence d'une série de mouvements tectoniques. Les différentes phases mises en évidence peuvent se résumer ainsi :

**II.2.1. La phase fini-éocène dite « 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.

**II.2.2. La 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

**II.2.3. La phase tectonique post-nappe**

Du Tortonien à l'actuel, la région a connu le jeu de plusieurs déformations plicatives et cassantes qui se sont succédées et/ou sont combinées, (*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.

### II.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, elle 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 (Valanginien, Hauterivien et au Barrémien inférieur), le faciès des calcaires récifaux indique une 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 Crétacé. 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 Debar, 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**

**Introduction**

L’Algérie du fait de sa situation géographique se caractérise en général par trois type de climats distincts répartis de la manière suivante : climat méditerranéen au Nord, semi-aride au centre (hauts plateaux) et aride (le grand Sahara).

La région de Guelma fait partie du climat sub humide. Dans ce chapitre nous allons présenter les caractéristiques hydro climatiques du bassin de la région, qui jouent un rôle important dans la connaissance des ressources en eaux de la région et leurs processus d’alimentation. Leurs variations influent directement sur le potentiel hydrique et la qualité chimique des eaux.

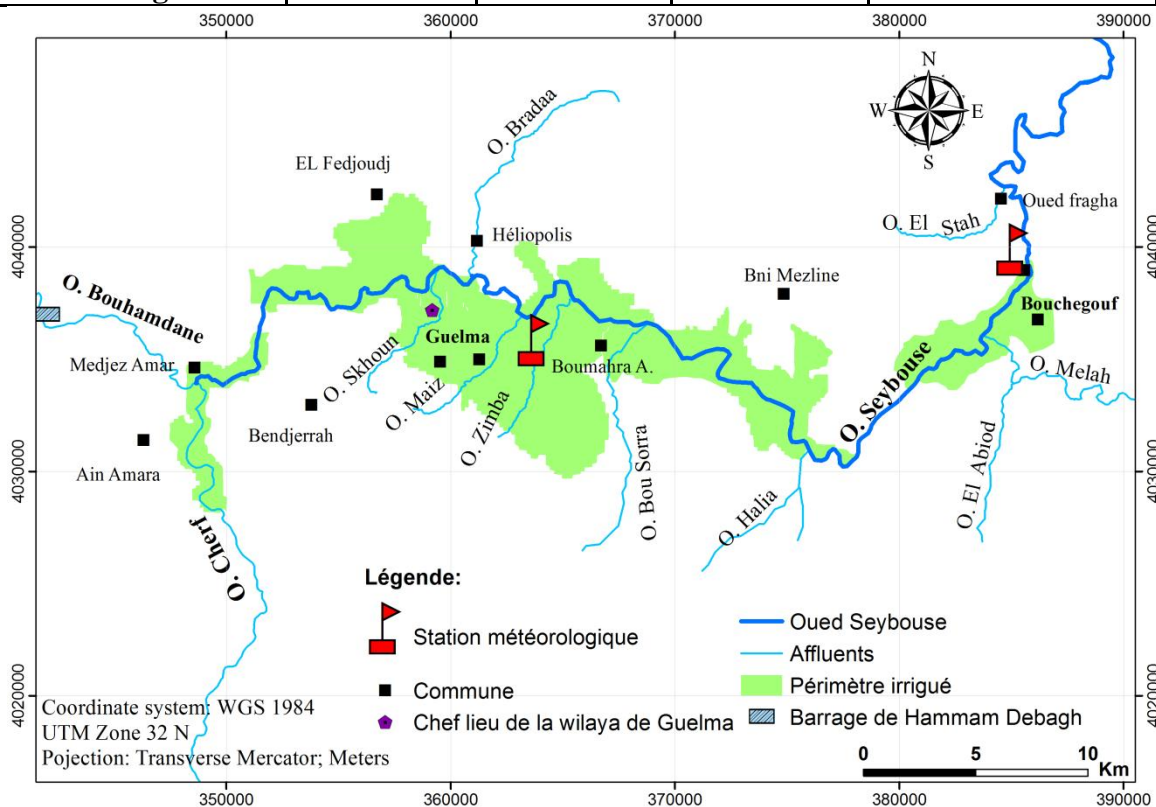
**I. Climatologie de la zone d’étude**

L’étude repose sur l’interprétation des données des deux paramètres climatique principaux : Précipitations et températures collectées au niveau des deux stations, celle de Belkheir à Guelma et celle de Bouchegouf, durant une période de 20 ans (1997/1998- 2016/2017).

Le choix des stations de mesure est basé sur la représentativité de la zone d’étude et l’existence de séries complètes. Les données sont représentées sous formes de moyennes mensuelles et annuelles des hauteurs de pluies et des températures enregistrées dans les deux stations, dont les caractéristiques sont reportées dans le tableau 4.

**Tableau 4 : Caractéristiques géographiques et topographiques des stations pluviométrique**

Stations	Coordonnées			Période d'observation
	Altitude (m)	Longitude	Latitude	
<b>Belkheir (Guelma)</b>	222	7°28'45" E	36°27'39" E	1997-2017
<b>Bouchegouf</b>	130	07° 44' E	36° 30' N	1997-2017



**Fig. N° 8 : Carte de localisation des stations pluviométriques dans la région d’étude (Touati, 2019)**

## II. Variations des facteurs climatiques

### II.1. Les précipitations

Représentant un facteur essentiel qui caractérise le climat d'une région, les précipitations jouent un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eau et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines.

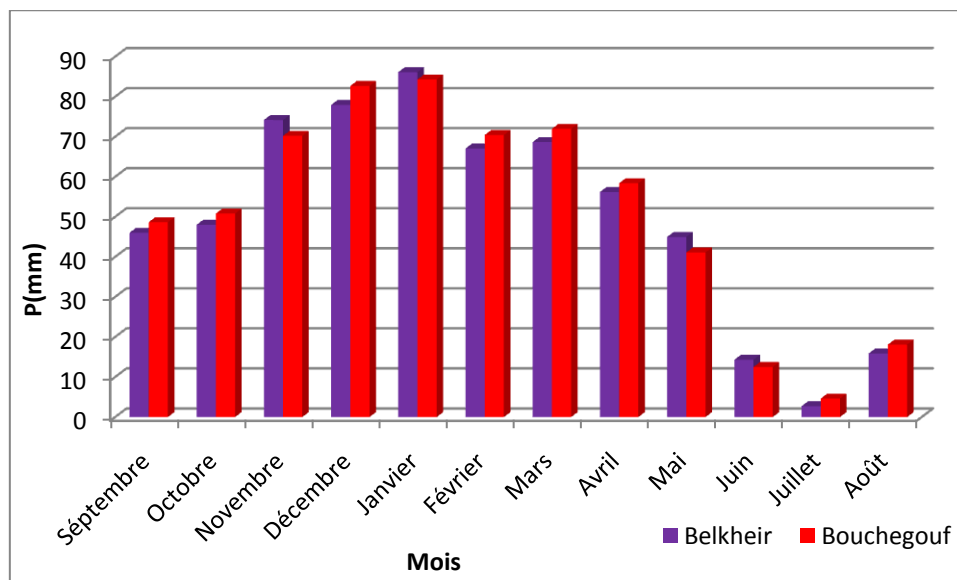
#### II.1.1. Précipitations moyennes mensuelles

Sur une période d'observation qui s'étale sur 20 ans, les précipitations moyennes mensuelles dans les stations de Belkheir et Bouchegouf sont mentionnées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) (1997 - 2017)**

Stations/Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jen	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Total
<b>Belkheir</b>	46,02	48,03	74,2	77,96	86,15	67,07	68,68	56,21	44,99	14,3	2,72	15,9	602,23
<b>Bouchegouf</b>	48,67	50,84	70,2	82,7	84,31	70,45	71,99	58,41	41,11	12,5	4,63	18,1	613,96

L'histogramme donne un aperçu sur les variations mensuelles des précipitations dans la région d'étude, cette variation traduit une forte irrégularité entre les différents mois de l'année hydrologique. On remarque que le mois de Janvier est le plus pluvieux au niveau des deux stations où on a enregistré une moyenne de l'ordre de 86.15 mm et 84.31 mm respectivement pour les stations de Belkheir et de Bouchegouf. Par opposition le mois de Juillet est le mois le moins pluvieux durant lequel on note une moyenne pour les deux stations variant entre 2.72 et 4.63mm. (Fig. N° 9)



**Fig. N° 9 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles en (mm) sur une période de 20 ans (1997 - 2017) (Stations de Belkheir et Bouchegouf )**

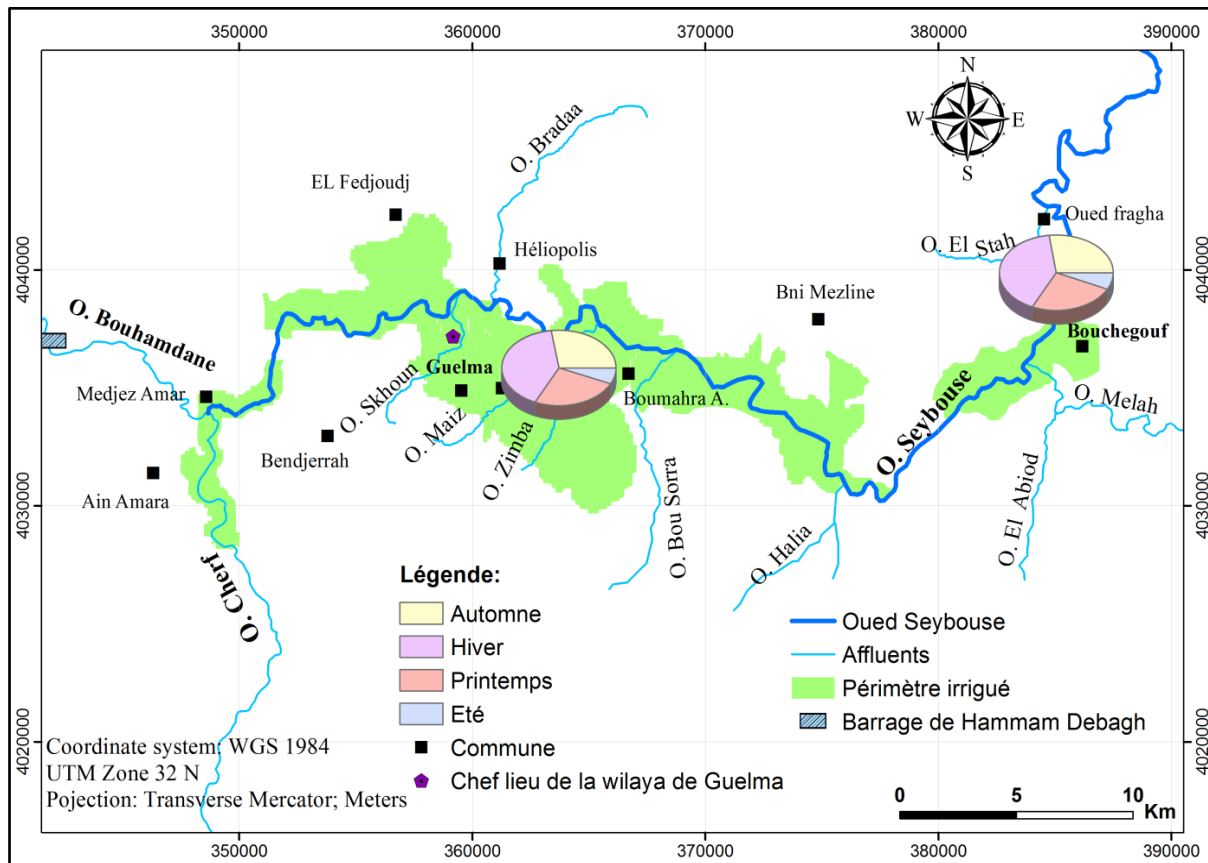
**II.1.2. Précipitations saisonnière**

Il est connu que le taux des précipitations diffère d’une saison à l’autre, pour déterminer les quantités, le tableau 6 récapitule les valeurs des hauteurs saisonnières des deux stations observées dans cette étude au niveau des deux stations de mesures.

**Tableau 6 : Variation des précipitations saisonnières**

Saison / Station	Automne		Hiver		Printemps		Eté		Total	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
<b>Belkheir</b>	168.25	27.93	231.18	38.38	169.88	28.20	32.94	5.46	602	100
<b>Bouchegouf</b>	169.75	27.64	237.46	38.67	171.51	27.93	35.26	5.74	614	100

Il ressort du tableau 6 que la saison la plus pluvieuse pour les deux stations est l’hiver et la saison la plus sèche est l’été. (Fig. N° 10)



**Fig. N° 10 : Répartition saisonnière des précipitations (Touati, 2019)**

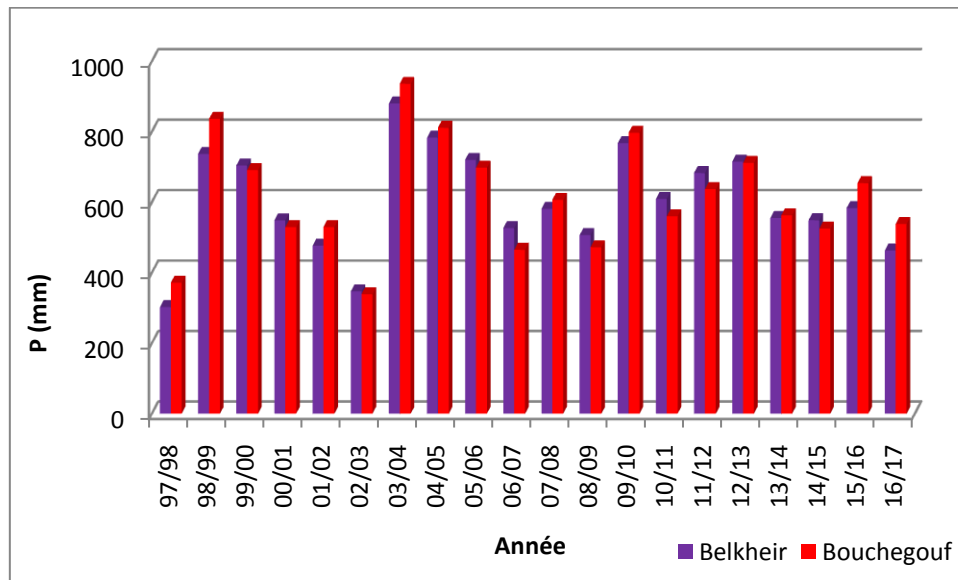
**II.1.3. Précipitations moyennes annuelles**

L’année pluviométrique correspond à l’année hydrologique allant de Septembre à Août. Ce découpage convient mieux aux recherches hydrologiques et permet d’analyser les totaux de précipitations cumulées au cours d’un cycle hydrologique climatique.

L'étude des variations des précipitations en fonction du temps, sur une période de 20 ans (1997-2017) de la station de Belkheir montre une grande différence entre l'année la plus arrosée 2003/2004 avec 880.5 mm et l'année la plus sèche 1997/1998 avec 302.6 mm.

Pour la station de Bouchegouf, l'étude des variations des précipitations en fonction du temps montre aussi une grande différence entre l'année la plus arrosée 2003/2004 avec 936,4mm et l'année la plus sèche 2002/2003 avec 371.9 mm.

L'histogramme de la figure 11 représente les variations des précipitations annuelles (1997-2017) pour les stations de Belkheir et de Bouchegouf.



**Fig. N°11: Histogramme des précipitations moyennes annuelles (mm) Station de Belkheir et Bouchegouf (1997-2017)**

#### II.1.4. Le coefficient pluviométrique

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

Le coefficient pluviométrique est donné par la formule suivante :

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

CP : Coefficient pluviométrique.

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

P<sub>moy</sub> : Pluviométrie moyenne pour la période d'étude (mm).

Si :

Cp > 1  $\implies$  On a une année excédentaire.

CP < 1  $\implies$  On a une année déficitaire.



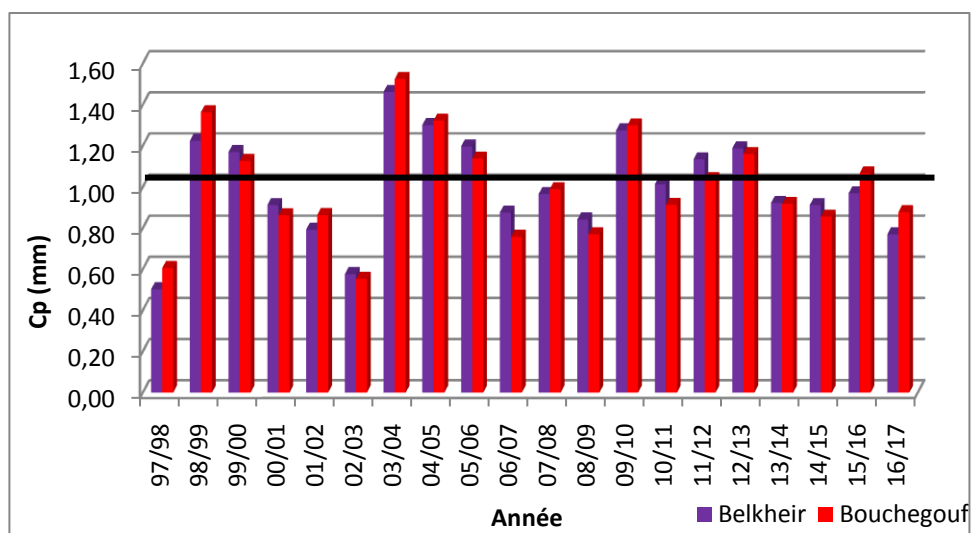


Fig. N° 12 : Variation du coefficient pluviométrique (Stations de Belkheir et Bouchegouf)

Tableau 7 : Coefficients pluviométriques (station de Belkheir et Bouchegouf) (1997-2017)

Année Hydrologique	Pluies annuelles station de Belkheir	Cp station de Belkheir	observation	Pluies annuelles Station de Bouchegouf	Cp Station de Bouchegouf	observation
1997-1998	302,6	0,5	Déficitaire	371,9	0,61	Déficitaire
1998-1999	737,5	1,22	Excédentaire	836,9	1,36	Excédentaire
1999-2000	704,4	1,17	Excédentaire	691,5	1,13	Excédentaire
2000-2001	548,9	0,91	Déficitaire	529,4	0,86	Déficitaire
2001-2002	476,8	0,79	Déficitaire	529,9	0,86	Déficitaire
2002-2003	347,1	0,58	Déficitaire	339,3	0,55	Déficitaire
2003-2004	880,5	1,46	Excédentaire	936,4	1,53	Excédentaire
2004-2005	783,5	1,3	Excédentaire	811,9	1,32	Excédentaire
2005-2006	720,5	1,2	Excédentaire	698,4	1,14	Excédentaire
2006-2007	527	0,88	Déficitaire	465,1	0,76	Déficitaire
2007-2008	581,6	0,97	Déficitaire	607	0,99	Déficitaire
2008-2009	507	0,84	Déficitaire	472,5	0,77	Déficitaire
2009-2010	767,9	1,28	Excédentaire	797,5	1,3	Excédentaire
2010-2011	609,8	1,01	Excédentaire	560,5	0,91	Déficitaire
2011-2012	683	1,13	Excédentaire	637,3	1,04	Excédentaire
2012-2013	715,2	1,19	Excédentaire	712,2	1,16	Excédentaire
2013-2014	555,5	0,92	Déficitaire	563,2	0,92	Déficitaire
2014-2015	549,1	0,91	Déficitaire	525,3	0,86	Déficitaire
2015-2016	583,5	0,97	Déficitaire	654,3	1,07	Excédentaire
2016-2017	463,2	0,77	Déficitaire	538,7	0,88	Déficitaire

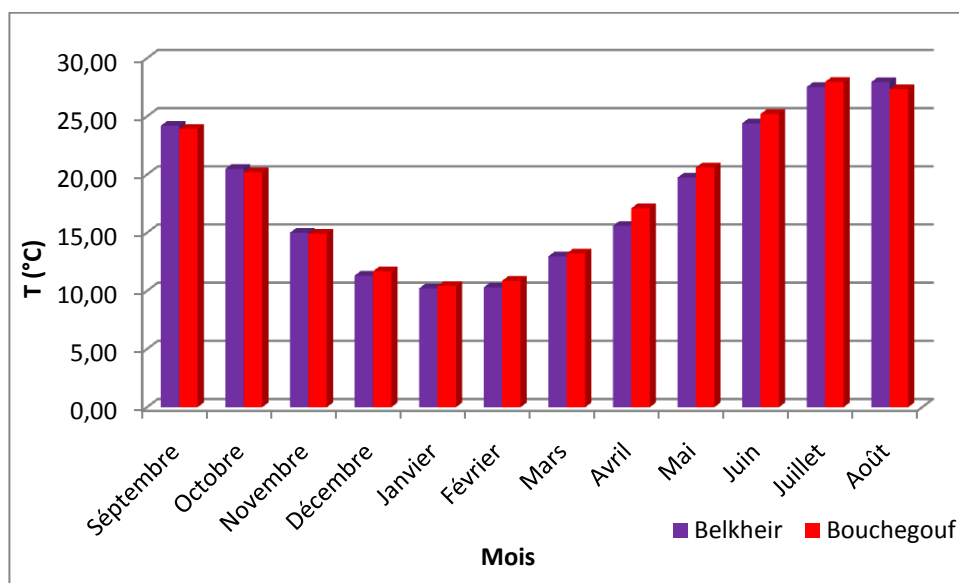
La figure 12 et le tableau 7 montrent les années excédentaires et déficitaires observées sur une période de 20 ans, allant de 1997/1998 à 2016/2017, dans les deux stations (Belkheir et Bouchegouf). On observe 09 années excédentaires et 11 années déficitaires.

La figure 12 montre une alternance entre les années excédentaires et déficitaires au niveau des deux stations.

## II.2. La température

La température est un facteur important ayant une grande influence sur le bilan d'eau du fait qu'elle conditionne l'évapotranspiration et donc le déficit d'écoulement annuel et saisonnier, elle dépend de l'altitude, de la distance du littoral et de la topographie (Seltzer,1946).

Les températures moyennes mensuelles observées à la station de Belkheir et de Bouchegouf sur une période de 20 ans sont illustrées dans l'histogramme ci-dessous. (Fig. N° 13)



**Fig. N°13 : Températures moyennes mensuelles (°C), au niveau des Station de Belkheir et de Bouchegouf (1997/1998– 2016/2017)**

L'histogramme (Fig. N° 13) montre que les plus faibles valeurs sont mesurées durant les mois de décembre, janvier, février et mars où on remarque que le mois le plus froid et celui de janvier avec une température de l'ordre de 10.22 °C et 10.43 °C pour la station de Belkheir et de Bouchegouf respectivement. Les plus fortes valeurs caractérisent les mois de juin, juillet, Aout et Septembre où on remarque que pour la station de Belkheir le mois le plus chaud est celui d'Aout (avec une température de l'ordre de 27.96 °C) alors que pour la station de Bouchegouf le mois le plus chaud est celui de juillet (avec une température de l'ordre de 27.98 °C).

## III. Type de climat

### III.1. Indice de l'UNESCO (1977)

Aujourd'hui, la classification la plus universelle des régions arides est celle proposée par l'UNESCO en 1977.

Cette classification est réalisée sur la base des valeurs du rapport P/ETP, avec P total des précipitations moyennes annuelles et ETP l'évapotranspiration potentielle. Ceci a permis de classer les régions arides en zones, hyperarides, arides, semi-arides et sub-humides.

Si :  $I_a < 0.03$  : le climat est hyper aride.

$0.03 < I_a < 0.2$  : le climat est aride.

$0.2 < I_a < 0.5$  : le climat est Semi-aride.

$0.5 < I_a < 0.75$ : le climat est Subhumide.

**Tableau 08 : Indice d'aridité (Ia)**

<b>Station</b>	<b>P</b>	<b>ETP</b>	<b>P/ETP</b>	<b>Observation</b>
<b>Belkheir</b>	602.23	944,5	<b>0.64</b>	<b>Climat subhumide</b>
<b>Bouhegouf</b>	613.96	944,5	<b>0.65</b>	<b>Climat subhumide</b>

### III.2. Indice d'aridité d'Emberger

Cette méthode, permet la classification de la région en fonction de son étage bioclimatique. Elle donne un aperçu exact sur le climat de la région ciblée.

Le Climagramme d'Emberger permet de classer les stations de la région d'étude au sein de cinq (5) étages bioclimatiques : humide, sub-humide, semi-aride, aride et saharien. Le Climagramme considère qu'une région est d'autant plus sèche lorsque le quotient est plus petit. Pour le calcul de ce quotient pluviométrique (Tab. N°09).

Ce quotient est défini par la formule suivante:

$$Q2 = \frac{2000P}{(M^2 - m^2)}$$

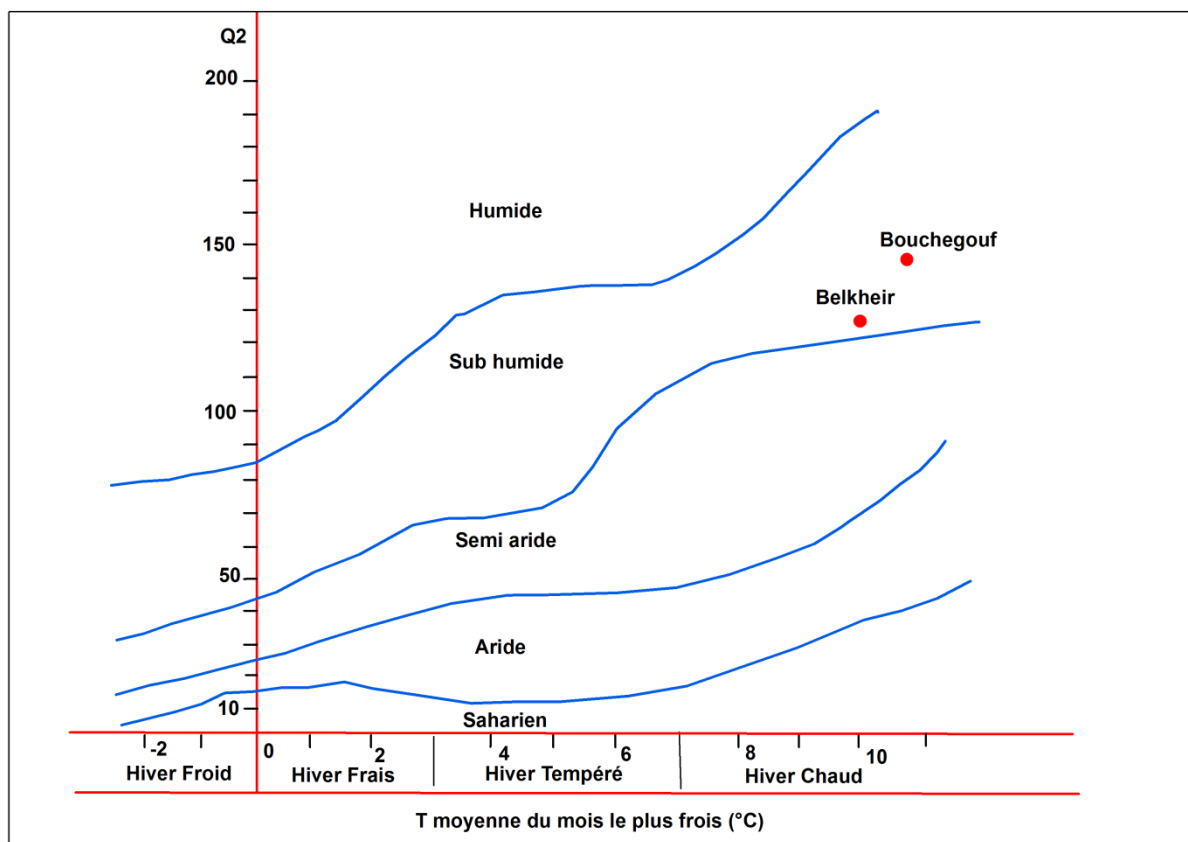
Avec :

- Q 2 : quotient pluviométrique d'Emberger;
- M : la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (degrés/Kelvin) ;
- m : la moyenne des températures minimales du mois le plus froid (degrés/Kelvin) ;
- P : pluviométrie annuelle en mm.
- $(T^{\circ}k = T^{\circ}C + 273,2)$ .

**Tableau 09 : Estimation de la valeur de Q2**

Station	P (mm)	M		m		Q2
		°C	°K	°C	°K	
<b>Belkheir</b>	602	27.5	300.7	10.2	283.4	<b>119.1</b>
<b>Bouchegouf</b>	613.9	27.3	300.5	10.4	283.6	<b>124.3</b>

L'emplacement de cet indice sur le climagramme d'Emberger nous a permis de situer la zone de Guelma dans l'étage bioclimatique Sub-humide aux hivers chauds (Fig. N°14).



**Fig. N° 14 : Climagramme de L. Emberger des stations de Belkheir et de Bouchegouf**

En se basant sur les résultats des deux indices d'aridités indiquées ci-dessus, on peut qualifier le climat de la région de Guelma comme étant sub-humide.

### III.3. Diagramme ombro thermique de Gausсен (P=2T)

Un diagramme pluviométrique est un type particulier de diagramme climatique représentant les variations mensuelles sur une année, des températures et des précipitations, selon des graduations standardisées : une graduation de l'échelle des précipitations correspond à deux graduations de l'échelle des températures (P=2T).

Le diagramme pluviométrique de Gausсен permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et de la température moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la pluviosité est double de la température.

Si  $P < 2T$  : Mois sec

Si  $P > 2T$  : Mois humide

Les diagrammes pluviométriques établis (Fig. N°15 et N°16), font ressortir deux périodes pour les deux stations:

-Une saison humide qui se distingue par une forte pluviométrie et une baisse de la température, elle s'étend du mois d'Octobre avec des précipitations importantes qui atteint son maximum pendant le mois de janvier (86.15 mm et 84.31 mm) pour les deux stations Belkheir et Bouchegouf et prend fin au mois d'Avril.

-Une saison sèche, qui s'étend du début du mois de Mai jusqu'à la fin Septembre, elle est marquée par une forte évaporation provoquée par l'augmentation de la température ( $T > 25^{\circ}\text{C}$ ) et la diminution des précipitations ( $P < 3\text{mm}$ ).

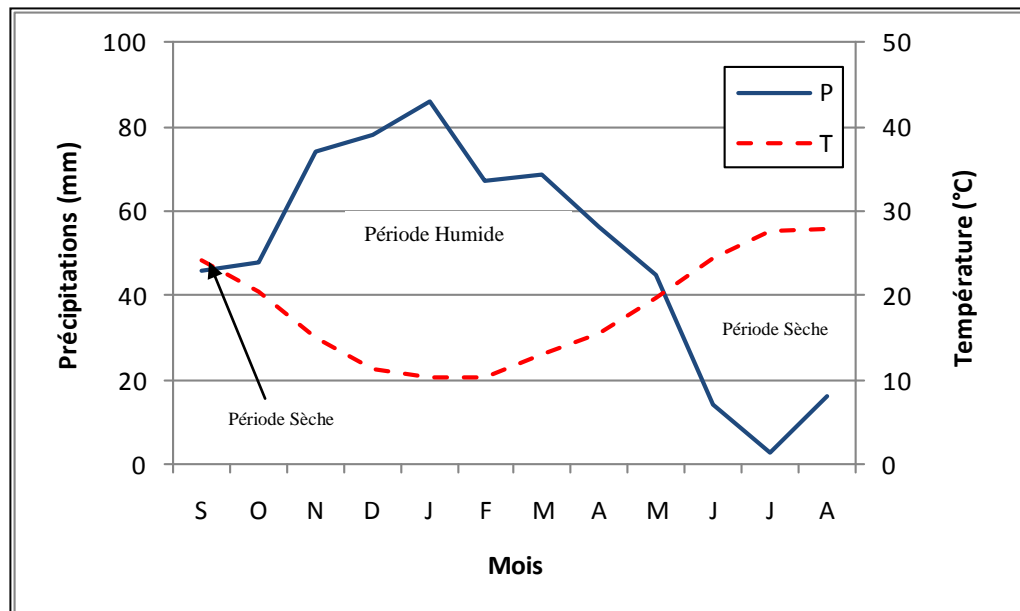


Fig. N°15 : Courbe ombro thermique: station de Belkheir «1997-2017».

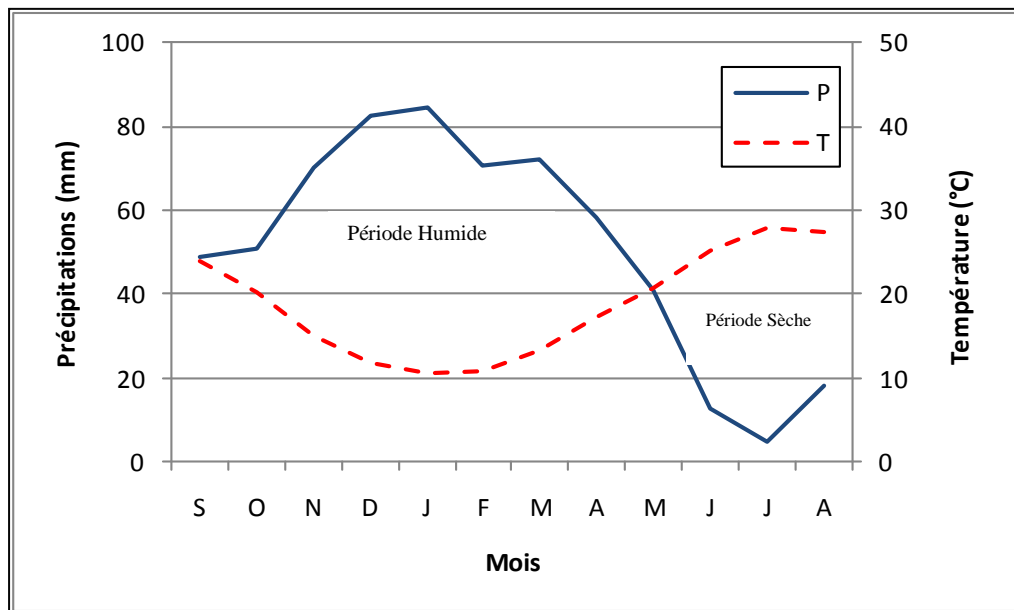


Fig. N°16 : Courbe ombro thermique: station de Bouchegouf «1997-2017».

#### IV. Le Bilan hydrique

Le bilan hydrique est établi pour un lieu et une période donnée par comparaison entre les apports et les pertes en eau dans ce lieu et pour cette période. Les apports d'eau sont effectués par les précipitations. Les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de l'évaporation et la transpiration, que l'on désigne sous le terme d'évapotranspiration.

Le bilan hydrologique naturel peut se calculer par la formule suivante (Castany, 1982) :

$$P = ETR + R + I$$

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm)

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en (mm)

R : Ruissellement moyen annuel en (mm)

I : Infiltration moyenne annuelle en (mm)

##### IV.1. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est un élément principal du bilan hydrique, il correspond à la quantité d'eau totale transférée du sol vers l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau par un phénomène purement physique qui est l'évaporation et par la transpiration des plantes.

Il existe deux types d'évapotranspiration, l'une potentielle (ETP) et l'autre réelle (ETR).

##### IV.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

C'est la quantité d'eau qui serait évaporée ou transpirée à partir d'un bassin versant si l'eau disponible pour l'évapotranspiration n'était pas un facteur limitant.

Plusieurs formules permettent d'évaluer l'ETP à partir de différentes mesures climatologiques.

D'après la formule de Thornthwaite :

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

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm

T : Température moyenne mensuelle en °C

i: Indice thermique mensuel :  $i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,5}$

I: Indice thermique annuel :  $I = \sum_{i=1}^{12} i$

K : Coefficient d'ajustement

a : L'exposition climatique est donnée par la formule :  $a = \frac{1,6}{100} I + 0,5$

#### IV.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR)

S'authentifie au déficit d'écoulement et elle se calcule à partir de nombreuses formules qui induisent l'utilisation de deux ou plusieurs paramètres climatiques à savoir : la pluviométrie, la température, l'ensoleillement...etc.

On appelle évapotranspiration réelle la quantité d'eau, généralement exprimée en mm, évaporée ou transpirée par le sol, les végétaux et les surfaces libres d'un bassin versant.

Formule de Turc : 
$$ETR = P / \left(0,9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{1/2}$$

Où :  $L = 300 + 25t + 0,05t^3$

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm

P : Précipitation moyenne annuelle en mm

T : Température moyenne annuelle en °C

L : pouvoir évaporant

**Tableau 10: Résultat de l'ETR par la méthode de Turc, pour les stations de Belkheir et de Bouchgouf**

Station /Paramètres	P (mm)	T°C	L	ETR (mm/an)
<b>Belkheir</b>	602.3	18.3	1063.92	545.18
<b>Bouchgouf</b>	613.9	18.6	1086.74	556

Méthode de C.W.Thornthwaite : Le principe est basé sur deux cas :

- Si  $ETP > 0 : P > ETP$ , l'évaporation réelle sera égale à l'ETP ( $ETR = ETP$ ), 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 qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe (reconstitution des réserves), soit sous la forme de ruissellement ; la période sera dite excédentaire.

- Si  $P - ETP < 0 : P < ETR$ , l'évaporation réelle sera égale a P ( $ETR = P$ ) ; il y aura prélèvement sur les réserves, absence d'écoulement ; la période sera dite déficitaire.

Ce dernier cas est subdivisé en deux situations :

$$P + RFU > ETP : ETR = ETP$$

$$P + RFU < ETP : ETR = P + RFU$$

Si  $RFU = 0$ , la quantité ( $DA = ETP - ETR$ ) représente le déficit agricole, c'est-à-dire la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes ; c'est le besoin de culture à l'irrigation.

Avec :

RFU : Réserve facilement utilisable (RFU=100 mm pour la station d'Héliopolis et Medjez Amar). Le RFU a été choisie en fonction de la nature du sol de la région d'étude selon la formule de Hallaire qui s'écrit de la manière suivante :

$$RFU = C - f/100 (H*D) + 30 \text{ (mm)}$$

RFU : réserve en eau du sol

C : Capacité au champ

f : Capacité au point de flétrissement

H : Profondeur du sol en (mm)

D : Densité apparente, D=1

Les valeurs de C - f données par Hallaire selon la nature du sol sont :

- C-f=5% pour un sol sableux
- C-f=10% à 15% pour un sol limoneux
- C-f=20% pour un sol argilo-sableux.

#### IV.2. Interprétation du bilan :

Le bilan hydrique établi pour la zone d'étude sur une période de 20 ans (1997-2017), repose sur la détermination et la comparaison entre les apports et les pertes en eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite où les résultats sont beaucoup plus proches de la réalité.

Les valeurs obtenues de l'évapotranspiration potentielle et réelle, le déficit agricole et l'excédent sont représentés sur les graphes (Fig. N°17, Fig. N° 18, Fig. N° 19, Fig. N° 20) et révèlent les constatations suivantes :

- Une période déficitaire qui s'étend de Juin à Octobre et se caractérise par :

Un déficit agricole  $DA = 483.2$  mm pour la station de Belkhir et  $482.8$  mm pour la station de Bouchegouf.

Une absence d'alimentation du stock ( $RFU = 0$ ).

Une forte évapotranspiration potentielle mensuelle qui atteint  $173,5$  mm pour la station de Belkhir et  $178.4$  mm pour la station de Bouchegouf.



Une température élevée de l'ordre de 28 °C et 27.3 °C pour les deux stations Belkhir et Bouchegouf respectivement.

- Une autre période excédentaire caractérisée par :

Une pluviométrie importante qui atteint : 86.2 mm (station de Belkhir), et 84.3 mm (station de Bouchegouf) durant le mois de janvier.

De faibles températures et évapotranspiration ;

-Une recharge du stock, où la RFU commence à se reconstituer à partir du mois de novembre pour atteindre son maximum (100 mm) de janvier à avril, période à laquelle il y a un excédent d'eau qui va contribuer à l'alimentation de la nappe aquifère.

**Tableau 11 : Bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite pour la station de Belkhir (1997/1998 – 2016/2017)**

Période	T (°C)	i	k	ETPc (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Sep	24,2	11	1,03	112,5	46	-66,5	-0,6	0	0	46	66,5	0
Oct	20,5	9	0,97	76,9	48	-28,9	-0,4	0	0	48	28,9	0
Nov	15	5	0,86	37,3	74,2	36,9	1	36,9	36,9	37,3	0	0
Dec	11,3	3	0,81	20,3	78	57,7	2,8	57,7	94,7	20,3	0	0
Jen	10,2	3	0,87	17,9	86,2	68,3	3,8	5,3	100	17,9	0	63
Fev	10,3	3	0,85	17,8	67,1	49,3	2,8	0	100	17,8	0	49,3
Mar	13	4	1,03	33,8	68,7	34,9	1	0	100	33,8	0	34,9
Avr	15,6	6	1,1	51,4	56,2	4,8	0,1	0	100	51,4	0	4,8
Mai	19,7	8	1,21	88,8	45	-43,8	-0,5	-44	56,2	88,8	0	0
Jui	24,4	11	1,22	135,4	14,3	-121,3	-0,9	-56	0	70,5	64,9	0
Jul	27,5	13	1,24	173,5	2,7	-170,8	-1	0	0	2,7	170,8	0
Aou	28	14	1,16	168	15,9	-152,1	-0,9	0	0	15,9	152,1	0
Année	18,3	90		933,6	602	-331,2				450	483,2	151,9

**Tableau 12 : Bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite pour la station de Bouchegouf (1997/1998 – 2016/2017)**

Période	T (°C)	i	k	ETPc (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Sep	23,9	10,7	1,03	108,5	48,7	-59,8	-1	0	0	48,7	59,8	0
Oct	20,2	8,3	0,97	73,4	50,8	-22,6	-0	0	0	50,8	22,6	0
Nov	14,9	5,2	0,86	35,8	70,2	34,4	1	34,4	34,4	35,8	0	0
Dec	11,7	3,6	0,81	21	82,7	61,7	2,9	61,7	96,1	21	0	0
Jen	10,4	3	0,87	17,9	84,3	66,4	3,7	3,9	100	17,9	0	62,6
Fev	10,9	3,3	0,85	19,1	70,5	51,4	2,7	0	100	19,1	0	51,4
Mar	13,2	4,3	1,03	33,8	72	38,2	1,1	0	100	33,8	0	38,2
Avr	17,1	6,4	1,1	60	58,4	-1,6	0	-1,6	98,4	60	0	0
Mai	20,6	8,5	1,21	95,2	41,1	-54,1	-1	-54,1	44,3	95,2	0	0
Jui	25,2	11,6	1,22	142,7	12,5	-130,2	-1	-44,3	0	56,8	85,9	0
Jul	28	13,6	1,24	178,4	4,6	-173,8	-1	0	0	4,6	173,8	0
Aou	27,3	13,1	1,16	158,8	18,1	-140,7	-1	0	0	18,1	140,7	0
Année	18,6	91,6		944,5	613,9	-330,6				462	482,8	152

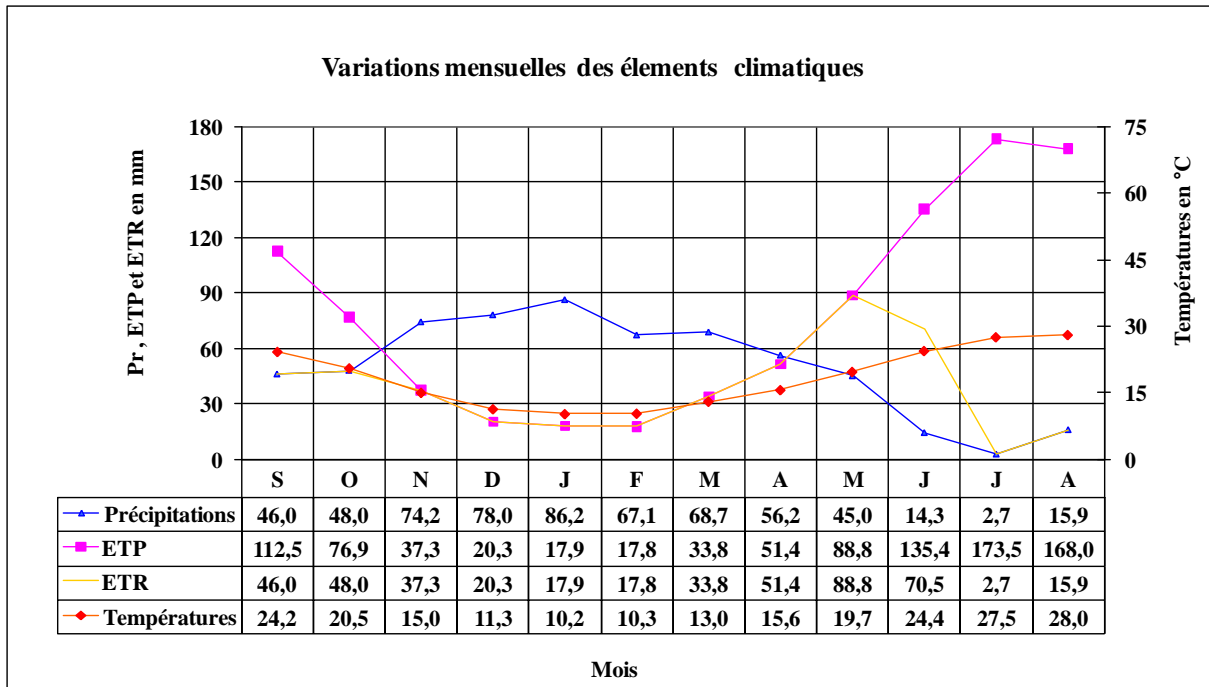


Fig. N°17 : Représentation graphique du bilan hydrique (station de Belkhir)

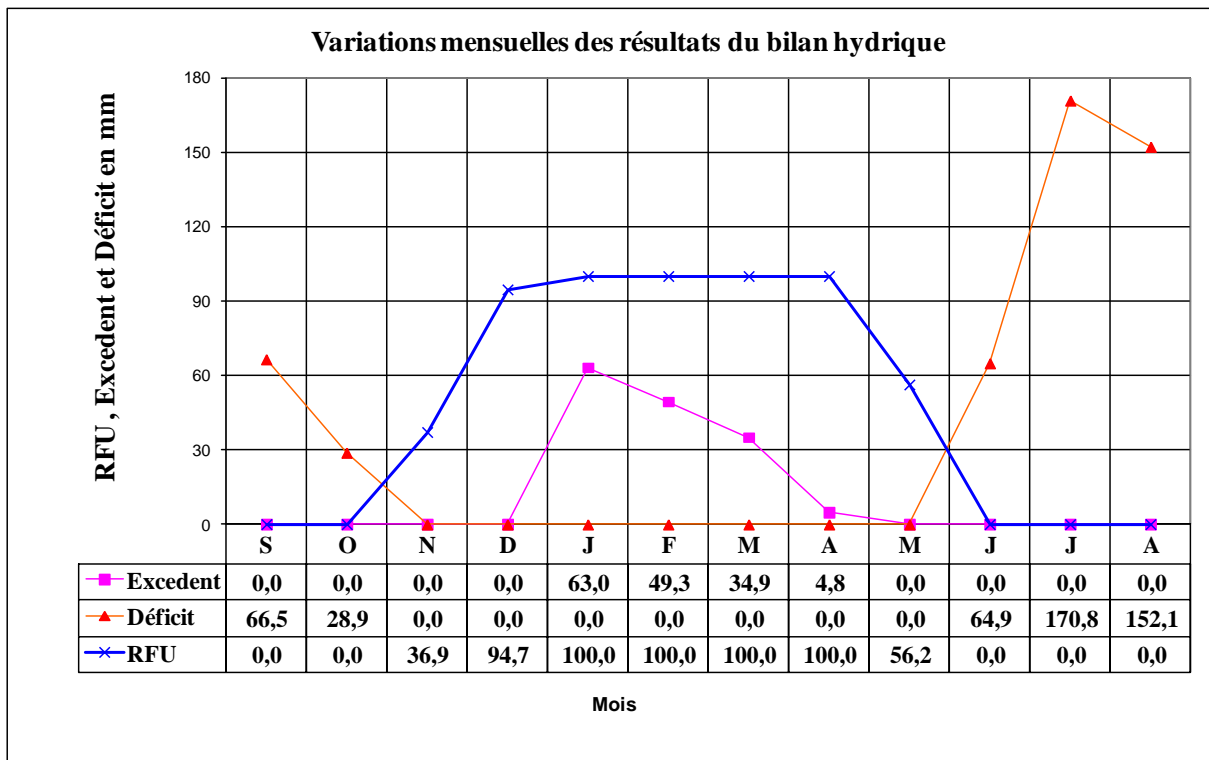
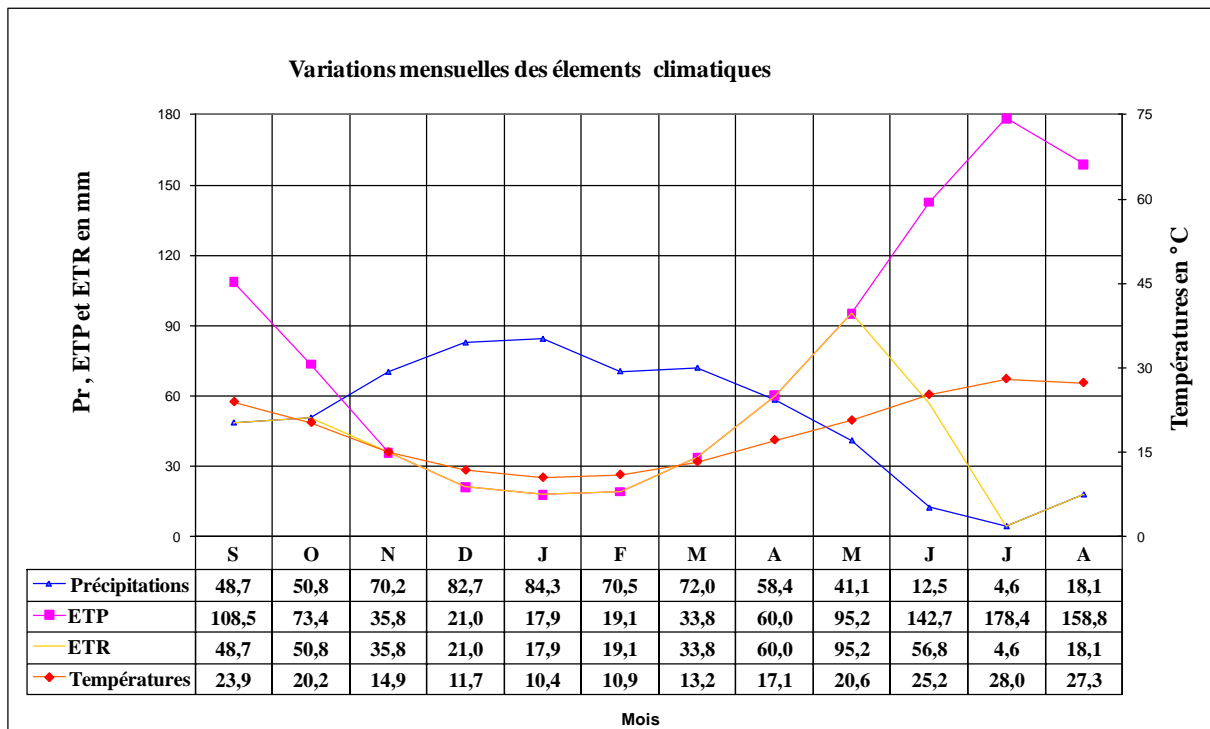
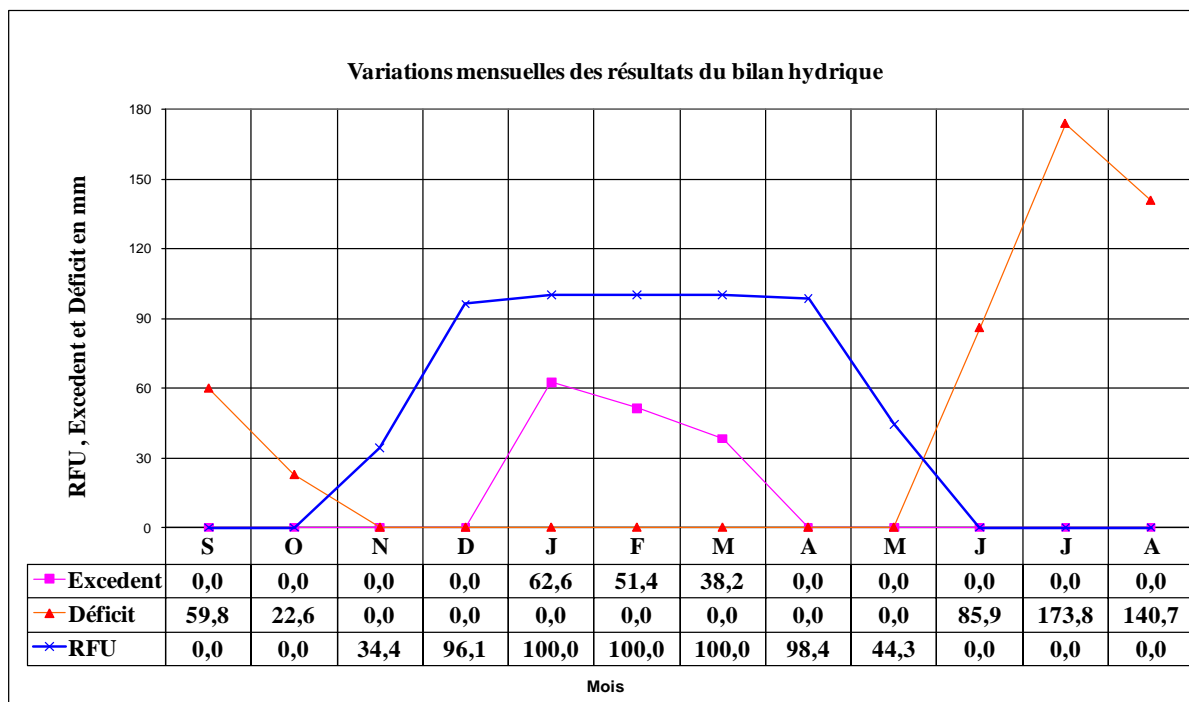


Fig. N° 18 : Représentation graphique du bilan hydrique (station de Belkhir)



**Fig. N°19 : Représentation graphique du bilan hydrique (station de Boucheouf)**



**Fig. N°20 : Représentation graphique du bilan hydrique (station de Boucheouf)**

#### IV.2. Estimation de l'écoulement

Pour l'estimation de l'écoulement la formule de Tixeront Berkallof nous donne le résultat suivant :

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

Si :  $P > 600$  mm l'équation devient :

$$R = \frac{P^3}{3}$$

R : Ruissellement en mm.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm/an.

Les résultats sont reportés sur le tableau ci-après ;

**Tableau N°13: Estimation selon la formule de TixerontBerkallof**

Station	P (mm)	ETP (mm)	R (mm)
<b>Belkhir</b>	602.3	933.6	72.83
<b>Boucheougouf</b>	613.9	944.5	77.12

#### IV.3. Estimation de l'infiltration

L'infiltration représente la quantité d'eau qui parvient à l'alimentation effective de la nappe aquifère.

D'après le bilan hydrologique l'infiltration est donnée par :

$$P = ETR + R + I$$

$$D'où: I = P - (ETR + R)$$

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

ETR : Evapotranspiration réelle en mm.

I: Infiltration en mm d'eau.

- Si  $I > 0$  : les entrées sont supérieures aux sorties.
- Si  $I < 0$  : Les entrées sont inférieures aux sorties.

Résultat des calculs :

**Tableau N°14 : Estimation de l'infiltration**

Stations	P (mm/an)	ETR (mm/an)	R (mm/an)	I (mm/an)
<b>Belkhir</b>	602.3	450.4	72.83	79.07
<b>Boucheougouf</b>	613.9	461.7	77.12	75.08

### Conclusion

Cette étude, nous a permis de déterminer les principales caractéristiques climatologiques de la plaine. Un climat sub-humide a été mis en évidence avec un hiver pluvieux et un été sec, conformément à l'abaque du Climagramme de L. Emberger, ce qui produit des modifications périodiques de la chimie des eaux par l'effet de dilution pendant les périodes pluvieuses et par l'effet de l'évaporation pendant les périodes sèches.

Le bilan hydrique établi selon la méthode de Thornthwaite à partir des données climatiques recueillies au niveau des deux stations météorologiques (Belkheir et Bouchegouf) au cours d'une période de 20 ans allant de 1996/1997 jusqu'à 2016/2017 donne les lectures suivantes :

- A l'échelle mensuelle, on enregistre une période de sécheresse qui se traduit par un déficit agricole (DA), totalisant 483.2 mm au niveau de la station de Belkheir et 482.8 mm au niveau de celle de Bouchegouf.
- L'approvisionnement en eau de la RFU commence à partir du mois de Novembre et atteint un maximum de 100 mm dans toute la zone d'étude et s'étend jusqu'au mois de mai.
- Une période de décharge de la RFU, qui se manifeste à partir du mois de Mai, après quoi l'irrigation devient nécessaire jusqu'au mois d'Octobre.
- La température et l'ETP sont au minimum (janvier pour les stations de Belkheir et Bouchegouf), avec respectivement des températures de 10.22 °C et 10.43 °C et une ETP de 17.80 mm et 17.9 mm.
- Les précipitations sont à leur maximum de l'ordre de 86.15 mm et 84.31 mm durant Janvier et au minimums avec 2.72 et 4.63 mm respectivement pour les deux stations météorologique.
- En terme de moyennes annuelles, La région de Guelma reçoit des précipitations qui varient entre 880.5 mm/an et 936.4 mm/an avec une température moyenne annuelle de 18.3°C et 18.6°C pour les deux stations de Belkheir et Bouchegouf.

# **CHAPITRE IV**

## **HYDROGEOLOGIE**

## **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 aquifères.

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

### **I. 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, indiquant un 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 de la région, les alluvions quaternaires (poudingues, graviers, galets, limons ...) à forte perméabilité et renfermant une nappe très importante.

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 de 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)

#### **I.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.

##### **I.1.1. Aquifère des alluvions Mio-plio Quaternaires de Guelma**

C'est un bassin d'effondrement de 106 km<sup>2</sup> 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 Km<sup>2</sup>), constitué de deux nappes superposées (Tableau 15) ; une nappe libre du Quaternaire et une semi-captive pliocène.

- Aquifère de la vallée actuelle (44 Km<sup>2</sup>), 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 km<sup>2</sup> (la surface des travertins contenant une nappe large de 12,5 km<sup>2</sup>, avec une épaisseur de 55 m).

**Tableau 15 : Description Hydrogéologique des formations de la plaine de Guelma**

Ere	Système	Lithologie	Epaisseur	Intérêt Hydrogéologique	
Quaternaire	Récent	-Alluvions actuelles : galets, calcaires, limons, travertins -Alluvions anciennes : ➤ Basse terrasse : sables, cailloutis, limons.  ➤ Moyenne terrasse : sables, cailloutis, galets, limons, conglomérats.  ➤ Haute terrasse : galets, conglomérats, limons. sables	8-16	perméables	Aquifère de la basse terrasse
			30-50		Aquifère de la moyenne 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, la nature, ainsi que son évolution latérale.

**1- Coupe hydrogéologique d'orientation Ouest – Est :** Une coupe transversale 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° 21)

- D'après la coupe, on remarque la succession des matériaux Pliocène en profondeur, les lentilles d'argiles et les alluvions Quaternaires fins, en couverture qui se poursuit d'Est en Ouest, jusqu'à l'arrivée aux travertins, ce 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)

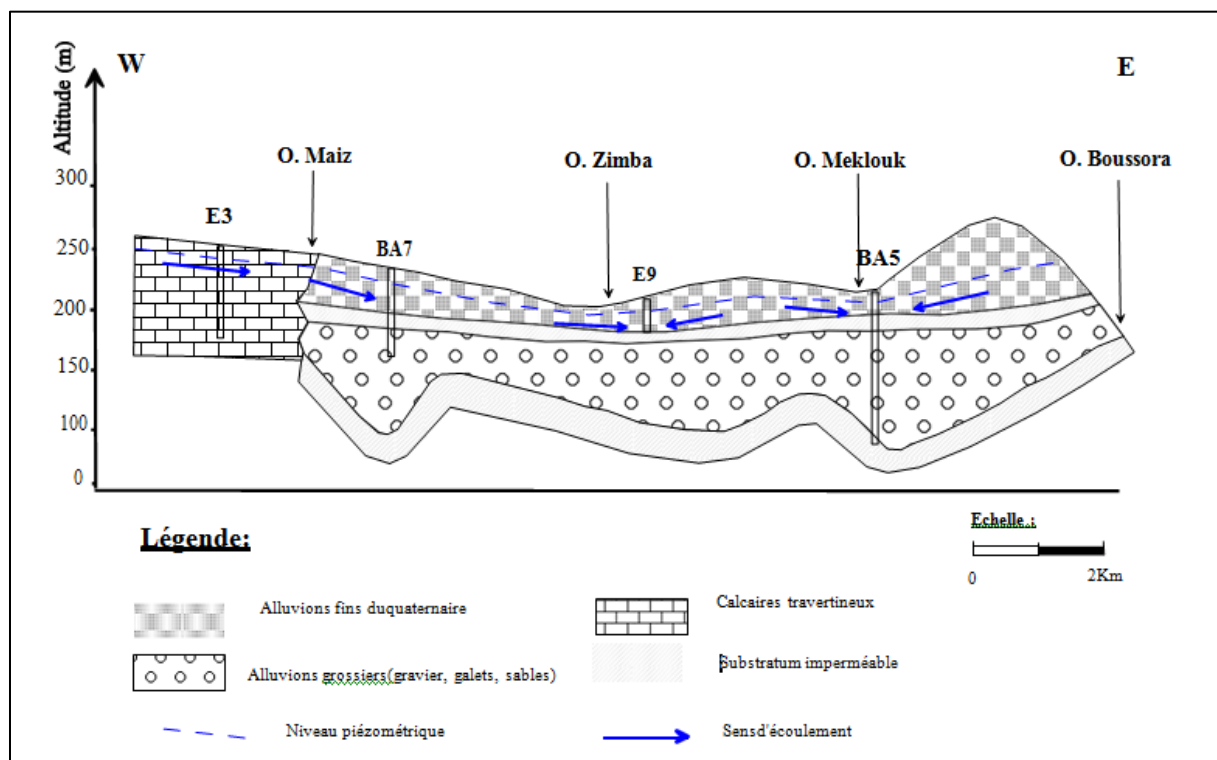


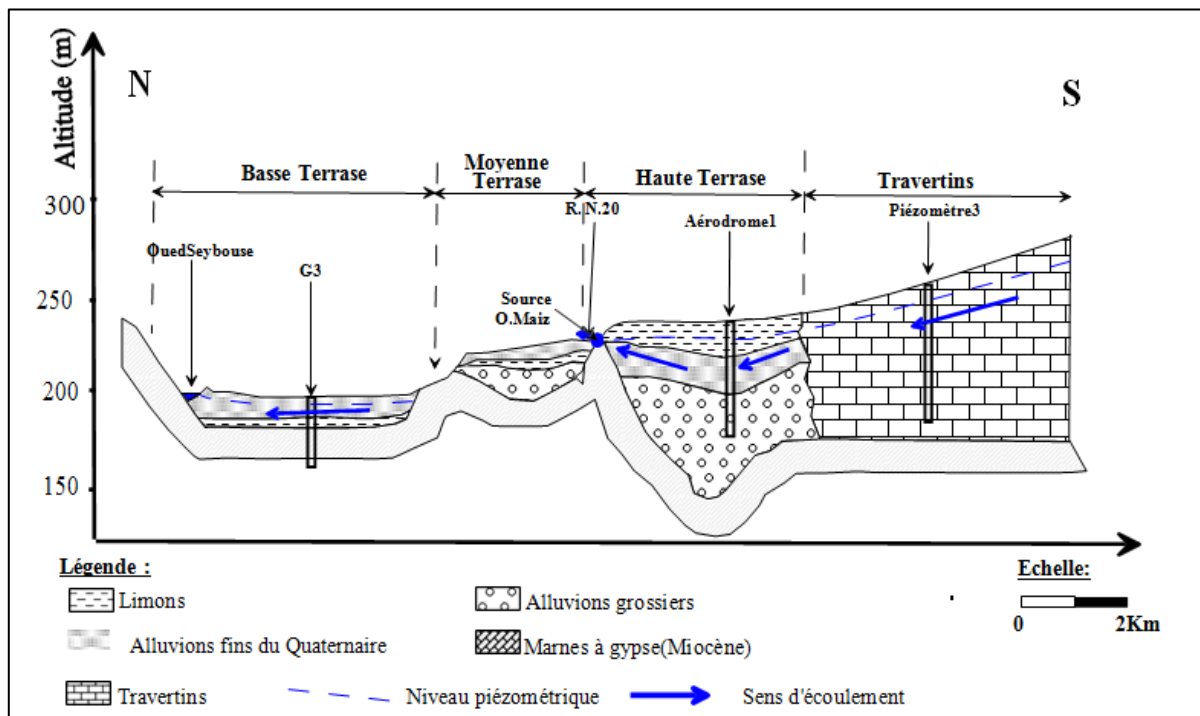
Fig. N° 21 : Coupe hydrogéologique au niveau de la plaine de Guelma (d'après B. Gaud, 1976)

## 2- Coupe hydrogéologique d'orientation Nord-Sud :

La coupe hydrogéologique qui a été réalisée en 1974 d'après B. Gaud (Fig. N° 22), à l'Est de la commune de Belkheir a permis de montrer la description lithologique suivante :

- Au Nord, 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 d'environ 15 mètres.
- La nappe de moyenne terrasse constituée 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-quadernaires 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.
  - Dans la partie sud, les calcaires travertineux sont absents et reculent au Sud de la plaine vers les monts de la Mahouna.



**Fig. N° 22 : Coupe hydrogéologique Nord-Sud dans la plaine de Guelma (D'après Brahmia, 2009, modifiée par Béchiri)**

### I.1.2. Aquifère des formations carbonatées dans la région d'Héliopolis-El Fedjoudj :

Les formations carbonatées sont représentées par les calcaires néritiques qui font partie de l'ensemble nord oriental des séries néritiques constantinoises.

Cet aquifère est constitué essentiellement par des formations calcaires bio-détritiques ou micritiques et calcaire-dolomitiques du Sénonien supérieur, susceptibles d'être aquifères (De Marsily, 1981 ; Backalowitch et Mangin, 1980).

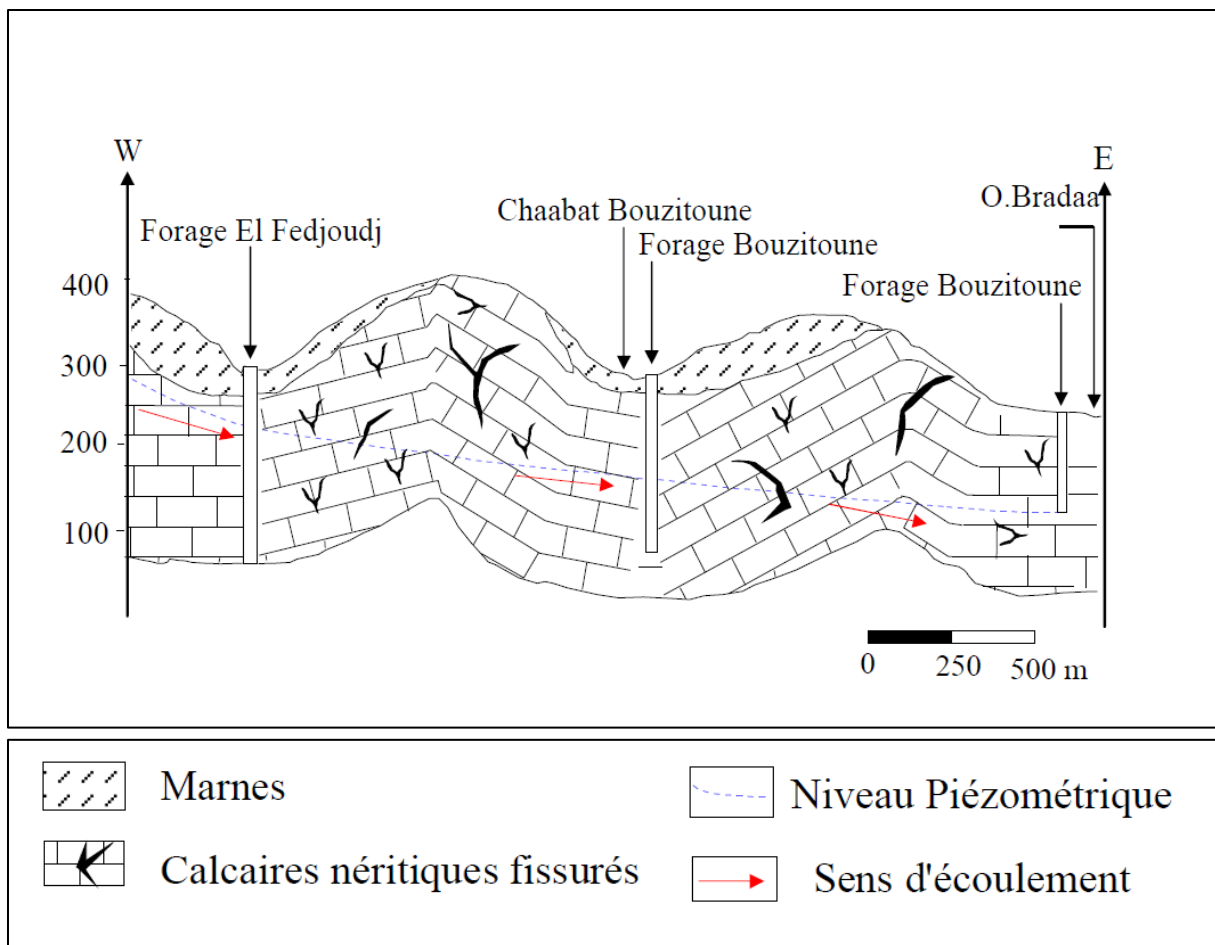
Les affleurements néritiques sont visibles dans le Djebel Débar qui culmine les 1411m et peuvent être la zone d'alimentation des autres affleurements qui apparaissent en mamelons au

sud de Hammam Meskhoutine, à Hammam Bradaa (Héliopolis), au sud ouest de Guelma et à l'ouest de Nador (Vila, 1980). Les limites en profondeur de la nappe sont inconnues.

D'après les logs stratigraphiques et les pertes partielles et notamment totales enregistrées lors de la réalisation des forages, le néritique du secteur d'étude recèle une karstification très intéressante (située à des profondeurs variables entre 50 et 350 m) du point de vue étude et exploitation du système.

L'aquifère est exploité à ce jour par une dizaine de forages totalisant un débit de 357 l/s, soit 11,25 Hm<sup>3</sup>/an.

Dans la région de Hammam Ouled Ali les formations Carbonatées sont représentées par quelques dizaines de mètres d'un calcaire Sénonien supérieur, calcaire bioditique ou micritique analogue à celui de Douar Bouzitoune (Héliopolis). (Fig. N° 23)



**Fig. N° 23 : Coupe hydrogéologique Ouest-est (Nappe Hammam Bradâa)**

(D'après Brahmia, 2009. Modifiée par Aissaoui 2017)

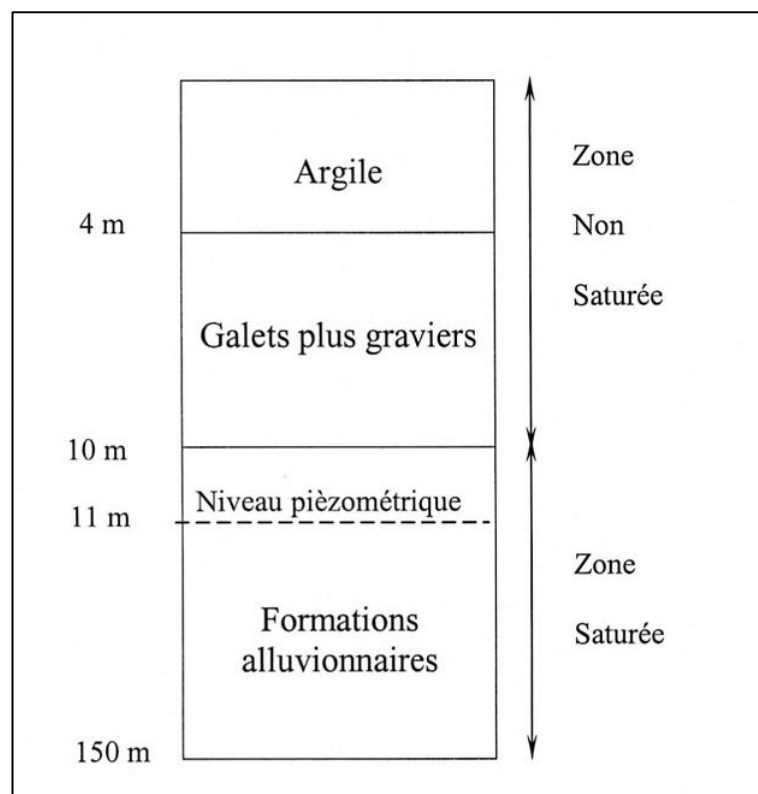
Ces formations plongent en profondeur vers l'Est, sous les nappes de charriage pour réapparaître d'abord dans la région de Bouzitoune, puis en petite fenêtre près de la source romaine. Elles sont exploitées par un seul forage de 173 m de profondeur qui donne un débit de 20 l/s, alimentant le village.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

## I.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° 24) 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, 2007)



**Fig. N° 24: Coupe schématique illustrant la limitation de la zone non saturée et la zone saturée dans la plaine de Bouchegouf (Chaoui, 2007)**

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 SW-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)

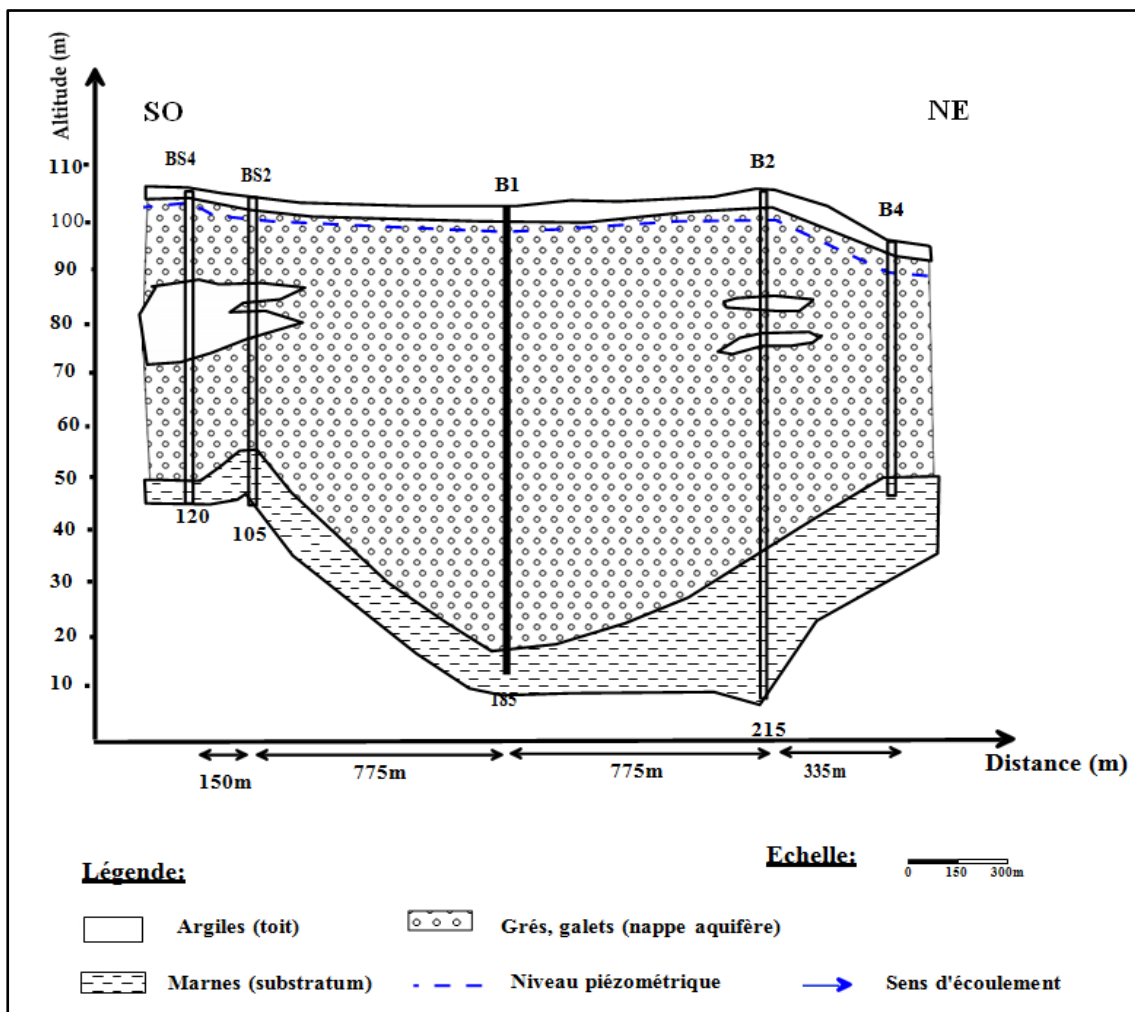


Fig. N° 25 : Coupe hydrogéologique N° 4 dans la région de Boucheouf  
(Chaoui, 2007)

## II. La piézométrie

### II.1. La 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 des zones qu'elles représentent.

## II.2. Carte piézométrie de l'aquifère alluvionnaire de Guelma

Dans l'aquifère alluvionnaire de Guelma, on a réalisé la carte piézométrique sur plus de 60 puits, durant la période de mai 2017 (correspondant aux basses eaux). (Fig. N° 26)

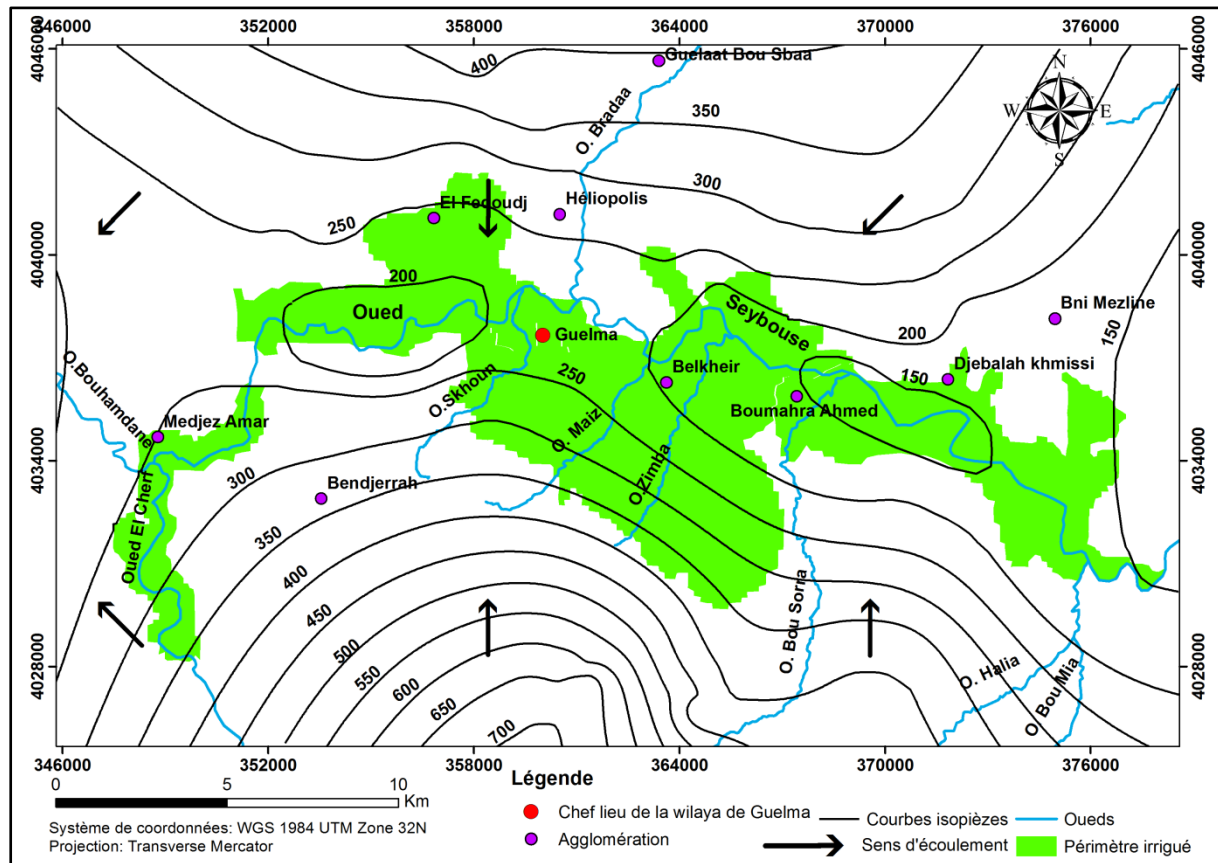


Fig. N° 26 : Carte piézométrique de l'aquifère alluvionnaire de Guelma (Touati Mai, 2017)

La carte piézométrique réalisée durant les basses eaux fait ressortir ce qui suit :

Dans la partie Sud de l'oued Seybouse, l'écoulement se fait du Sud vers le Nord, tandis que dans la partie Nord de l'oued l'écoulement au niveau d'El Fedjoudj se fait du Nord vers le Sud. Dans les régions de Boumahra Ahmed et Medjez Ammar il se fait du Nord-est vers le Sud-ouest.

D'une façon générale on voit que la nappe alimente l'Oued Seybouse dans les deux parties Sud et Nord.

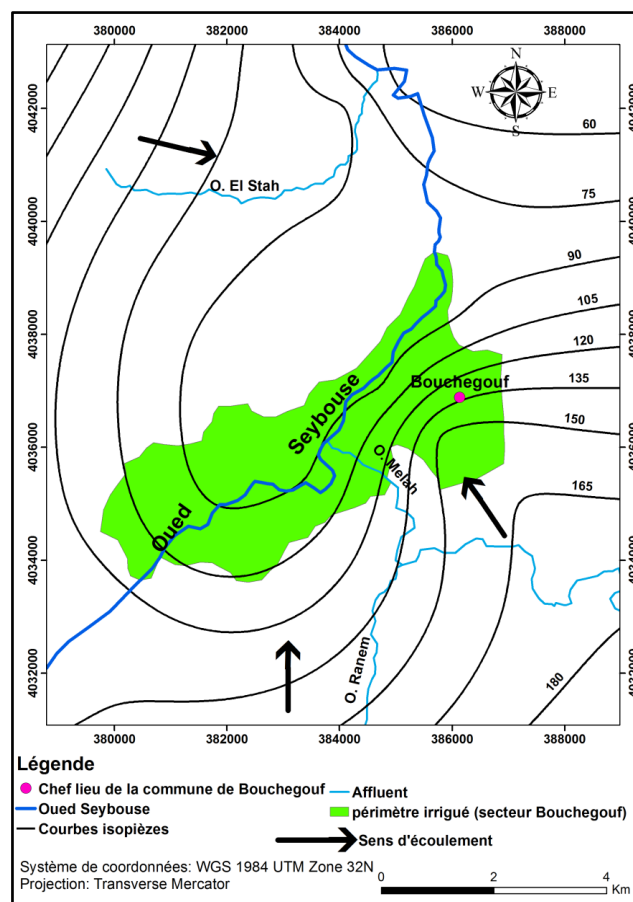
D'après l'espacement des courbes isopièzes qui se resserrent dans la partie Sud-ouest de la région de Guelma, on peut déduire l'importance du gradient hydraulique dans cette zone qui présente la valeur de 0.04.

La partie centrale de la plaine de Guelma, située entre Boumahra et Belkheir est marquée par un espacement plus important entre les isopièzes indiquant ainsi une diminution du gradient hydraulique (de l'ordre de 0.028), le sens d'écoulement devient de direction Sud-ouest, Nord-est.

Dans la partie Nord d'Heliopolis et d'El Fedjoudj les courbes isopièzes sont plus espacées indiquant ainsi un gradient hydraulique plus faible (de l'ordre de 0.021) que dans la partie Sud de l'oued Seybouse.

### II.3. Piézométrie de la nappe alluviale de Bouchegouf

La carte piézométrique de la nappe alluviale de Bouchegouf (Fig. N° 27), montre que l'écoulement se fait du Nord vers le Sud et du Sud-ouest vers le Nord-est dans la partie Sud de Bouchegouf tandis que dans la partie Nord l'écoulement se fait de l'Ouest vers l'Est indiquant ainsi que la nappe alimente l'oued.



**Fig. N° 27 : Carte piézométrique de la nappe alluviale de Bouchegouf (Touati Mai, 2017)**

Dans la partie Est de l'oued Seybouse et du Nord de l'oued Melah, cette zone est caractérisée par des courbes isopièzes assez serrées pour l'ensemble de la carte, le gradient hydraulique est de 0.05.

Dans la zone située au Sud de la confluence de l'oued Melah, les courbes isopièzes sont assez espacées avec un gradient hydraulique de l'ordre de 0.029.

Pour la zone qui s'étend le long de la rive gauche de l'oued Seybouse on remarque que l'écoulement se fait vers l'oued Seybouse, les courbes isopièzes sont nettement espacées, avec des gradients hydrauliques très faible (0.0075), en raison des faibles pentes.

### **Conclusion**

L'étude hydrogéologique a été abordée dans le but d'étudier la relation entre les eaux de surfaces et souterraines, l'interprétation de la carte piézométrique a montré la relation nappe oued.

La plaine de Guelma renferme deux nappes : 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 km<sup>2</sup> 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 avec un système à deux phases: eau et formations alluvionnaires.

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

La piézométrie réalisée 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 nappe - Oued et à l'existence des formations alluvionnaires qui laissent les polluants chimiques s'infiltrer vers la nappe et leur faible épaisseur, surtout celle de la basse terrasse exploitées par des puits domestiques des agriculteurs de la région pour irriguer leurs cultures.



## **CHAPITRE V**

# **CARACTERISTIQUES DU PERIMETRE IRRIGUE GUELMA- BOUCHEGOUF**

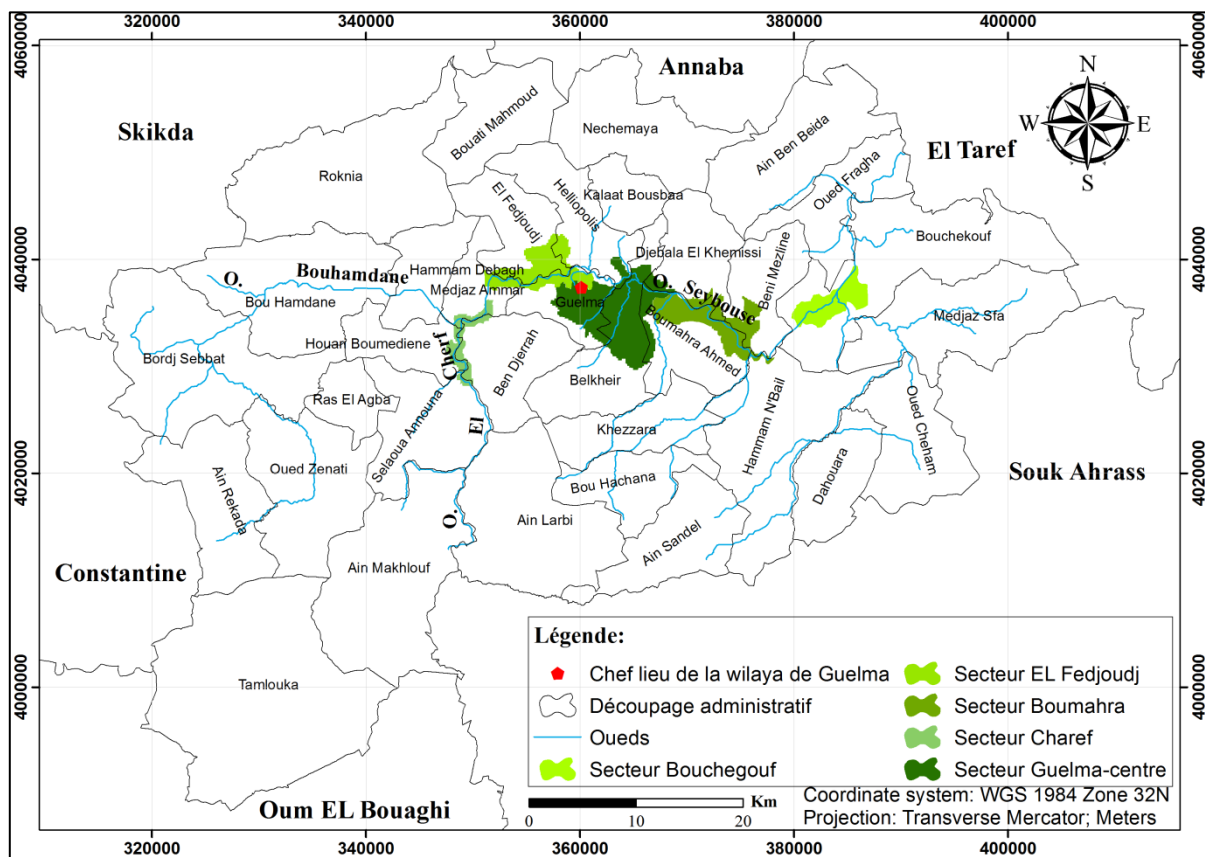
**Introduction**

L'activité agricole modifie fortement la qualité et la dynamique de l'eau dans le milieu. Par la transformation du couvert végétal, le travail du sol, l'apport de fertilisants et de pesticides, l'agriculture altère le cycle de l'eau. (Laurent, 2013)

Face à ces risques, nous présentons le périmètre d'irrigation Guelma-Boucheougouf qui est considéré comme le premier responsable de cette pollution, en nous intéressant aux représentations et aux actions des agriculteurs.

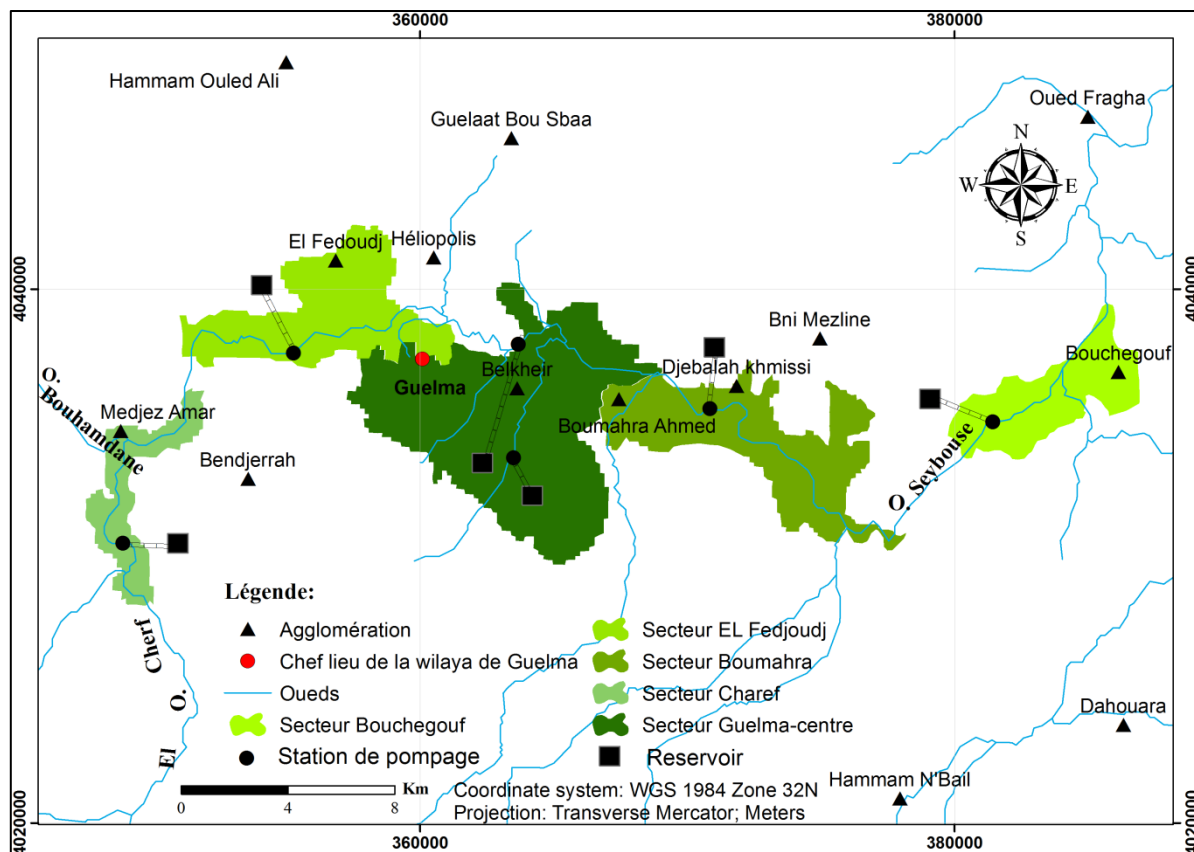
**I. Présentation du Périmètre d'irrigation Guelma-Boucheougouf**

Le périmètre d'irrigation Guelma-Boucheougouf qui a été mis en exploitation à partir de 1996, disposant 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 Drian. (O.N.I.D, 2016)



**Fig. N°28 : Carte de la localisation du périmètre irrigué Guelma- Boucheougouf (Touati, 2019)**

Le périmètre, est subdivisé en cinq secteurs opérationnels indépendant l'un de l'autre. (Fig. N°29) et (Tableau 16)



**Fig. N° 29: Carte des différents secteurs du périmètre d’irrigation Guelma-Boucheougouf (Touati, 2019)**

**Tableau 16: Superficies des secteurs irrigués et leurs besoins en eau (ONID Guelma, 2016)**

Secteur	Superficie (Ha)			Besoin en eau
	Mise en exploitation	Equipée	Irriguée	
Guelma-Centre	1996	3500	3255	19400000 m <sup>3</sup>
Boumahra	2001	2600	2420	14400000 m <sup>3</sup>
Cherf	2004	605	565	3400000 m <sup>3</sup>
Boucheougouf	2000	880	820	4900000 m <sup>3</sup>
El-Fedjouj	2001	2355	2190	13000000 m <sup>3</sup>
Total	/	9940	9250	55100000 m <sup>3</sup>

## II. Evaluation des besoins en eau pour l’irrigation

L'eau assure non seulement les besoins en eau des plantes dans le sol à travers ses racines, mais également l'apport en éléments minéraux dont les plantes ont besoin (Brahmia, 2016).

L'absorption d'eau et des matières dissoutes sont deux phénomènes complémentaires mais indépendants. L'eau est présente en abondance dans les tissus végétaux (jusqu'à 95% de leur poids). Elle maintient leur turgescence et assure le transport et les échanges de matières dissoutes à l'intérieur des plantes. L'eau est également partiellement métabolisée puisqu'elle est, avec le gaz carbonique l'une des matières premières des réactions de photosynthèse.

Des critères essentiels s'imposent pour l'évaluation des besoins en eau d'irrigation. Les principaux facteurs déterminant la consommation d'eau agricole sont : la superficie irriguée, le type de culture, les conditions climatiques et les techniques d'irrigations employées.

Les dotations en eau d'irrigation sont assez variables, compte tenu de la forte irrégularité du climat et des transitions pouvant se faire d'une région à l'autre, les dotations sont de 4500m<sup>3</sup>/ha/an pour les zones sub-telliennes (Guelma). Le potentiel irrigable est estimé actuellement à 5074.11 ha, ce qui représente 11.99 % de la superficie agricole utile et 6.88 % de la surface agricole totale. 8.31 % de cette surface sont gérés par la petite et moyenne hydraulique, alors que le reste par la grande hydraulique. Le potentiel irrigable reste relativement limité au regard de la superficie agricole totale et au rôle que doit jouer ce secteur dans le développement socio-économique du bassin. Le volume totale nécessaire pour répondre au besoin de l'irrigation pour l'ensemble des terres irriguées dans le bassin est estimé pour l'année 2006 à 22.83 hm<sup>3</sup> /an.

**Tableau 17: Répartition des surfaces agricoles totale et utile dans les communes du bassin de Guelma (Brahmia, 2016)**

Commune	SAT (ha)	SAU (ha)
Guelma	3300	2623
Hammam	7193	2884
Khezara	9793	5814
Bouhachana	6219	4240
Heliopolis	7138	4067
El Fedjoudj	5738	3150
Guelaat Bousbaa	3438	2040
Belkheir	8812	5702
Djebala Khemici	6620	2660
Béni Mezline	5960	2404
Boumahra,Ahmed	9475	6747
Totale	73686	42331

## II.1. Ressource en eau

L'alimentation en eau du périmètre est assurée essentiellement par le barrage de Hammam Debagh situé à environ 25 Km du périmètre (du premier secteur). Sa capacité totale de 220Hm<sup>3</sup>, mise en eau en 1986 dont 55 Hm<sup>3</sup> est régularisable pour l'irrigation, en plus d'un

volume moyen annuel de 16 Hm<sup>3</sup> constituent les apports non régularisé provenant des affluents de Oued Seybouse.

Le volume total théorique destiné à l'irrigation du périmètre s'élève a 71 Hm<sup>3</sup> (O.N.I.D. 2016).

### II.1.1. Volume annuel d'eau pompé de l'oued Seybouse

La distribution des eaux pompées de l'oued Seybousee pour l'irrigation du périmètre a commencé progressivement avec 2.4 hm<sup>3</sup> à partir de l'année 1996, l'année de mis en exploitation du secteur de Guelma-centre.

De l'année 2002 une augmentation du volume affecté à l'irrigation a été enregistré (23.4hm<sup>3</sup>), pour atteindre une valeur maximale de 35.61 hm<sup>3</sup> en 2015. ( Fig. N°30)

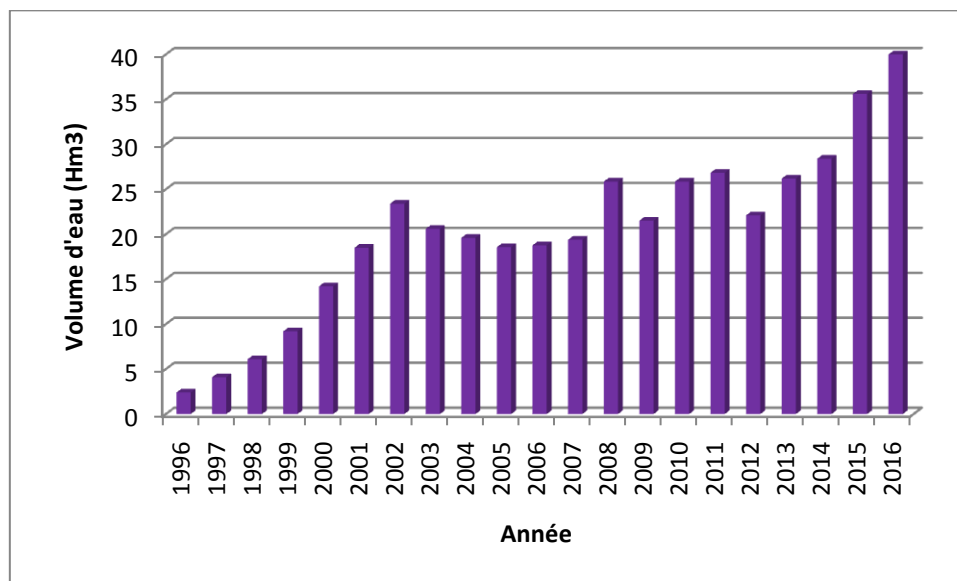


Fig. N° 30: Evolution des volumes d'eau consommés par année dans le périmètre de Guelma-Boucheouf. (O.N.I.D, 2016)

## II.2. Mode d'irrigation

Les réseaux d'irrigation du périmètre sont conçus pour assurer une irrigation par aspersion à la demande. (O.N.I.D, 2016)

### II.2.1. L'irrigation par aspersion

La technique d'irrigation par aspersion est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle. Il existe deux grandes catégories d'arrosage par aspersion en fonction du matériel utilisé :

- Les rampes mobiles.
- Les rampes fixes.

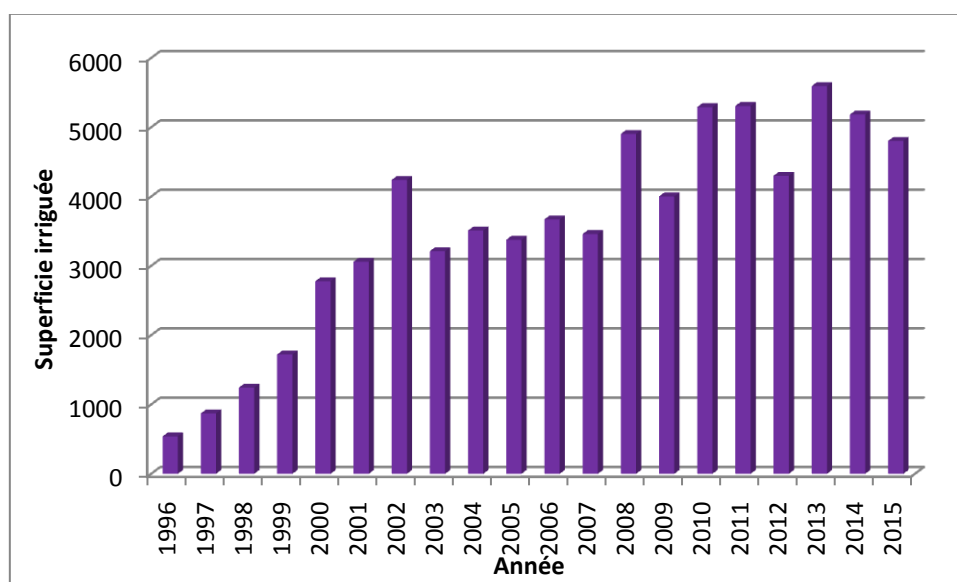
Avec l'aspersion, l'eau d'irrigation est amenée aux plantes sous forme de pluie artificielle, grâce à l'utilisation d'appareils d'aspersion alimentés en eau sous pression.



**Fig. N°31 : l'irrigation par aspersion**

### II.2.2. L'évolution des superficies irriguées

La superficie des terres irriguées a évolué après un démarrage lent entre 1996 et 2002, de 540 à plus de 500 ha (Fig. N°32). Les superficies irriguées ont dépassées les 5000 ha pour atteindre un maximum de 5595 ha en 2013.



**Fig. N°32 : Evolution des superficies irriguées dans le périmètre de Guelma-Boucheouf. (O.N.I.D, 2016)**

### II.2.3. Schéma de distribution de l'eau d'irrigation

Le schéma de distribution (barrage-parcelle), consiste à des lâchés dans l'oued à partir du barrage en fonction des besoins du périmètre. L'eau est récupérée par des seuils de prise d'eau puis relevée moyennant les stations d'exhaure ( premier pompage) vers les stations principales de refoulement se trouvant à proximité des stations d'exhaure. Par un deuxième pompage, l'eau est amenée par une conduite mixte : refoulement et distribution vers le réseau de conduites et par conséquent vers ligues parcelles irriguées.

Des réservoirs de régulation et de compensation semi enterrés et d'une capacité variant de 6700 à 33 900 m<sup>3</sup> sont implantés à la hauteur de chaque secteur et permettant de fournir

l'appoint pour l'irrigation en période de ponte d'une part et la régulation du fonctionnement automatique des stations de refoulement d'autre part.

Les stations de refoulement sont liées aux réservoirs par des conduites de refoulement de diamètre variant de 600 à 1100 mm de diamètre et assurent la double fonction de refoulement distribution. (Fig. N°33)

L'amené de l'eau à la parcelle est assurée par des conduites principales et secondaires variant de 100 à 600 mm de diamètre. Cette eau est mise à la disposition des irrigant à travers des équipements hydromécaniques de distribution (Bornes d'irrigation) de diamètres 100 à 150 mm dotées de prise d'eau équipées en organes de régulation de pression, de débits et de comptage.

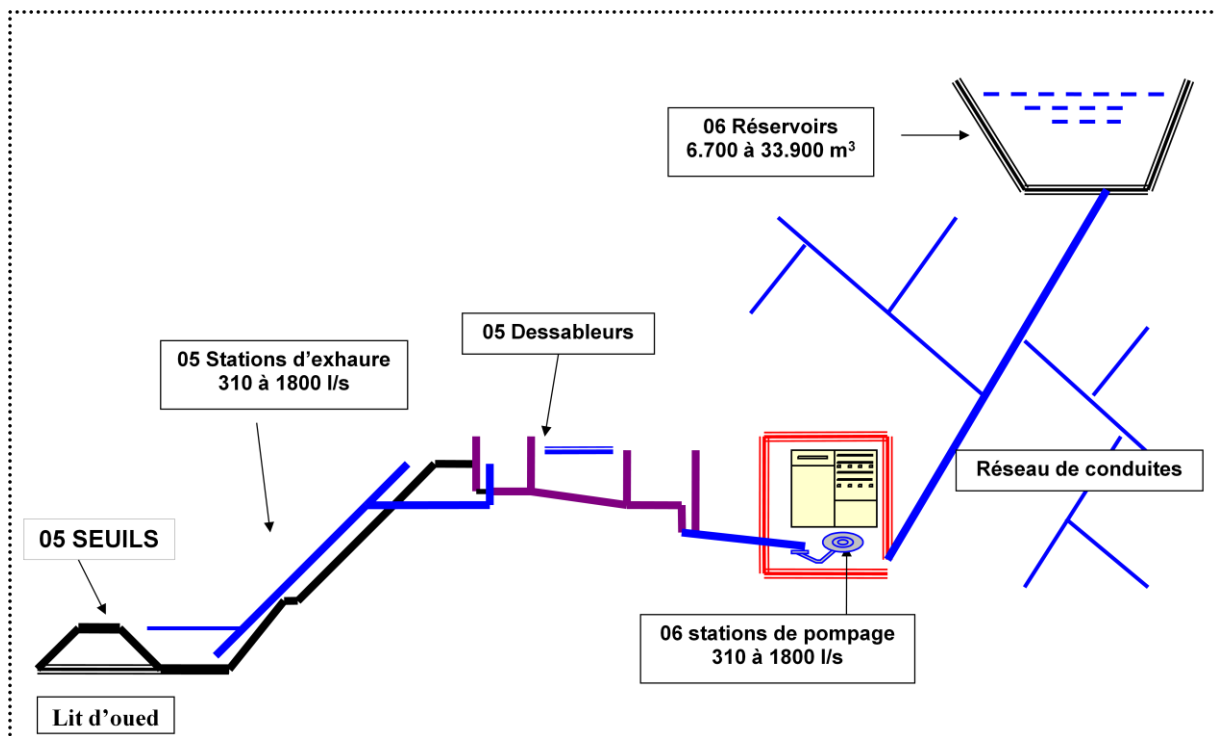


Fig. N°33 : Exemple du schéma de distribution de chaque secteur (ONID, 2016)

#### II.2.4. Consistance du périmètre d'irrigation

##### a) Ouvrages principaux

- ✓ 5 Barrages de prise d'eau (Seuils) à enrochements sur l'oued.
- ✓ 5 Stations d'exhaure de capacité allant de 310 à 1800 l/s.
- ✓ 5 Bassins de dessablement avec bâches de reprise.
- ✓ 6 Stations de pompage de capacité allant de 310 à 1800 l/s.
- ✓ 6 réservoirs de volume utile allant de 6700 à 33900 m<sup>3</sup>.

##### b) Réseau d'irrigation

- ✓ Linéaire total des conduites (AMC, Béton, Fonte et Acier) : 288000 ml.

- ✓ Appareillage hydromécanique : 1733 unités.
- ✓ Bornes d'irrigation ..... : 955 unités.

**c) Réseau d'assainissement**

- ✓ Fossés d'assainissement : 360 000 ml.
- ✓ Pistes d'exploitation : 45 000 ml.

**d) Équipements hydromécaniques, électriques et électromécaniques pour Six (06)**

**II.2.5. Stations de pompage**

- ✓ Pompe immergée : 10 Unités (310 ÷ 900) l/s.
- ✓ Groupe électropompe : 22 Unités (103 ÷ 360) l/s.
- ✓ Poste transformateur : 14 Unités (500 ÷ 4.000) KVA.

**II.2.6. Principe de fonctionnement des installations**

- ✓ Seuil fixe-prise d'eau

Il s'agit d'un barrage en enrochements bétonnés d'une faible hauteur de 2,5 m et d'une largeur de 4 m. Il est implanté en travers du lit de l'Oued Seybouse. Il a pour but de récupérer de plan d'eau et de maintenir le niveau de pompage nécessaire pour le bon fonctionnement des pompes d'exhaure.

- ✓ Station d'exhaure

Elle contient des groupes électropompes qui refoulent l'eau chargée vers des bassins.

- ✓ Bassins de dessablement

Avec des bâches de reprise, cet ouvrage situé entre la station d'exhaure et la station de pompage de façon à permettre le fonctionnement normal de cette dernière.

- ✓ Station de pompage

C'est une station de capacité allant de 310 à 1.800 l/s, abritant un groupe de pompage. Elle assure le remplissage d'un réservoir de stockage et en même temps la distribution. Le choix de type de pompes dépend du débit et de la hauteur de fonctionnement qui doit assurer la pompe avec le débit demandé.

- ✓ Réservoir

Les réservoirs de volume utile allant de 6.700 à 33.900 m<sup>3</sup>. Ils ont pour but de fournir l'appoint pour le réseau d'irrigation en période de pointe.

- ✓ Réseau de canalisation

Le réseau de canalisation pour chaque secteur comprend :

- Une conduite de refoulement.
- Des conduites principales.
- L'appareillage hydromécanique.
- Les ouvrages en ligne de protection de l'appareillage hydromécanique.

- ✓ Réseau d'assainissement



Comprend pour chaque secteur : des fossés d'assainissement, des ouvrages d'art de franchissement, des raccordements de fossé et d'accès aux parcelles ainsi que les pistes d'exploitation en TVO compacté.

### **III. Analyse Agro- pédologique**

Le sol est la formation naturelle de surface à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, chimique et biologiques (Demolon, 1968).

Le sol constitue, le point sensible de l'environnement terrestre et joue un rôle particulier, à ce titre, il doit être parmi les objectifs prioritaires qui ne concernent pas seulement les pédologues, mais aussi les agronomes, les forestiers, les urbanistes, tous ceux qui se préoccupent de la préservation de l'environnement.

Toute modification défavorable de l'atmosphère, de l'hydrosphère, de la biosphère a sa répercussion sur l'état du sol qui, dans la majorité des cas –malheureusement pas toujours– joue, en quelque sorte, un rôle d'épurateur vis-à-vis de l'air et de l'eau (Duchaufour, 1991).

L'analyse pédologique du périmètre irrigué Guelma- Boucheouf a pour objectif d'apporter les données fondamentales caractérisant les sols (évaluation des sols).

#### **III.1. Evaluation des sols du périmètre irrigué**

L'évaluation des sols agricoles consiste à mesurer la quantité de nutriments solubles disponibles pour les plantes (chimie du sol), mais aussi la physique du sol, et d'activité biologique de ce dernier. (Duchaufour, 1991)

##### **III.1.1. Propriété physique du sol du périmètre irrigué**

La figure 34 : a pour objectif de définir les unités-sols de la région d'étude, et de préciser leur extension géographique donc elle permet de dresser l'inventaire des sols de la région d'étude, de les classer en fonction de leurs aptitudes (Tableau 18), donc de dessiner les grandes lignes pour comprendre les interactions qui existent entre chaque type de sol et son milieu.

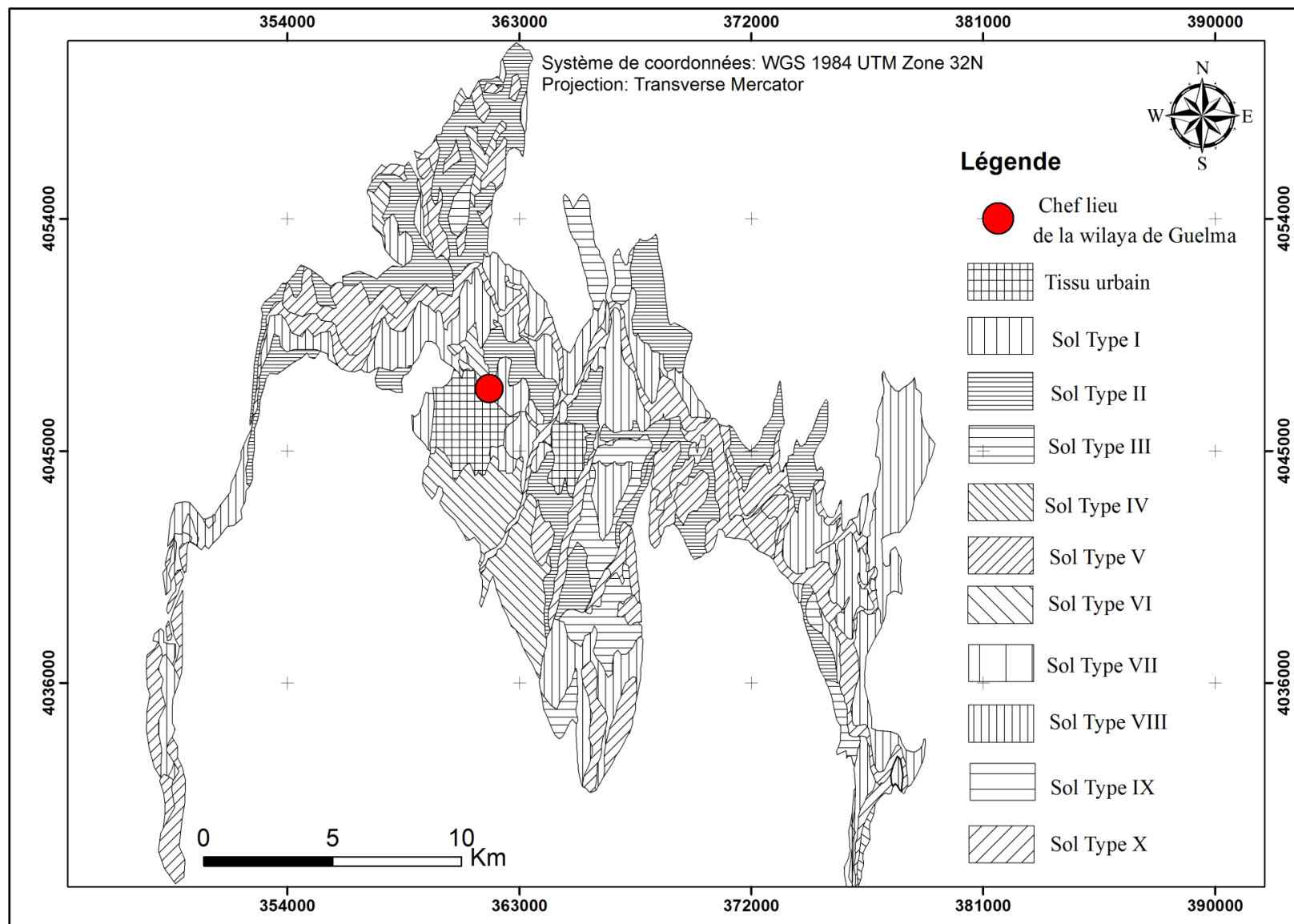


Fig. N° 34 : Carte des types des sols du périmètre irrigué Guelma-Bouchegouf (des quatre secteurs) (Touati, 2019)

**Tableau 18: La description des différents types de sols et leurs aptitudes culturales**

Types de sols	Description	Aptitudes culturale
<b>I</b>	Sols argileux à caractères vertiques profonds, à structure défavorable ; leur irrigation est possible si, périodiquement sont effectués des travaux de sous-solage profonds accompagnés d'une sole non irriguée tous les cinq (05) ans pour régénérer leur structure.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bons pour maraîchage adapté aux sols lourds (artichauts, choux,...).</li> <li>-Moyens pour cultures industrielles.</li> <li>-A vocation céréalière.</li> </ul>
<b>II</b>	Sols profonds de texture moyenne à fin avec 45 % d'argiles, à structure défavorable, irrigables.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bon pour maraîchage.</li> <li>-Bon pour fourrages et céréales.</li> <li>-Moyens pour cultures industrielles.</li> </ul>
<b>III</b>	Sols profonds argileux, avec 45 à 60 % d'argiles, à structure défavorable, irrigables.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bon pour maraîchage adaptés aux sols lourds.</li> <li>-Moyens pour cultures industrielles.</li> <li>-Moyens pour céréales et fourrages (blé dur, vesce-avoine, fétuque, ray-grass, bersim).</li> </ul>
<b>IV</b>	Sols moyennement profonds (30 cm), sur croutes calcaires, a encroutement friable, pouvant être approfondies par rootages profond et/ou sous-solage, structure favorable, texture fine avec moins de 45% d'argiles, irrigable si les superficies de terre à aménager sont insuffisantes mais non irrigables en priorité	<p>Après sous-solage, rootage et éventuellement épierrage :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Bon à moyen pour les céréales, et fourrage (sauf luzerne).</li> <li>-Bon pour maraîchage après épierrage (sauf artichauts, tomates, aubergines, piments, poivrons et asperrges).</li> <li>-Moyens pour les cultures industrielles (sauf betteraves).</li> </ul>

**Tableau 18 : La description des différents types de sols et leurs aptitudes culturales (suite)**

<b>Types de sols</b>	<b>Description</b>	<b>Aptitudes culturale</b>
<b>V</b>	De texture argileuse avec 45 a 60% d'argile, moyennement profonds (30-50 cm), structure défavorable, irrigables.	-Bon pour maraîchage, adapté aux sols lourds. -Moyen pour cultures industrielles. -Limité pour fourrage et céréales (vesce-avoine, fétuque, ray-grass, bersim, blé dur).
<b>VI</b>	De texture fine avec 45 a 60% d'argile, peu profond (30-50 cm), structure défavorable, irrigable.	-Bon pour céréales et fourrage (sauf luzerne). -Bon pour maraichages. -Moyen pour cultures industrielles.
<b>VII</b>	De texture fine avec moins de 45% d'argile, moyennement profonds (50-80 cm), structure défavorable, irrigable.	-Bon pour toutes les cultures.
<b>VIII</b>	De texture fine avec moins de 45% d'argile, moyennement profonds, structure favorable, irrigables.	-Bon pour toutes les cultures.
<b>IX</b>	De texture fine avec moins de 45 a 60% d'argile, profonds, structure défavorable, irrigable.	-Bon pour arboriculture, adaptés aux sols lourds. -Bon pour maraichages. -Moyen pour cultures industrielles. -Limité pour fourrage et céréales (vesce-avoine, fétuque, ray-grass, bersim, blé dur).
<b>X</b>	Sols alluvionnaires.	-Sol aptes aux maraîchages.

Source : O.N.I.D, 2016

### **III.2. Les systèmes culturaux**

Les systèmes culturaux retenus sont

#### **III.2.1. Les assolements**

L'assolement se définit comme le découpage des terres d'une exploitation agricole en parties distinctes (soles) en fonction de leurs capacités de production. Chaque sole est consacrée à une culture donnée et cette consécration vaut pour une saison.

Il s'exprime en pourcentage (%) à la surface agricole utilisée (S.A.U) pour chaque culture.

L'assolement permet une répartition des travaux agricoles et dépend des facteurs agrométéorologiques, des décisions prises chaque année en fonction de l'organisation du travail, de la nécessité économique, aussi que des orientations du pays. (Gonde et Jussiaux, 1980)

#### **III.2.2. La rotation**

C'est l'ordre de succession des cultures sur la même parcelle, naturellement sur les soles dédiées à telle ou telle culture, les paysans ont très tôt appliqué des principes de rotation des cultures pour la raison qu'ils avaient compris que cette technique offrait de nombreux avantages : lutte contre les organismes nuisibles; amélioration de la structure du sol (systèmes racinaires variés, rhizosphères différentes, etc.) ; amélioration de la fertilité (apport de nitrates par les légumineuses, engrais verts, composts, etc.) ; facilitation du travail du sol (compactage réduit, érosion diminuée, etc.).

Jusqu'à une époque récente, ces techniques de rotation des cultures étaient très largement appliquées, y compris dans les zones de grande production céréalières.

C'est principalement avec l'introduction massive des engrais et des produits phytosanitaires et l'utilisation d'un machinisme agricole conséquent, sinon démesuré, que les pratiques de polycultures en rotation ont fait place à des pratiques de monoculture intensive où l'on constate que certains agriculteurs n'hésitent plus à cultiver dix ou quinze années de suite du maïs ou du colza, à grand renfort de nitrates, de phosphates, de round-up, de régent et autres produits phytosanitaires...

Les incidences de ces pratiques en termes de santé, de coût, d'atteintes environnementales sur les paysans d'abord, sur leurs terres, sur les consommateurs, etc. ont incité à repenser la politique agricole et à revenir à des pratiques plus respectueuses de l'environnement et de la santé. C'est le propos de l'agriculture dite biodynamique (agrobiologie et agriculture raisonnée).

### **IV. les engrais**

#### **IV.1. Les engrais les plus utilisés dans la zone d'étude**

L'utilisation intensive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes abatte la vie dans les rivières et contribue à la pollution des eaux superficielles et souterraines. (Edwards et al, 2000 in Chaguer, 2013)

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 19)

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 19 : 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	32q
Fève	16 ha	-	-	30q

Les engrais chimiques fournissent pour les plantes et pour les sols les éléments nécessaire au développement des plantes comme l'azote, ils contribuent à l'augmentation des rendements des différentes cultures, une enquête a été menée auprès des points de vente au niveau de la wilaya de Guelma afin de quantifier les types d'engrais à base d'azote les plus sollicités par les agriculteurs. (Tableau 19) (Kachi, 2015)

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, 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, 2015)

- Le Super Phosphate Triple (TSP, 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 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, 2015)

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

**Tableau 20 : 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 15% de K <sub>2</sub> O	Engrais d'entretien.	Pomme de terre et tomate industrielle
Urée	Urée 46%	CO (NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> 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.NC	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> : -Azote total :32% - Azote ammoniacal: 7% -Azote nitrique : 7,8% -Azote uréique : 16,4%	Engrais d'entretien. Action à la fois immédiate (NO <sub>3</sub> ) et retardée (NH <sub>4</sub> ). Très soluble dans l'eau	Céréaliculture, pomme de terre, tomate industrielle, l'arboriculture.
Engrais phosphatés Triple Super Phosphate	T.S.P	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O - 46% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 0% de N - 0% de K <sub>2</sub> O - 15% de CaO	Engrais de fond. (favorise la croissance des racines). Assez soluble dans l'eau	Céréaliculture

### Conclusion

L'amélioration de la fertilité des sols du périmètre irrigué de Guelma, par l'utilisation intensive des produits fertilisants (engrais essentiellement azotés) et des produits phytosanitaires pour protéger les végétaux cultivés, peuvent constituer avec le temps une source de pollution permanente qui menace la qualité des eaux souterraines et de surface au sein du périmètre.

# **Chapitre VI**

## **Hydrochimie**



## Introduction

La qualité des eaux et des sols ont connu ces dernières années une grande dégradation, à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources. L'apport de substances étrangères dans un écosystème modifie ces conditions naturelles, ainsi les concentrations des polluants peuvent atteindre des valeurs nettement plus élevées que celle relevés initialement dans le sol, l'air ou l'eau, ce phénomène constitue donc une menace particulière pour l'être humain et d'autres maillons finaux de la chaîne alimentaire. (Koller, 2004)

Plusieurs travaux publiés ont mis l'accent sur l'évaluation de l'impact des contaminants sur la qualité de l'eau et du sol dans le périmètre irrigué Guelma-Boucheouf.

C'est dans ce cadre que cette étude a été menée, afin d'évaluer la qualité de l'eau et des sols au niveau de cette zone à vocation agricole.

La démarche adoptée consiste à échantillonner le sol, et l'eau dans la zone du périmètre irrigué. Pour cela, quinze (15) points de prélèvements ont été effectués dans les puits et six (06) dans les sols de la région d'étude.

### I- Hydrochimie des eaux souterraines :

#### I.1. Méthodes et stratégie de travail

##### I.1.1 Prélèvements

Les points de prélèvements ont été effectués comme suit :

- Concernant les eaux de surfaces un (01) point de prélèvement a été choisi au niveau de l'Oued Cherf, ce point se situe à l'intérieure de la zone agricole. (Fig. N° 36)
- Pour les eaux souterraines, quatorze (14) puits ont été choisis dans la zone d'étude.

Avec :

- P : prélèvement dans les puits,
- S : prélèvement dans l'oued Cherf.

**Les prélèvements dans les eaux souterraines ont été effectués en Octobre 2017.**

**I.1.2. Matériels et méthodes d'analyse :** Les prélèvements ont été effectués dans des bouteilles en plastique selon les recommandations préconisées. On tient à signaler que les coordonnées des points de prélèvements ont été déterminées à l'aide d'un GPS.

**I.1.3. Mesures in situ :** Six (06) paramètres physico-chimiques (T, pH, conductivité électrique, O<sub>2</sub>, turbidité et TDS) ont été mesurés in situ, pendant le prélèvement à l'aide d'un appareil multiparamètres modèle **HORIBA**.

**I.1.4. Analyse des éléments chimiques :** Des analyses complètes des éléments chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire **Horizon Annaba** (Laboratoire d'analyses des sols et des eaux).

Pour cette étude on a analysé les éléments suivants :

- les éléments majeurs (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>),

- les éléments mineurs en traces ( $\text{PO}_4^{3-}$ ),
- Les éléments du cycle de l'azote ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NH}_4^+$ ),
- Les éléments métalliques (Fe, Cu, Al, Zn, Mn, Cr, Ni, Pb, Cd).

Deux méthodes d'analyses ont été utilisées (voir annexe) :

- dosage titrimétrique NFT 90-005 ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$ ) ;
- dosages par spectrométrie DIN 38405-D9-2 ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , Fe, Cu, Al, Zn, Mn, Cr, Ni, Pb, Cd, As)

### I.1.5. Inventaire des points de prélèvements

Pour bien cerner la pollution industrielle, urbaine et agricole, les points d'eau ont été choisis selon une répartition qui couvre toute la zone d'étude, en fonction des sources de pollutions environnantes. (Fig. N° 35)

**Tableau 21 : Localisation des points de prélèvements**

Observation point	Latitude (deg. N)	Longitude (deg. E)	Elévation (m)	Observation
<b>P1</b>	36°28'49.8"	7°20'40.4"	240	Irrigation
<b>P2</b>	36°39'17.2"	7°42'55.2"	222	Irrigation
<b>P3</b>	36°30'45.7"	7°26'1.8"	287	Eau potable+ irrigation
<b>P4</b>	36°28'28.4"	7°25'25.8"	218	Eau potable
<b>P5</b>	36°28'31.1"	7°27'12.2"	229	Eau potable+ irrigation
<b>P6</b>	36°28'18.7"	7°27'41.1"	205	Eau potable+ irrigation
<b>P7</b>	36°29'22.1"	7°29'48.5"	193	Eau potable+ irrigation
<b>P8</b>	36°23'56.3"	7°30'3.4"	339	Eau potable+ irrigation
<b>P9</b>	36°28'25.1"	7°34'5.3"	193	Eau potable+ irrigation
<b>P10</b>	36°26'29.6"	7°36'52.3"	132	Eau potable+ irrigation
<b>P11</b>	36°25'3.1"	7°38'1.4"	119	Eau potable
<b>P12</b>	36°27'59.2"	7°43'34.4"	154	Eau potable
<b>P13</b>	36°29'35.8"	7°43'22.6"	96	Eau potable
<b>P14</b>	36°31'26.1"	7°42'23.5"	90	Eau potable r
<b>S15</b>	36°24'57.6"	7°18'31.5"	321	Irrigation

Avec :

- (P1, P2 et P3) : Secteur El Fedjoudj,
- (P4, P5, P6, P7 et P8) : Secteur Guelma centre
- (P9, P10 et P11) : Secteur Boumahra Ahmed,
- (P12, P13 et P14) : Secteur Bouchegouf,
- (S15): Secteur Cherf (Oued Cherf).

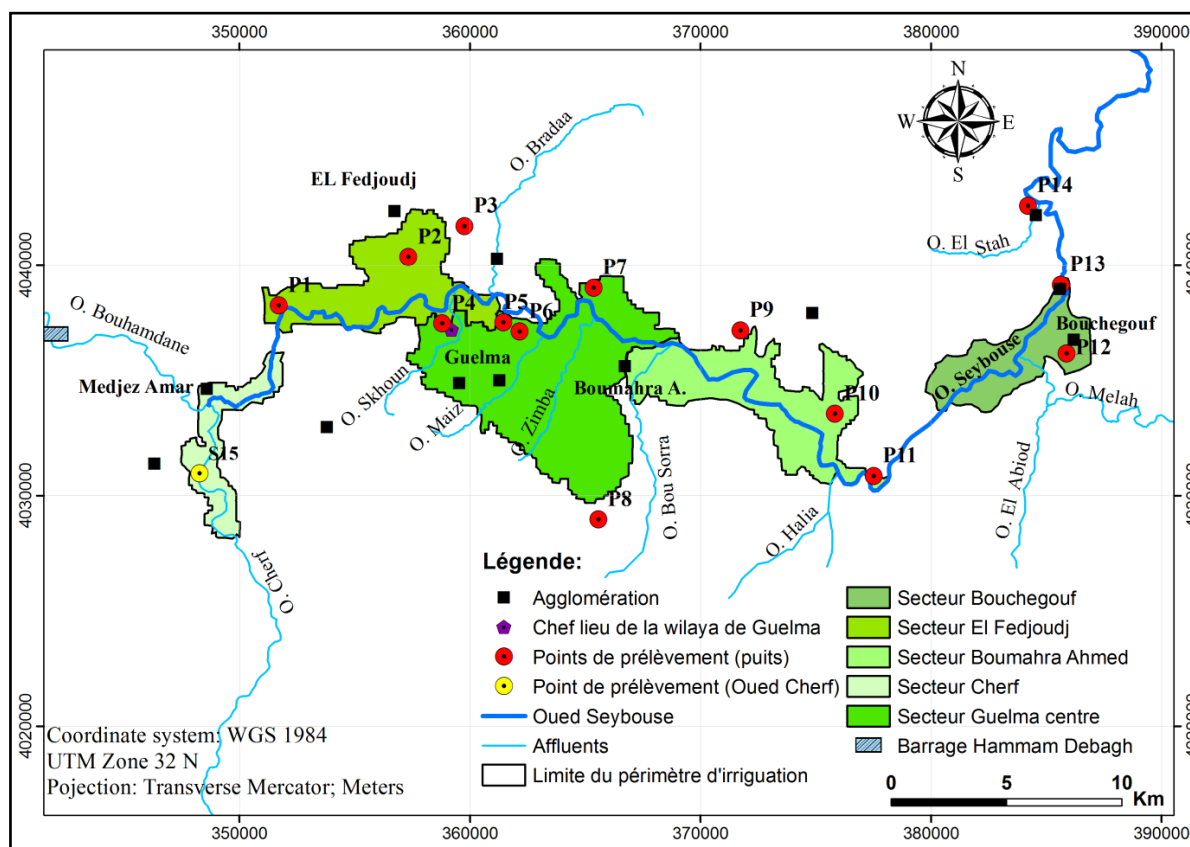


Fig. N° 35: Carte de situation des points de prélèvements

## I.2. Résultats et interprétations

### I.2.1 Distribution spatiale des paramètres physico-chimiques

#### I.2.1.1. Paramètres physico-chimiques mesurés In situ

##### I.2.1.1.1. Température (T)

La température joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux.

Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. (Debieche, 2002)

Les valeurs mesurées de la température varient entre 19.79 et 25 °C, respectivement au niveau de (P7) et (P1). (Fig. N° 36)

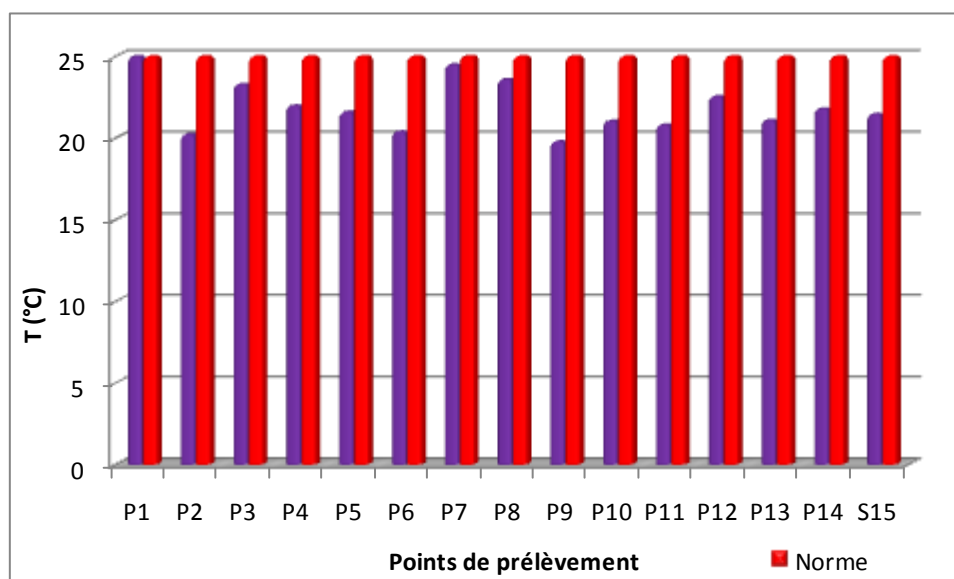


Fig. N° 36: Variation de la température dans les eaux de la région d'étude

#### I.2.1.1.2. Le Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH de l'eau renseigne sur son acidité et son alcalinité, il est généralement compris entre 6,6 à 7,8. (Chapman & Kimstach, 1996)

Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques.

La nature des terrains traversés par les eaux est la cause naturelle provoquant des variations importantes du pH.

Tableau 22: Echelle du Potentiel d'Hydrogène

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

Les résultats des analyses des eaux de la région ont montré que le pH est proche de l'alcalinité dans la majorité des points analysés et varie entre 7,3 (P6) à 8,47 (P11). (Fig. N° 37)

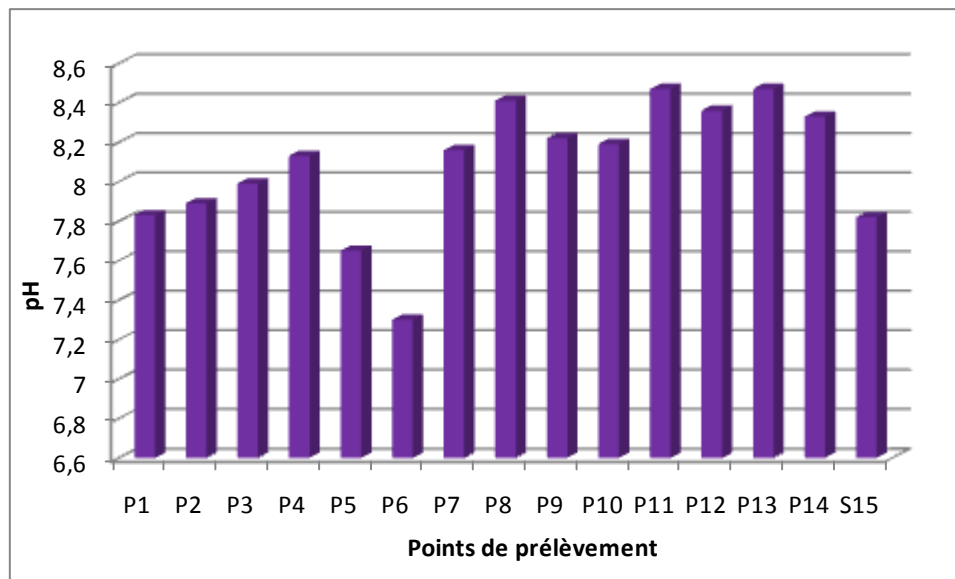


Fig. N° 37: Evolution du pH des eaux souterraines de la région d'étude

### I.2.1.1.3. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique montre le degré de minéralisation d'une eau. Elle est conditionnée par la présence des espèces ioniques en solution. (Khadri, 2009)

Les valeurs des conductivités enregistrées présentent des variations importantes par rapport à la norme recommandée pour les eaux de boisson par l'Organisation Mondiale de la Santé (**1000  $\mu\text{s/cm}$** ).

Les valeurs importantes qui varient de 1360  $\mu\text{s/cm}$  (P3) à 4610  $\mu\text{s/cm}$  (P10), seraient dues aux sels dissous d'une part et au lessivage des fertilisants par les eaux d'irrigation d'autre part. La zone d'étude étant un périmètre irrigué à activité agricole intense. (Fig. N° 38)

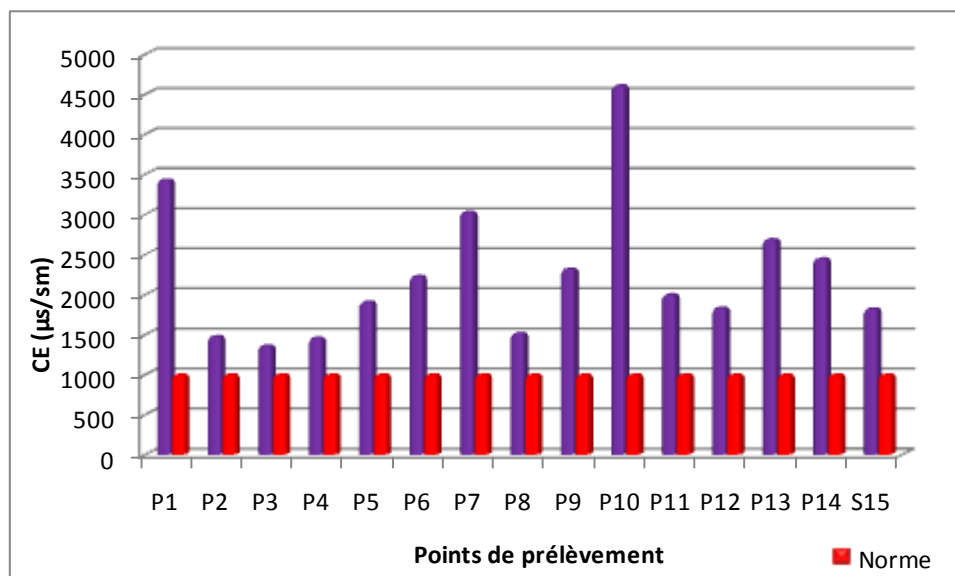


Fig. N° 38 : Evolution de la conductivité électrique des eaux de la zone d'étude

**I.2.1.1.4. 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:

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

Avec:

- TDS: Total Dissolved Salt (mg/l)
- CE: conductivité en ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
- K: facteur de convention, la valeur du facteur K doit être définie pour chaque zone.

**En règle générale:**

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

**I.2.1.1.5. Conductivité/Résistivité : ( $\chi$ )**

$\text{CE} = 1/\rho$  avec CE ( $\chi$ )= conductivité en siemens par mètre (s/m) et  $\rho$ = résistivité en ohm/m

1 Siémens (S) = 1000 milli siémens (ms) = 1000000 micro siemens

**I.2.1.1.5. Total des sels Dissous (TDS)**

Le TDS signifie le 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  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  qui sont des cations et  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  qui sont des anions.

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

**Tableau 23 : Grille de classement des TDS dans les eaux**

TDS (mg/l)	Evaluation	Sites correspondants
Moins de 300	Excellent	
300-600	Bien	
600-900	Passable	P3
900-1200	Faible	P2, P4, P8, P11
Plus de 1200	Inacceptable	P1, P5, P6, P7, P9, P10, P12, P13, P14, S15

Les résultats des TDS montrent que les fortes valeurs se localisent au niveau de (P10) et (P1), avec respectivement des concentrations de 3042 mg/l et de 2263 mg/l, et pour la majorité des points analysés les teneurs en TDS sont inacceptables sauf au niveau du point (P3), avec une qualité passable, alors que les points (P2), (P4), (P8) et (P11) correspondent à une qualité faible vis-à-vis de la TDS. Tableau 23 et (Fig. N° 39).

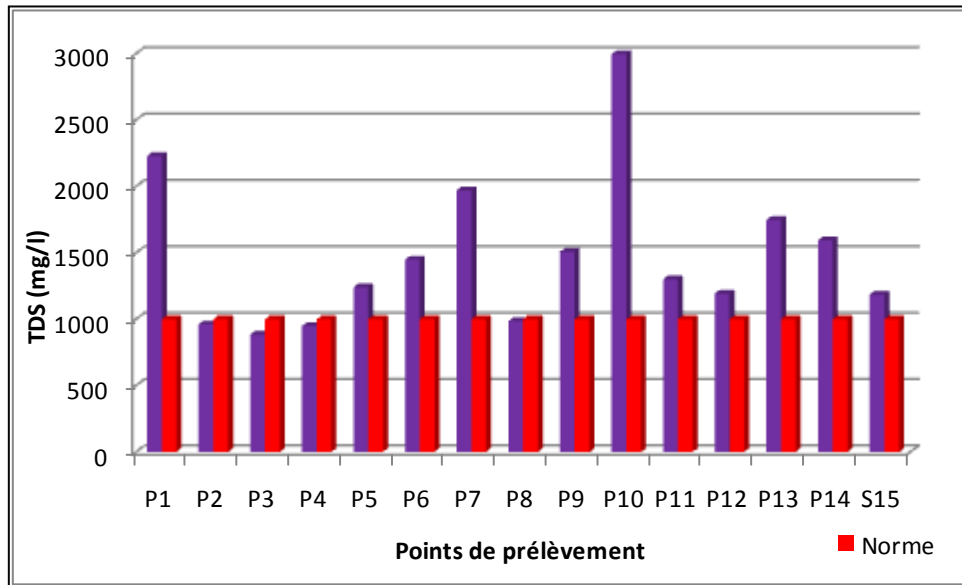


Fig. N° 39 : Evolution de la TDS dans les eaux de la zone d'étude

**I.2.1.1.6. Turbidité**

Une eau turbide est une eau trouble, cette caractéristique vient de la teneur 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).

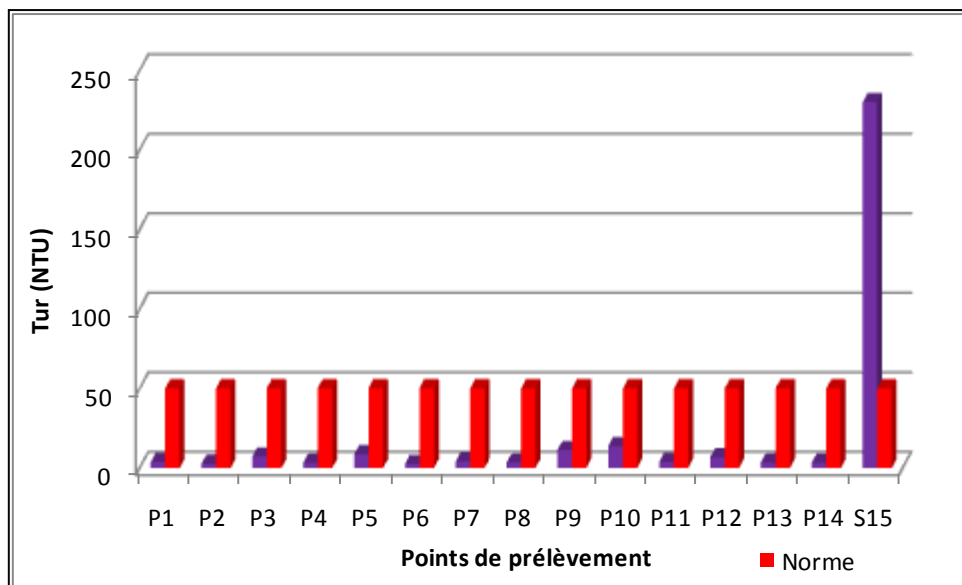


Fig. N° 40 : Evolution de la Turbidité dans les eaux de la zone d'étude

Toutes les valeurs de la turbidité des eaux souterraines montre que l'eau n'est pas trouble conformément aux normes OMS (NTU>50).

La plus forte valeur se localise au niveau du point (S15) qui représente Oued Cherf avec une concentration de 230 NTU, qui peut être expliquée par les lâchées du barrage de Cherf, situé dans la wilaya de Souk Ahras pour des raisons agricoles (irrigation du périmètre de Guelma).

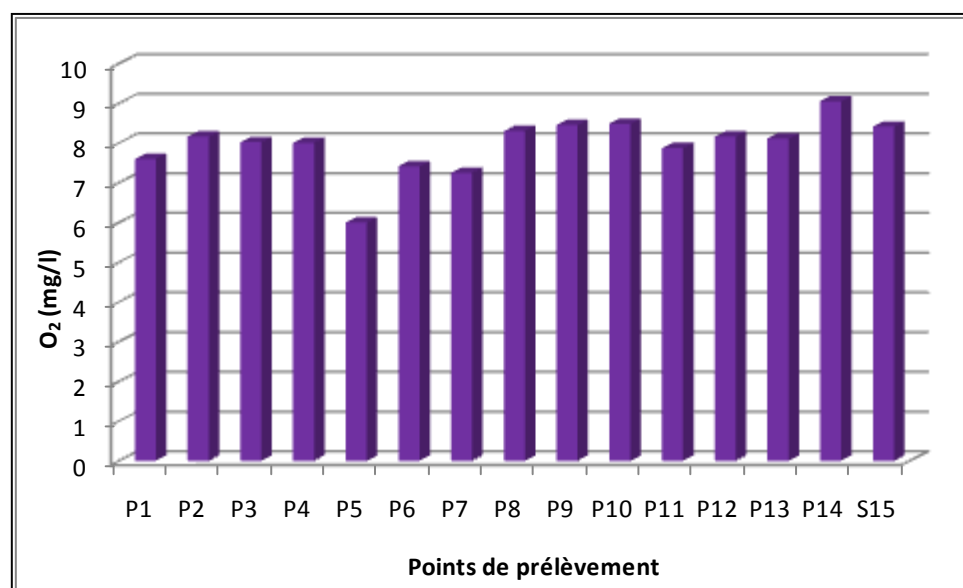
#### I.2.1.1.7. L'Oxygène dissous

L'oxygène dissous, est un paramètre qui renseigne sur l'état de l'eau et favorisant la croissance des micro-organismes et le développement des germes pathogènes.

Les valeurs mesurées en O<sub>2</sub> dissous dans les eaux de la zone d'étude sont faibles, avec des valeurs comprises entre 6 et 9 mg/l (Fig. N° 41). Ces valeurs sont comprises dans l'intervalle 4-18 mg/l, indiquent l'absence de pollution significative.

**Tableau 24 : Grille utilisée pour l'évaluation de l'O<sub>2</sub> des eaux souterraines. (ANRH, 2012)**

Eléments	Classe I Bonne	Classe II Moyenne	Classe III Mauvaise	Classe IV Très mauvaise
O <sub>2</sub> (mg/l)	18-4	4 - 2.4	2.4 - 1.2	1.2 - 0



**Fig. N° 41 : Variation des concentrations en O<sub>2</sub> dans les eaux de la zone d'étude**

#### I.2.1.2. Paramètres physico-chimiques mesurés au laboratoire

##### I.2.1.2.1. Les éléments majeurs

###### I.2.1.2.1.1. Calcium (Ca<sup>2+</sup>)

Le calcium est généralement l'élément dominant dans les eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux), (Rodier J, 2009). Tous les points de prélèvements présentent une concentration en calcium supérieure à la norme tolérée par OMS (100 mg/l).



La valeur la plus élevée (392,4 mg/l) est enregistrée au puits (P10), tandis que la valeur la plus faible (142,5 mg/l) est enregistrée au puits (P8). (Fig. N° 42)

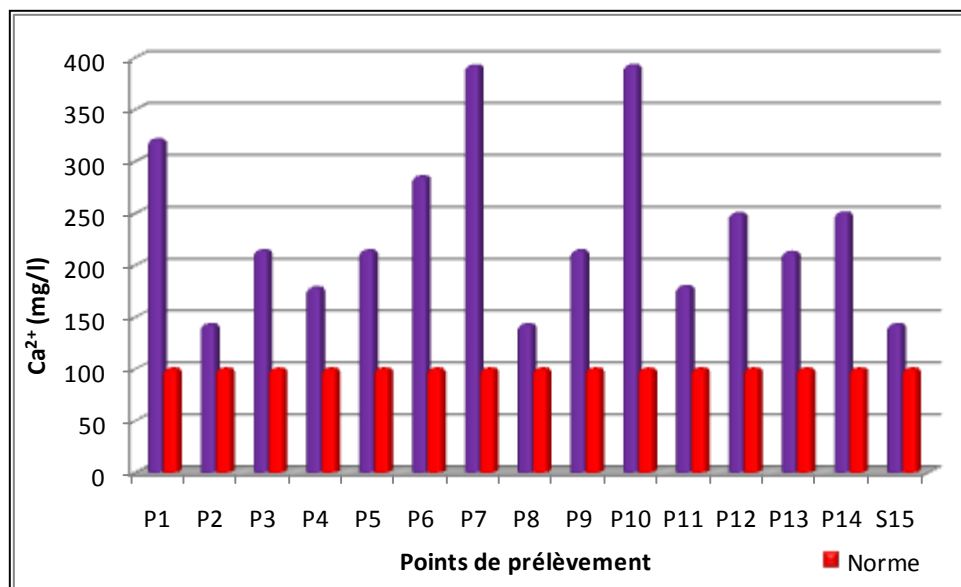


Fig. N° 42: Variation des concentrations en calcium dans les eaux de la région d'étude

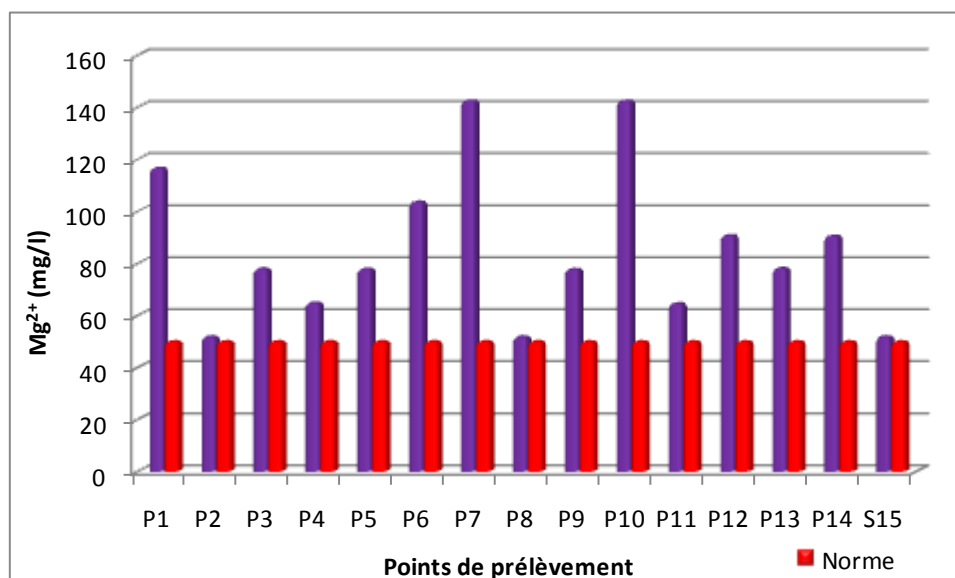
#### I.2.1.2.1.2. Magnésium (Mg<sup>2+</sup>)

Il provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes et la mise en solution du magnésium sous forme de carbonates et bicarbonates. (Bermond. et Perrdon, 1979)

Les résultats des analyses sont présentés dans la figure 43.

Tous les points prélevés présentent une concentration en magnésium supérieure aux normes admises par l'OMS (50 mg/l).

La valeur la plus élevée (142,6mg/l) est enregistrée au niveau de puits (P7), alors que le minimum (51,9mg/l) est mesuré au niveau des points (P8), (P2) et (S15).

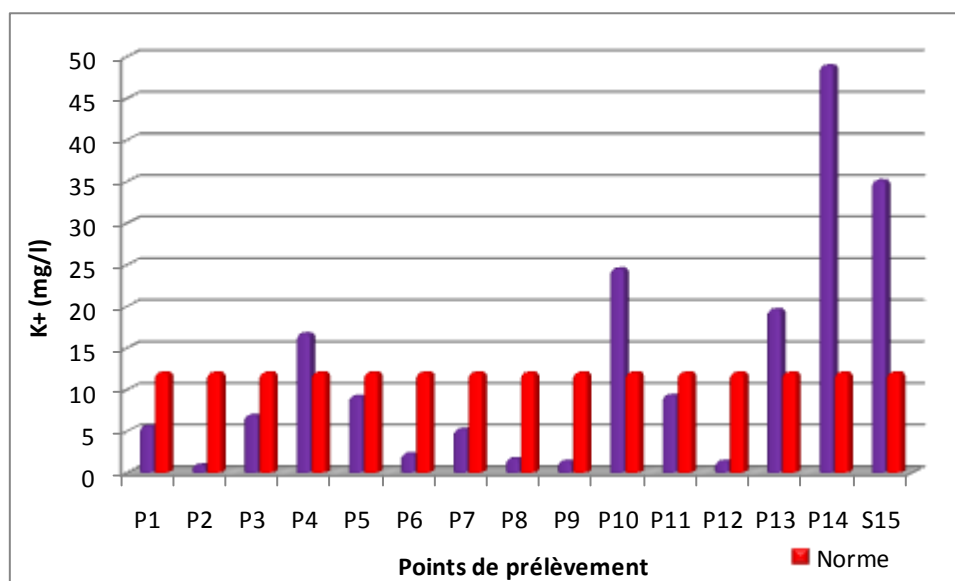


**Fig. N° 43: Variation des concentrations en Magnésium dans les eaux de la zone d'étude****I.2.1.2.1.3. Potassium ( $K^+$ )**

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK).

Le potassium est l'élément le moins abondant parmi les cations avec une valeur maximale de 48,9 mg/l correspondant au puits (P14) et une valeur minimale de 0.9 mg/l au niveau du puits (P2). (Fig. N° 44)

Les fortes teneurs qui dépassent la norme maximale fixé par l'OMS (12 mg/l) sont observées dans les points (P4), (P10), (P13), (P14), et (S15).

**Fig. N° 44 : Variation des concentrations en potassium dans les eaux de la zone d'étude****I.2.1.2.1.4. Sodium ( $Na^+$ )**

Le sodium est un élément dit conservatif car une fois en solution, aucune réaction ne permet l'extraire de l'eau souterraine. Les précipitations apportent une quantité de sodium minime dans l'eau souterraine, les teneurs anormalement élevées peuvent provenir du lessivage de sels, ou de la percolation à travers des terrains salés ou de l'infiltration d'eaux saumâtres. (Rodier J, 2009)

La valeur la plus élevée (366 mg/l) est enregistrée au niveau du puits (P10), alors que la valeur la plus faible (78 mg/l) est enregistrée au puits (P3).

54 % des points de prélèvements ont des teneurs en sodium supérieures à la norme tolérée de l'OMS (150 mg/l), Ces valeurs indiquent l'existence des forts apports salifères à partir des formations géologiques triasiques. (Fig. N° 45)

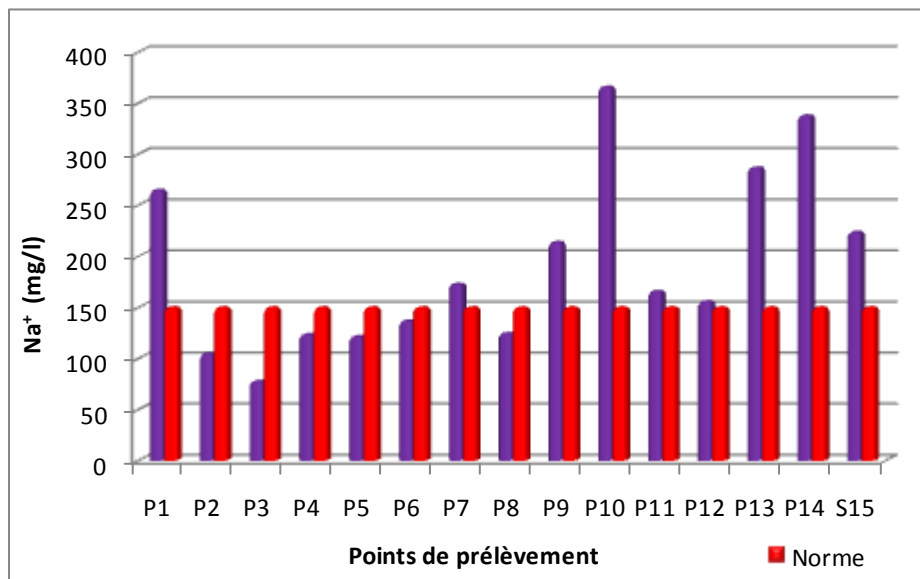


Fig. N°45 : Variation des concentrations en sodium dans les eaux de la zone d'étude

**I.2.1.2.1.5. Chlorures (Cl<sup>-</sup>)**

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. (J. Mater, 2014)

Les valeurs mesurées en chlorures sont en général supérieures aux normes de potabilité tolérée par l’OMS (250 mg/l) pour 13 points d’eau, soit 87% et varient entre 85.2 (P3) et 1065 (P10) avec une moyenne de 388.13 mg/l. (Fig. N° 46)

Les fortes valeurs dans les eaux souterraines, témoignent de l’existence d’apports salifères contenus dans des formations évaporitiques, se rapportant à la géologie de la région.

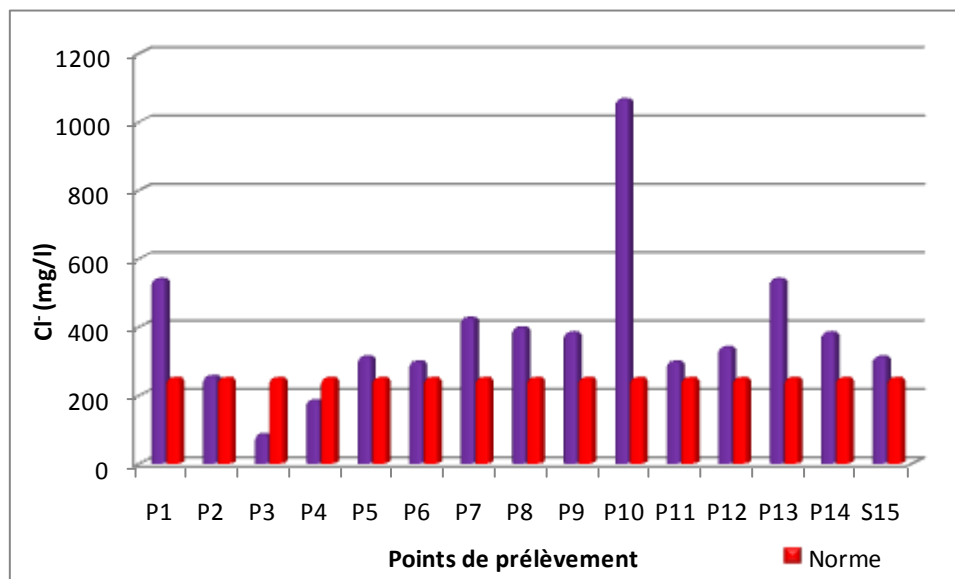
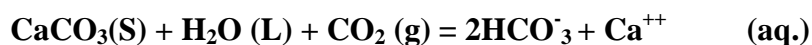


Fig. N° 46 : Variation des concentrations en chlorures dans les eaux de la zone d'étude

### I.2.1.2.1.6. Les Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (Cipolin, Calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. (Debieche, 2002)

La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :



D'après les résultats des

analyses, les valeurs en bicarbonates varient entre 213,6 mg/l au point (P8) et 494,1 mg/l au point (P1). Les fortes concentrations mesurées sont dues à une concentration de la composition chimique par mise en solution, par lessivage et mélange des eaux provenant de l'aquifère des travertins avec celles des alluvions. (Fig. N° 47) (Benmarse, 2015)

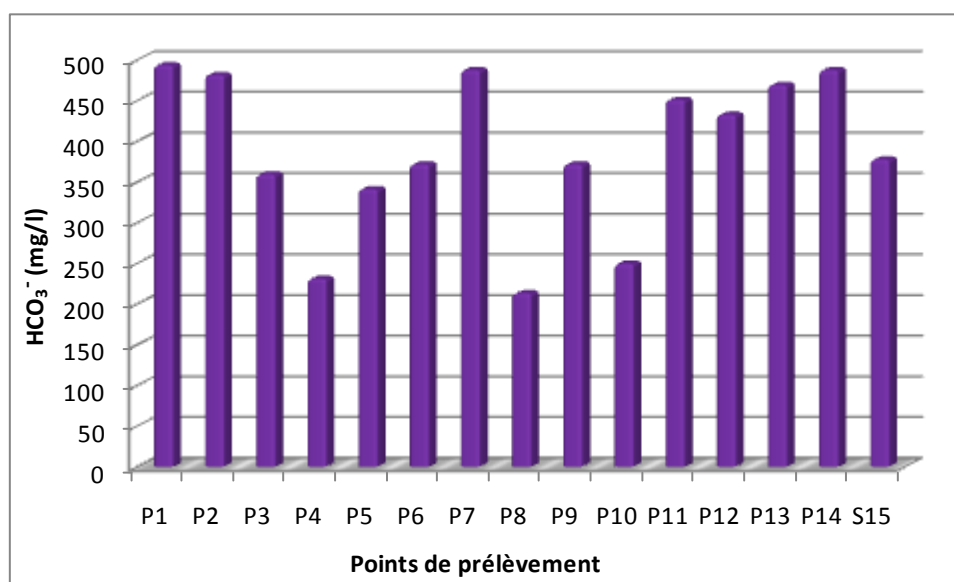


Fig. N° 47 : Variation des concentrations en bicarbonates dans les eaux de la zone d'étude

### I.2.1.2.1.7. Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

La présence des ions sulfates dans l'eau est due en grande partie à la dissolution des sulfates de calcium et des sulfates de magnésium.

Un seul puits présente des valeurs en sulfate inférieure à la concentration acceptable par l'OMS (250) mg/l, et 14 échantillons analysés soit (93%) ont des concentrations supérieures à la norme admissible dans les eaux souterraines. (Fig. N° 48)

Les teneurs en sulfates dans les eaux souterraines de la zone d'étude varient entre 128 mg/l (P8) et 2352 mg/l (P7), avec une moyenne de 942 mg/l. Ces valeurs peuvent être expliquées par le lessivage de formations évaporitiques et l'épandage d'engrais sulfatés dans la région d'étude. Les teneurs en sulfates sont très fortes (de quelques centaines de mg/l à quelques g/l).

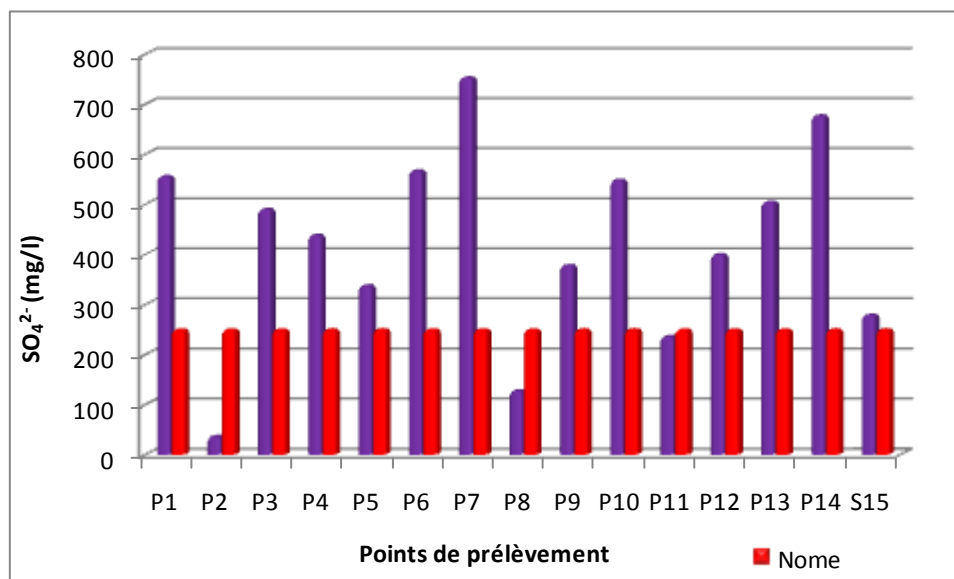


Fig. N° 48 : Variation des concentrations en sulfates dans les eaux de la zone d'étude

#### I.2.1.2.2. Identification des faciès chimiques des eaux :

Le principal outil utilisé est le logiciel DIAGRAMMES créé par Roland Simler du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. C'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant l'exploitation d'analyse d'eau. Ces fonctions sont variées et complètes, en voici quelques unes:

- Les diagrammes: - Piper -Stiff - Schoeller-Berkalov - Binaire - Korjinski - Rose des vents
- Les paramètres calculés: - balances ionique - teneurs en cations - dureté - teneurs en anions - indice de saturation (calcite, dolomite, aragonite, gypse)

Toutes les fonctionnalités n'ont pas été utilisées, mais ce logiciel s'avère être simple d'utilisation. De ce fait les diagrammes de Piper, Schoeller-Bercaloff et stabler ont été réalisés à l'aide de ce logiciel.

##### I.2.1.2.2.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet de représenter les faciès chimiques d'un ensemble d'échantillons d'eau. Il est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs. (Vayana, 2009)

Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques. (Fig. N° 49)

Les résultats des analyses chimiques des eaux prélevées, reportées sur le diagramme de Piper montrent que :

- Le chimisme des eaux analysées est caractérisé par les faciès **Chloruré-calcique**, **Sulfaté-calcique** et le **Chloruré- sulfaté-calcique**.

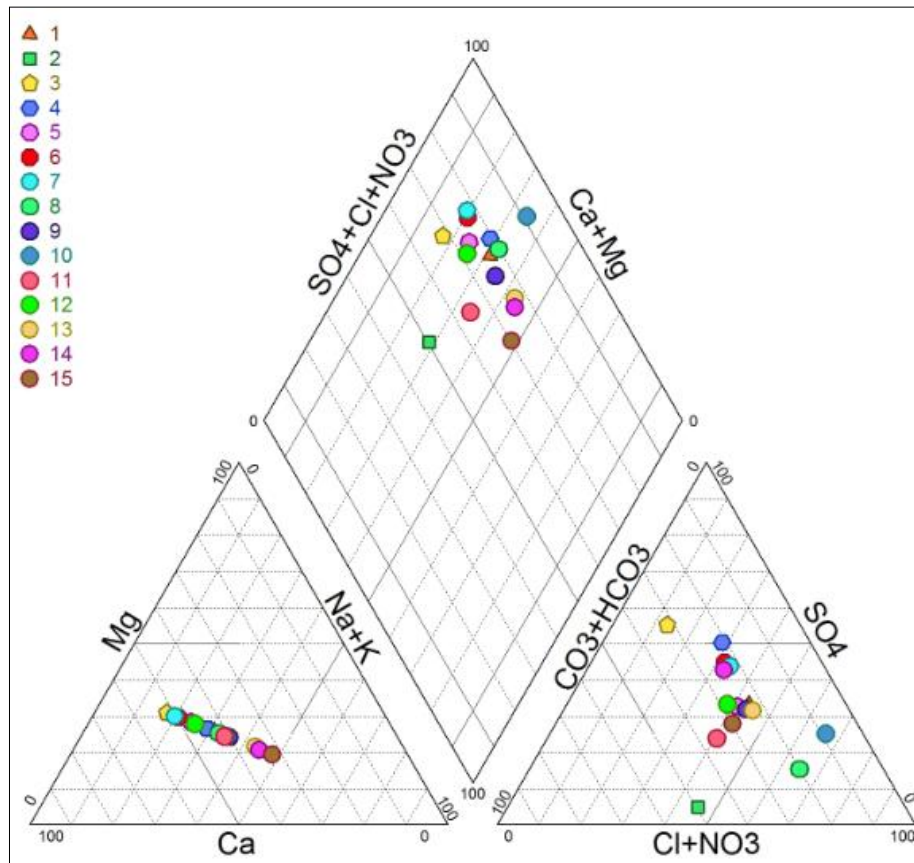


Fig. N° 49: Représentation des résultats des analyses chimiques sur le Diagramme de Piper

#### I.2.1.2.2.2. Diagramme de Stabler

La classification d'après le Diagramme de Stabler, s'exprime par une formule caractéristique (formule ionique), elle consiste à calculer les quantités en réaction en pourcent par rapport à la concentration totale (50% anions et 50% cations).

$$r\% = \frac{r \cdot 100}{C}$$

avec :  $r\%$  : quantité en réaction en pourcent de l'élément

$r$  : quantité en réaction de l'élément chimique (mg/l)

$C$  : concentration de l'élément chimique dans l'eau

Puis on classe de gauche à droite par ordre décroissant, les quantités en réaction en pour cent des anions et des cations pour obtenir les formules caractéristiques, qui permettent d'une part de définir la relation entre le chimisme des eaux et la lithologie de l'aquifère et d'autre part de regrouper les eaux de même origine. (Tableau 25)

Le tableau montre que les faciès chimiques dominant pour les eaux de la zone d'étude sont les suivants :

- Sulfaté – calcique avec 40 % des échantillons,
- Chloruré- sulfaté-calcique avec 33.33 % des échantillons,
- Chloruré – sodique avec 13.33 % des échantillons.

Tableau 25 : Formules ioniques et faciès chimiques (méq/l)

Faciès chimique	Formule caractéristique	%	Points de prélèvement
Chloruré - Sodique	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^{-2} > r\% \text{HCO}_3^-$ $r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Ca}^{+2} > r\% \text{Mg}^{2+} > r\% \text{K}^+$	13,33	P13, P15
Chloruré bicarbonaté - Calcique	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{SO}_4^{-2}$ $r\% \text{Ca}^{+2} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Mg}^{2+} > r\% \text{K}^+$	6,66	P11
Sulfaté- Sodique	$r\% \text{SO}_4^{-2} > r\% \text{Cl}^- > r\% \text{HCO}_3^-$ $r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Ca}^{+2} > r\% \text{Mg}^{2+} > r\% \text{K}^+$	6,66	P14
Sulfaté -Calcique	$r\% \text{SO}_4^{-2} > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{Cl}^-$ $r\% \text{Ca}^{+2} > r\% \text{Mg}^{2+} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$	20	P3, P4, et P6
Chloruré sulfaté - Calcique	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^{-2} > r\% \text{HCO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{+2} > r\% \text{Mg}^{2+} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$	33,33	P5, P12, P1, P9 et P10
Chloruré-Calcique	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{SO}_4^{-2}$ $r\% \text{Ca}^{+2} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Mg}^{2+} > r\% \text{K}^+$	6,66	P8
Bicarbonaté chloruré -Calcique	$r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^{-2}$ $r\% \text{Ca}^{+2} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Mg}^{2+} > r\% \text{K}^+$	6,66	P2
Sulfaté chloruré - Calcique	$r\% \text{SO}_4^{-2} > r\% \text{Cl}^- > r\% \text{HCO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{+2} > r\% \text{Mg}^{2+} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$	6,66	P7
Sulfaté Calcique	$r\% \text{SO}_4^{-2} > r\% \text{Cl}^- > r\% \text{HCO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{+2} > r\% \text{Mg}^{2+} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$	20	P3, P4 et P6

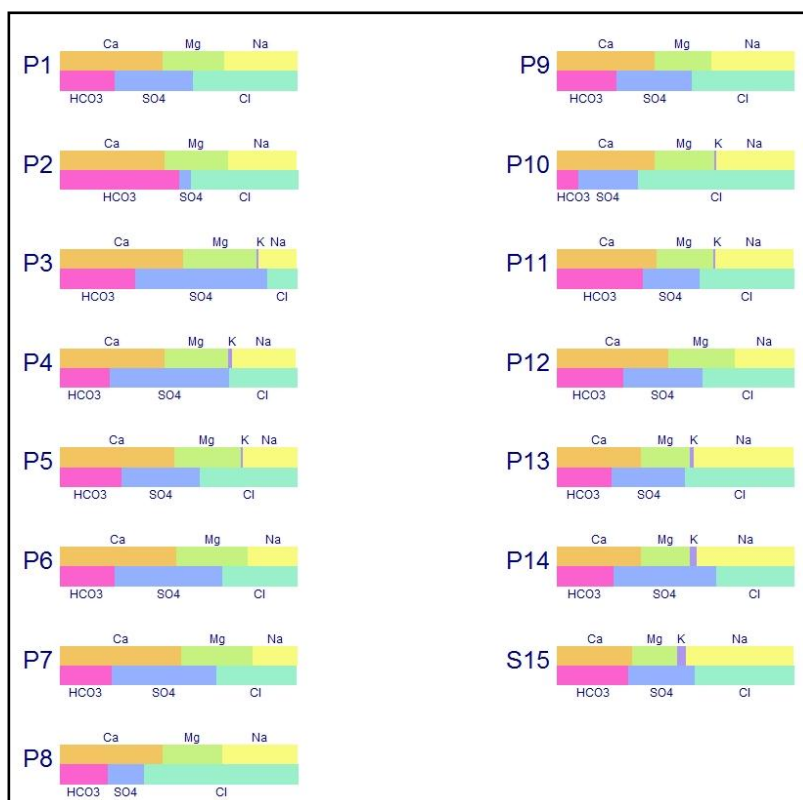


Fig. N° 50: Représentation graphique des faciès chimiques selon le diagramme de Stabler

### I.2.1.2.3. Les éléments nutritifs

L'azote est un élément essentiel de la matière vivante. La quantité et la forme chimique de cet élément dans le milieu aquatique y conditionnent le développement de la vie.

Il peut se présenter sous deux formes :

- Une forme organique non oxydée et peu soluble (protéines, acides aminés, urée...);
- Une forme minérale soluble, résultant de la dégradation de la forme organique par hydrolyse.

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

- l'azote ammoniacal (ammoniac  $\text{NH}_3^+$  et ammonium  $\text{NH}_4^+$ );
- les nitrites  $\text{NO}_2^-$ ;
- les nitrates  $\text{NO}_3^-$

L'azote ammoniacal et nitrites sont oxydables. Les nitrates constituent la forme oxydée finale.

#### I.2.1.2.3.1. Les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Leur présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques. (Laraba., Benhamza., Khadri, 2013)

Dans le périmètre d'irrigation Guelma-Boucheouf les concentrations en nitrates varient entre 25 mg/l à El Fedjouj (P3) et 147 mg/l à Boucheouf (P14). Pour l'ensemble du périmètre la moyenne est de l'ordre de l'ordre de 55 mg/l (tableau 3). Les valeurs élevées en nitrate



dépassant la norme admissible par l'OMS (50 mg/l) se localisent au niveau des puits du secteur de **Guelma centre** (P4, P6) et ceux de **Bouchegouf** (P12, P13, et P14).

Pour améliorer les récoltes, les agriculteurs utilisent les fertilisants, les produits phytosanitaires et l'irrigation par aspersion en basses eaux. Ce qui explique la présence en quantités importantes des nitrates dans les eaux souterraines.

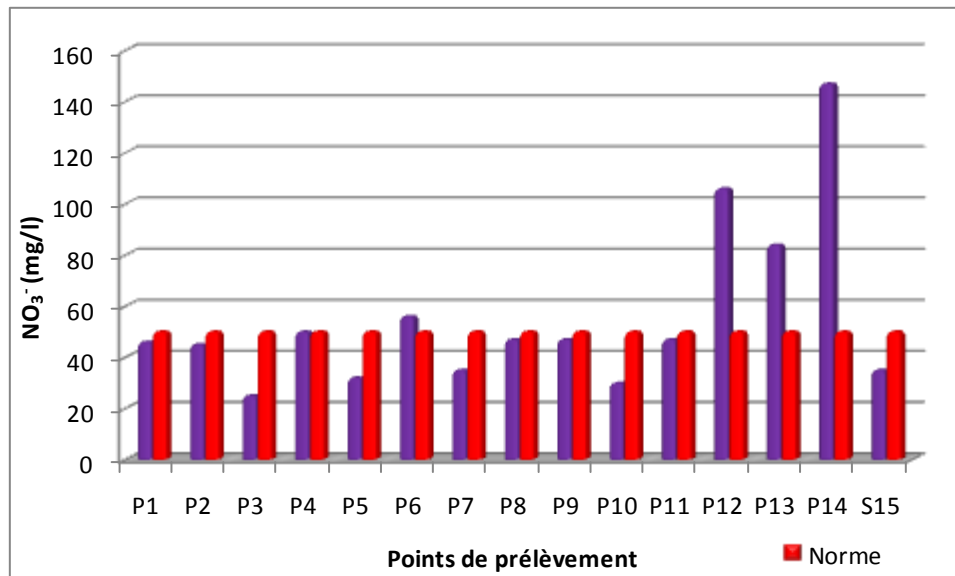


Fig. N° 51 : Variation spatiale des concentrations en nitrates dans les eaux de la Zone d'étude

#### I.2.1.2.3.2. Les Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

Les nitrites représentent une forme moins oxygénée et moins stable dans le cycle de l'azote, ils représentent la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique ayant pour origine l'agriculture ou les rejets urbains et industriels. (Khadri, 2009)

Les valeurs des nitrites varient considérablement (entre 0,02 et 0,9 mg/l (Fig. N° 52) dans les eaux souterraines du périmètre irrigué.

Dans les eaux de l'oued Charef les teneurs en nitrite atteignent 1.14 mg/l (S15). Parmi les 15 points échantillonnés, les points de prélèvements (P5) et (S15) montrent des valeurs non conformes aux standards de l'OMS fixés à **0,1 mg/l**.

Ces valeurs témoignent de la contamination de la nappe alluvionnaire de la région de Guelma.

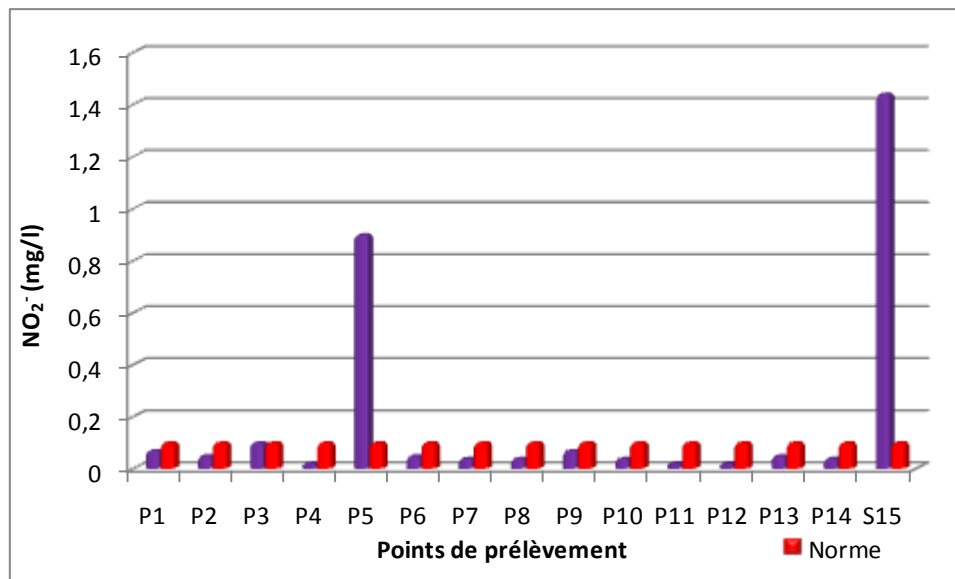


Fig. N° 52: Variation spatiale des concentrations en Nitrites dans les eaux de la zone d'étude

#### I.2.1.2.3.3. Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

L'ammonium est la forme d'azote la plus toxique. Dans le périmètre irrigué, les valeurs extrêmes varient de 0,25 mg/l au puits (P4) à 4,38 mg/l au puits (P5), situés au niveau de la zone Guelma centre.

La moyenne est de l'ordre de 0,91 mg/l dépassant la norme admissible de potabilité pour les eaux souterraines fixée par l'OMS à **0.5 mg/l**.

En effet, un puits sur trois est contaminé par l'ammonium suite aux activités agricoles intenses et aux rejets urbains (fermes, poulaillers, agglomérations éparses, etc.). (Fig. N° 53)

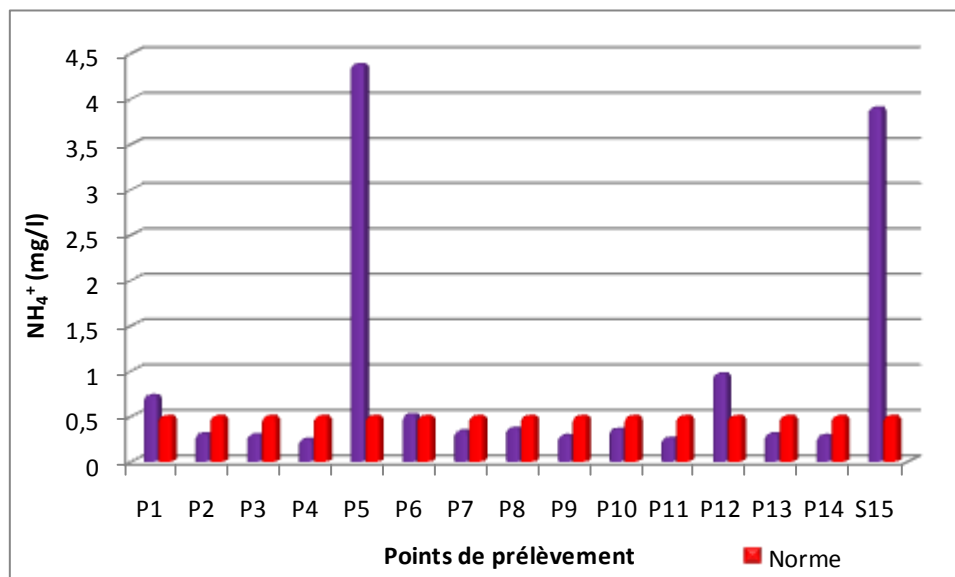


Fig. N° 53: Variation spatiale des concentrations en ammonium dans les eaux de la zone d'étude

#### I.2.1.2.3.4. Phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

L'origine des phosphates dans les eaux serait liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais chimiques (NPK).

Les résultats des analyses montrent que les valeurs en phosphates sont supérieures à la norme admissible fixée par l’OMS à **0,5 mg/l**. Ces dernières s’échelonnent entre 7.9 mg/l au (P8) et 19.3 mg/l au (P14). Il s’agit d’une pollution des eaux de la nappe phréatique provoquée par les pratiques agricoles dans le périmètre irrigué (utilisation excessive des phosphates sous forme d’engrais chimiques ou de pesticides). (Fig. N° 54)

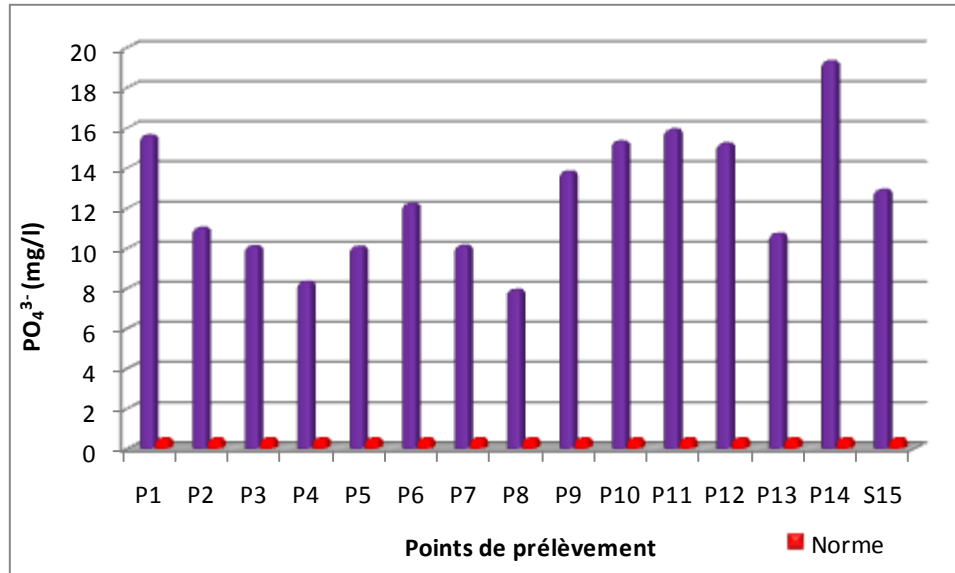


Fig. N° 54 : Variation spatiale de concentrations en Phosphate dans les eaux de la zone d’étude.

## I.2.2. Eléments métalliques en traces

### I.2.2.1. Le Fer

La présence du fer dans l’eau peut avoir diverses origines : naturelle par le lessivage des terrains argileux, ou industrielle (métallurgiques, sidérurgiques). (Debieche, 2002)

Les valeurs mesurées varient de 0,001mg/l enregistrées dans (P4) à 0,1mg/l enregistrées dans le point (S15).

Les teneurs en Fer ne dépassant pas la valeur guide admise par l’OMS fixée à **0.3 mg/l**.

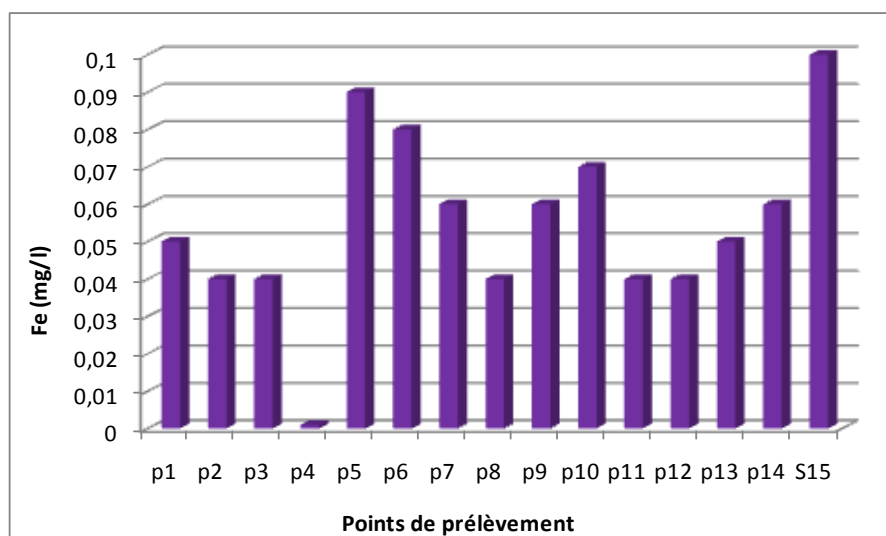


Fig. N° 55 : Variation des concentrations en Fer dans la zone d’étude

### I.2.2.2. Le Manganèse

La présence du manganèse, du point de vue industriel est liée à la métallurgie, l'industrie électrique et l'industrie chimique. (Debieche, 2002)

Le manganèse peut être aussi d'origine agricole puisqu'il entre dans la composition de certains produits phytosanitaires. (Weast, 1971)

Les concentrations les plus élevées sont observées au niveau des points (P5) et (S15) avec la valeur de 0,4 mg/l, qui peut être expliquée par l'utilisation des pesticides à base de manganèse dans le périmètre irrigué Guelma-Bouchegouf.

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

Cependant, les concentrations les plus faibles et qui sont inférieures aux normes de potabilité fixées par l'OMS (**0.05 mg/l**), sont observées au niveau des puits (P4) et (P14) avec 0.0001 mg/l et 0.01 mg/l respectivement.

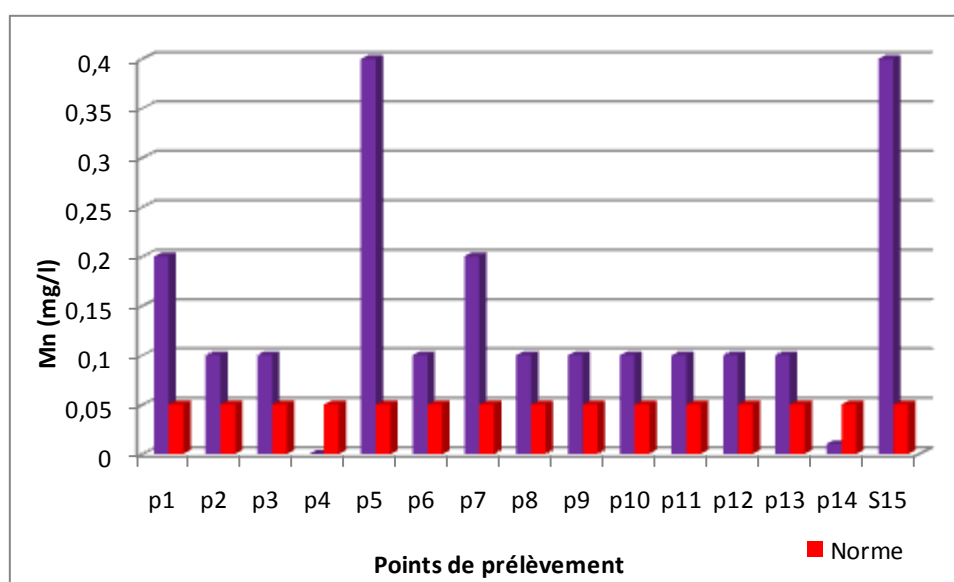


Fig. N° 56: Variation des concentrations en Manganèse dans la zone d'étude

### I.2.2.3. Le Zinc

Le zinc est un métal très répandu dans le globe. Les apports anthropiques de Zinc dans l'environnement résultent des sources minières industrielles, des épandages agricoles, et des activités urbaines. (Guettaf M., 2015)

Les teneurs en zinc mesurées dans les eaux souterraines de la zone d'étude ne dépassent pas **5 mg/l** (valeur admise fixée par l'OMS) et varient entre 0.13 mg/l et 0.96 mg/l à (P10) et (P4).

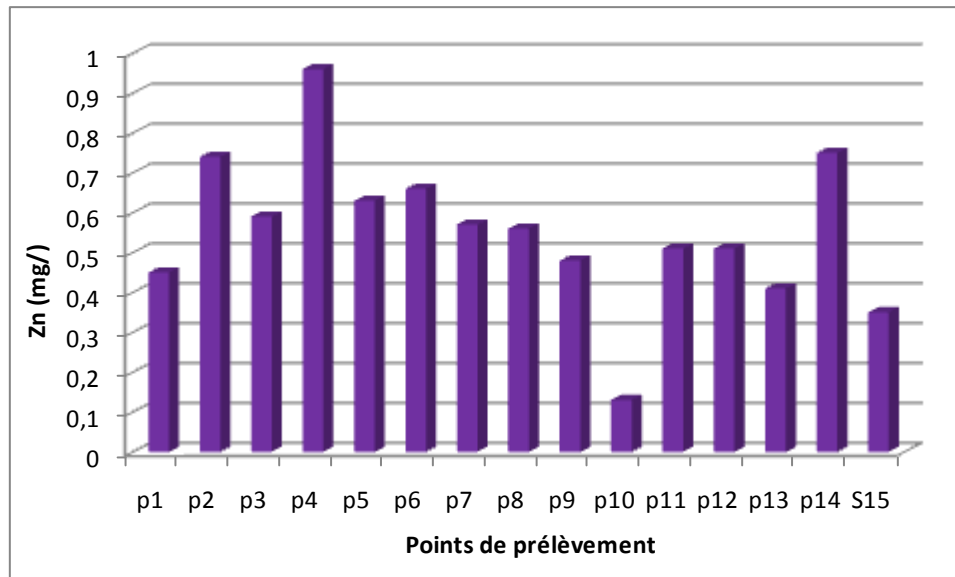


Fig. N° 57 : variation des concentrations en Zinc dans la zone d'étude

#### I.2.2.4. Le Plomb

Le plomb se présente sous la forme de sulfures (galène), de carbonates (cérusite) et de phosphates (pyrophosphite). Dans l'industrie, on le trouve dans la fabrication des accumulateurs acides, de la soudure et des pigments. (Debieche, 2002)

Les teneurs en plomb dans les eaux souterraines se trouvent avec des concentrations élevées et dépassent les valeurs correspondant aux normes de l'OMS (**0.01 mg/l**).

Le maximum est observé au niveau du puits (P5), où il atteint la valeur 0.74 mg/l.

Sa présence est liée aux axes routiers qui sont à l'origine de cette pollution combinée avec les rejets des industries utilisant le plomb, des stations de services situées sur les deux rives de l'oued Seybouse (Bechiri, 2011), les eaux de ruissellement et des terres agricoles, où des concentrations extrêmes peuvent être présentes. (Fig. N° 58)

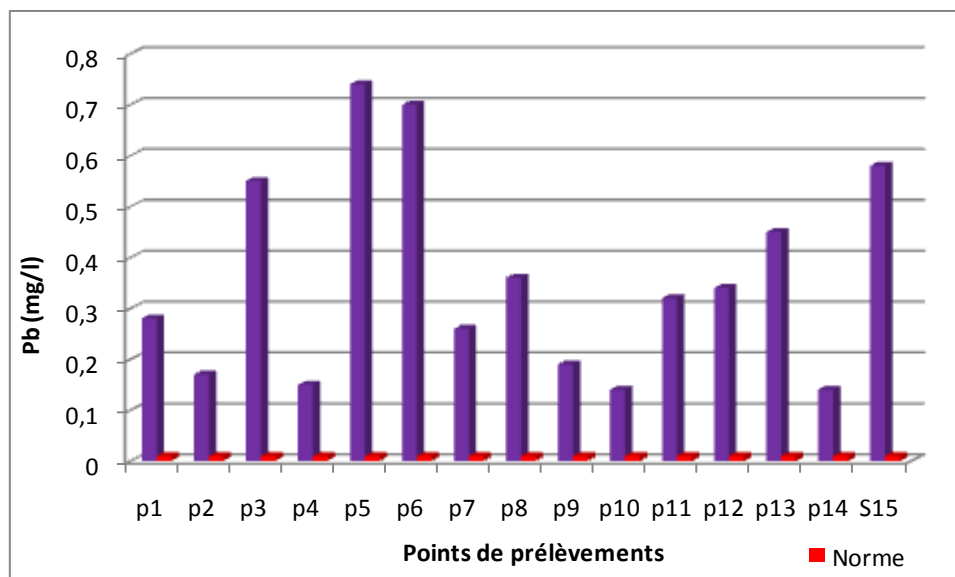


Fig. N° 58 : Variation des concentrations en Plomb dans la zone d'étude

### I.2.2.5. Le Nickel

Le nickel présente une large gamme d'utilisations dans le domaine agricole et industriel (alliages, revêtement, céramique, verre.) (Debieche, 2002)

Les concentrations observées au niveau de la région d'étude sont présentées dans la figure 59. Le maximum s'observe au niveau de (P7), avec la valeur de 1 mg/l, le minimum est observé au niveau du puits (P12) avec la valeur de 0.1 mg/l. Ces valeurs dépassent la valeur limite préconisée par l'OMS dans ses directives de qualité pour l'eau de boisson (2004), soit 0.02 mg/l.

Ces valeurs assez significatives auraient une origine anthropique en particulier l'utilisation d'engrais (éléments trace métalliques essentiels pour la croissance et le développement des végétaux (Lasat., 2002 ; Bertrand et Poirier 2005), ainsi que les produits cosmétiques.

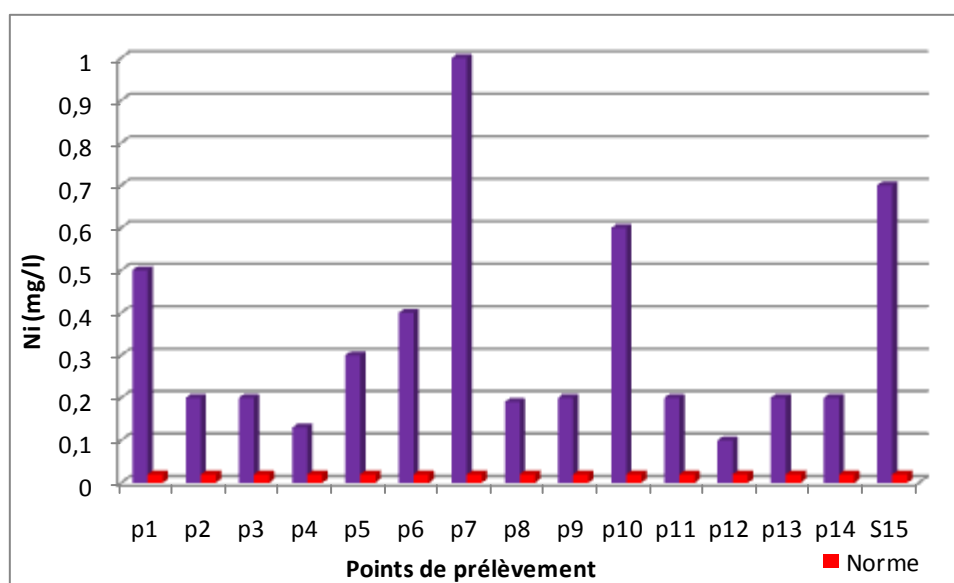


Fig. N° 59: Variation des concentrations de Nickel dans la zone d'étude

### I.2.2.6. Le Cadmium

Le cadmium est un métal relativement rare dans la nature. Sa stabilité dans l'eau est fonction du pH et du potentiel d'oxydoréduction. (Debieche, 2002).

Les émissions de cadmium dans l'environnement proviennent soit de sources ponctuelles (ex : accidents industriels), soit de sources diffuses (ex : engrais phosphatés). (Guettaf, 2015) Son origine, d'un point de vue industriel, est liée aux matières plastiques, huiles de moteurs, piles et dans les produits de stabilité thermique. (Debieche, 2002)

Le cadmium est présent de façon plus ou moins importante dans quatre principales activités agricole (Sogreah, 2007) qui sont présentées par ordre décroissant selon leurs apports en cadmium sur les sols agricoles:

- Les fertilisants minéraux phosphatés.
- Déjection animales.
- Épandage de boues, composts et autres produits.
- Amendement calcique et magnésien.

Les résultats des analyses chimiques des points de prélèvements dans les puits de la région d'étude montrent des valeurs supérieures à la norme requise par l'OMS (fixée à **0.003 mg/l**).

La contamination par cet élément est causée par les rejets des industries (transformation plastique, briqueteries et rejets des fourneaux de l'unité céramique) et aux activités agricoles. (Nouar 2007)

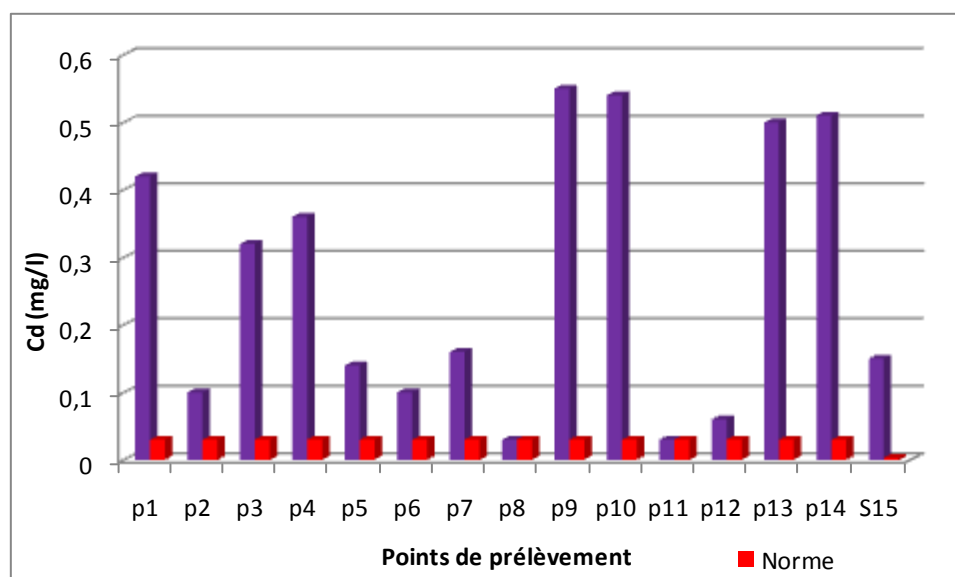


Fig. N° 60 : Variation des concentrations en Cadmium dans la zone d'étude

### I.2.2.7. L'Aluminium

On trouve couramment l'aluminium sous la forme de silicate d'aluminium ou combiné avec d'autres éléments, tels que le sodium, le potassium, le fer, le calcium et le magnésium. Dans l'industrie, il est utilisé dans le traitement de surface, la métallurgie, l'industrie de l'alumine, les colorants et l'industrie pétrochimique. (Debieche, 2002)

L'OMS préconise comme limite la valeur de **0.2 mg/l** pour la quantité d'aluminium dans l'eau de boisson. Selon la figure 61 les concentrations observées varient de 0.02 mg/l (P5, P13) à 0.04 mg/l (P3, P12) donc sont dans les normes préconisées.

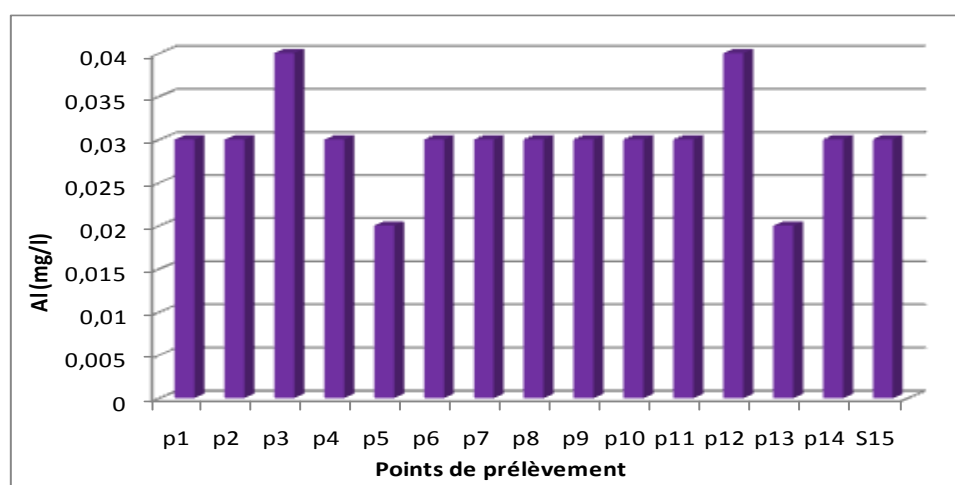


Fig. N° 61 : Variation des concentrations en Aluminium dans la zone d'étude

### I.2.2.8. Le Cuivre

Il est très employé dans les alliages (laiton, bronze, maillechort), l'industrie électrique, le traitement de surface, la galvanoplastie ainsi que dans les traitements agricoles. (Debieche, 2002)

Les valeurs varient entre 0,0006 (P13) et 0,4 (S15) mg/l (Fig. N° 62), elles sont inférieures à la limite de potabilité, des eaux souterraines fixée par l'OMS à **2 mg/l**.

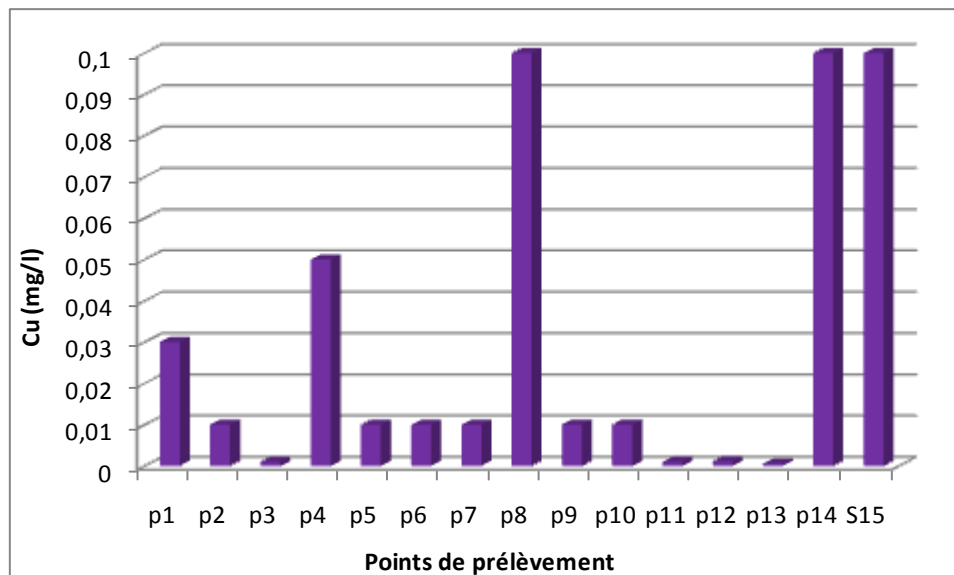


Fig. N° 62 : Variation des concentrations de cuivre dans la zone d'étude

### I.2.2.9. Le Chrome (Cr) :

Il provient généralement des résidus de galvanoplastie, des tanneries, des raffineries et de l'industrie de textile. (Kemmer, 1984)

Les quantités de chrome détectées dans les écosystèmes sont liées à des émissions d'origine industrielle ainsi que des déchets domestiques enfouis sous terre sans périmètre de protection. (Gaujous, 1995)

D'après la figure 63 on remarque que la teneur en chrome présente un maximum au niveau du point (S15), avec 0.16 mg/l et un minimum au niveau de (P14), avec 0.04 mg/l.

Le profil longitudinal du chrome dans la figure 63, montre que 67% des points d'eaux analysés présentent une concentration qui dépasse la valeur guide fixée par l'OMS (0.05 mg/l) (les valeurs trouvées varient entre 0.04 et 0.16 mg/l).

Des concentrations supérieures à cette valeur guide dans l'eau de boisson peuvent entraîner des éruptions cutanées, des ulcères gastriques, un affaiblissement immunitaire, voire un cancer du poumon (CIRC, 1980) par effet cumulatif.



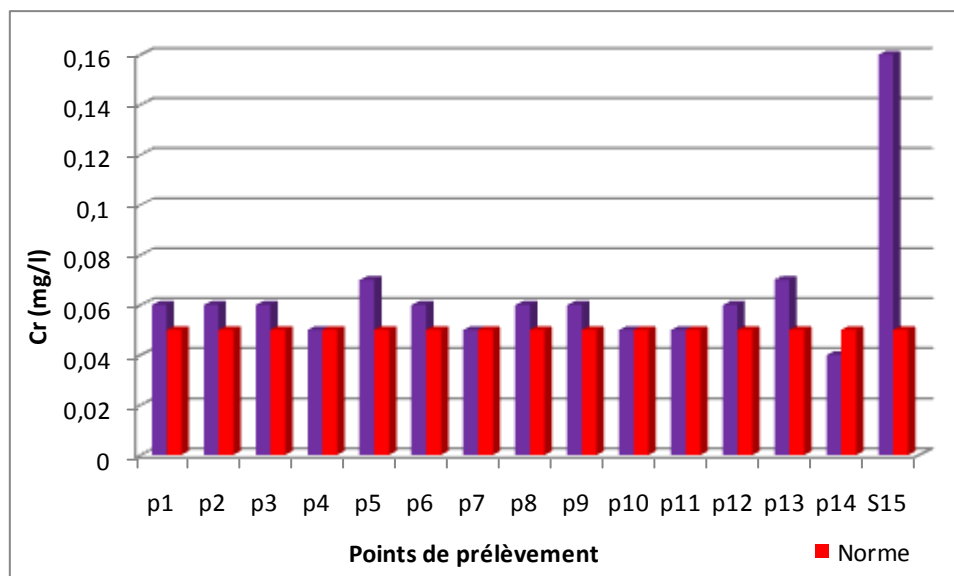


Fig. N° 63 : Variation des concentrations en Chrome dans la zone d'étude

### I.2.3. Classification et interprétation de la qualité des eaux souterraines :

La qualité générale de l'eau est appréciée selon quatre classes déterminées à partir d'une grille à double entrée (Classe de qualité et paramètres mesurés). (Nisbet., Verneau., 1970)

L'évaluation de la qualité minérale des eaux est définie en fonction des valeurs de chacun des paramètres considérés et des normes requises :

**Classe I :** Eau de bonne qualité, utilisée sans exigence particulière

**Classe II :** Eau de qualité moyenne, utilisée après un simple traitement

**Classe III :** Eau de mauvaise qualité, ne peut être utilisée qu'après un traitement très poussé

**Classe IV :** Pollution excessive, ne peut être utilisée qu'après traitements spécifiques et très onéreux

Tableau 26 : Grille utilisée pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines (ANRH, 2012)

Eléments	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
<b>Evaluation de la qualité minérale</b>				
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	40 – 100	100 – 200	200 – 300	300
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	< 30	30 – 100	100 – 150	150
Na <sup>+</sup> (mg/l)	10 – 100	100 – 200	200 – 500	500
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	10 – 150	150 – 300	300 – 500	500
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	50 – 200	200 – 300	300 – 400	400
<b>Evaluation vis-à-vis de l'azote (ANRH)</b>				
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	≤ 0.01	0.01 – 0.1	0.1 – 3	> 3
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	≤ 0.01	0.01 – 0.1	0.1 – 3	> 3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	≤ 10	10 – 20	20 – 40	> 40
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	≤ 0.01	0.01 – 0.1	0.1 – 3	> 3
<b>Evaluation des éléments toxiques et indésirables</b>				
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
Zn (mg/l)	0	0 – 0.5	0.5 – 1	1
Cd (mg/l)	0	0	0 – 0.01	0.01
Pb (mg/l)	0	0	0 – 0.05	0.05

### I.2.3.1. Discussion et cartographie des résultats

Au vu des résultats présentés dans le tableau (26), on peut donner les résultats suivants :

**I.2.3.1.1. Matière minérale** Selon la classification ci-dessus, les eaux souterraines de la région d'étude présentent une pollution modérée à notable vis-à-vis des ions Na<sup>+</sup> et Mg<sup>2+</sup>. Cette dernière devient notable à importante suite à la présence en quantité excessive des ions Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup> et SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Ces résultats sont en étroite corrélation avec les faciès chimiques dominant (Sulfaté – calcique, Chloruré- sulfaté-calcique, Chloruré – sodique) et les grandes valeurs des conductivités électriques traduisant une minéralisation excessive.

**I.2.3.1.2. Pollution vis-à-vis des nitrates, nitrites, ammonium et des phosphates**

En se référant aux résultats des histogrammes (Fig. N° 65) on s'aperçoit que les eaux de la nappe superficielle sont altérées suite à la présence des teneurs excessives en composés azotés et en phosphates. Comparées à la grille de qualité (Tableau 26), ces paramètres dépassant les normes tolérées et montrent que les eaux du périmètre irrigué, sont remarquablement polluées au niveau de tous les secteurs.

Ces indicateurs confirment l'hypothèse d'une pollution essentiellement agricole, surtout par les phosphates, avec une pollution importante.

**I.2.3.1.3. Éléments trace métalliques**

Selon les normes de la Grille utilisée pour signaler les problèmes des éléments traces métallique, le fer, le zinc, le cuivre, le manganèse et le chrome se caractérisent par une qualité bonne à mauvaise, contrairement les valeurs du Pb et Cd dépassent la norme tolérée dans tous les points de prélèvements et appartiennent à la dernière classe (pollution excessive).

L'origine du cadmium et du plomb doit être recherchée dans les effluents industriels (galvanoplastie, en particulier), des incinérations de déchets, et aussi l'utilisation d'engrais chimiques.

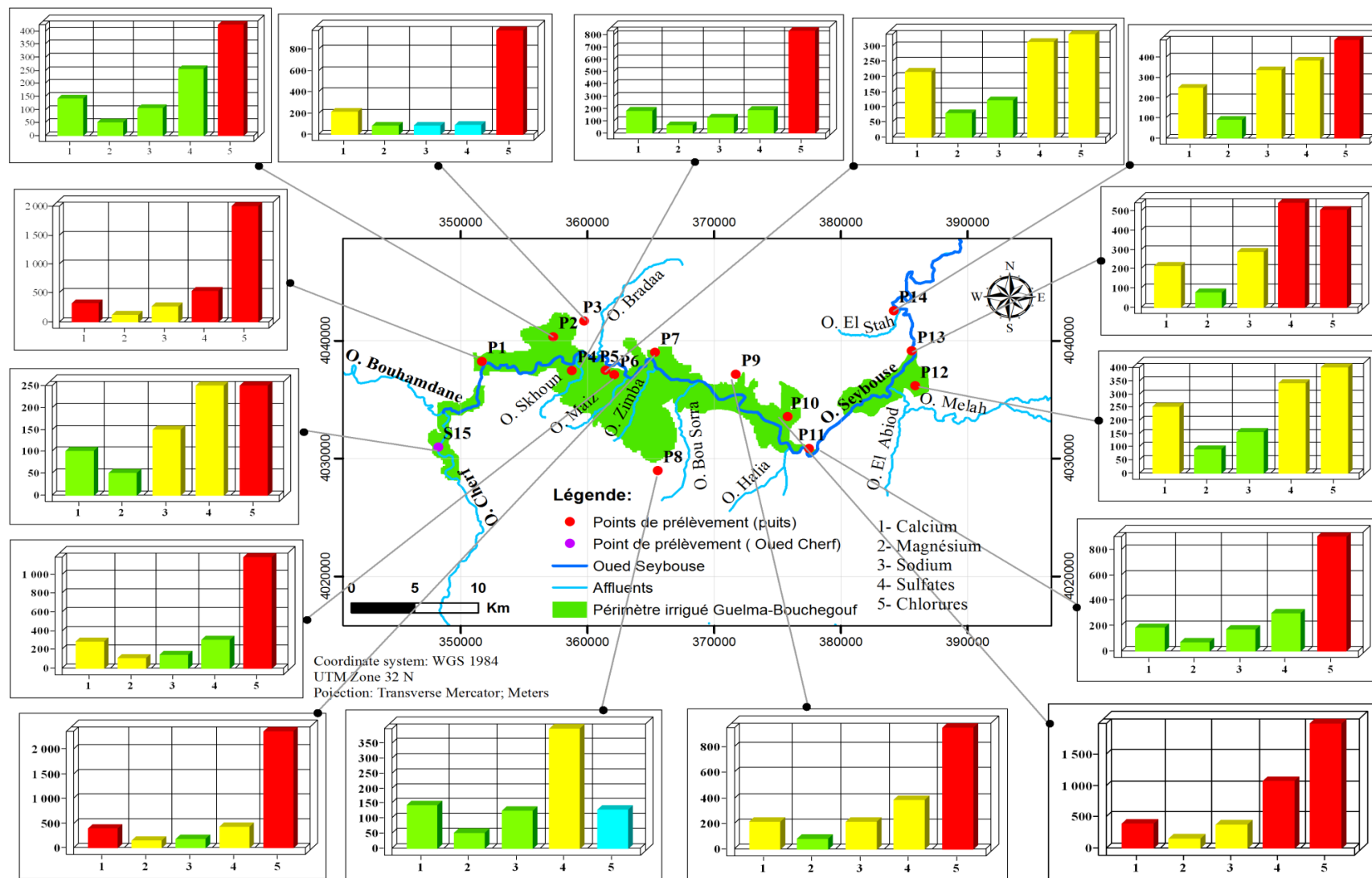


Fig. N° 64 : Carte de qualité minérale des eaux souterraines de la zone d'étude

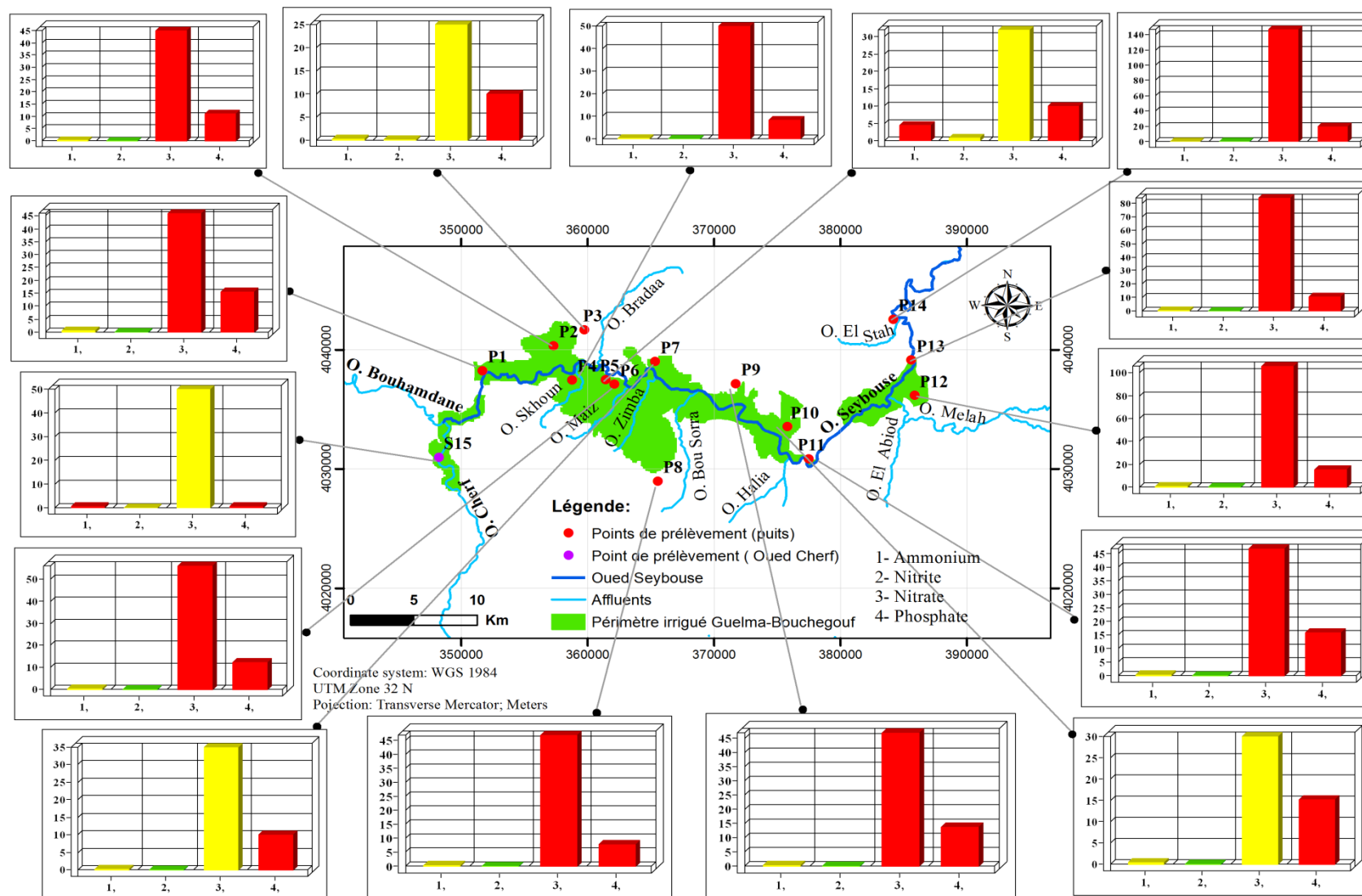


Fig. N° 65 : Carte de qualité des éléments azotés des eaux souterraines de la zone d'étude

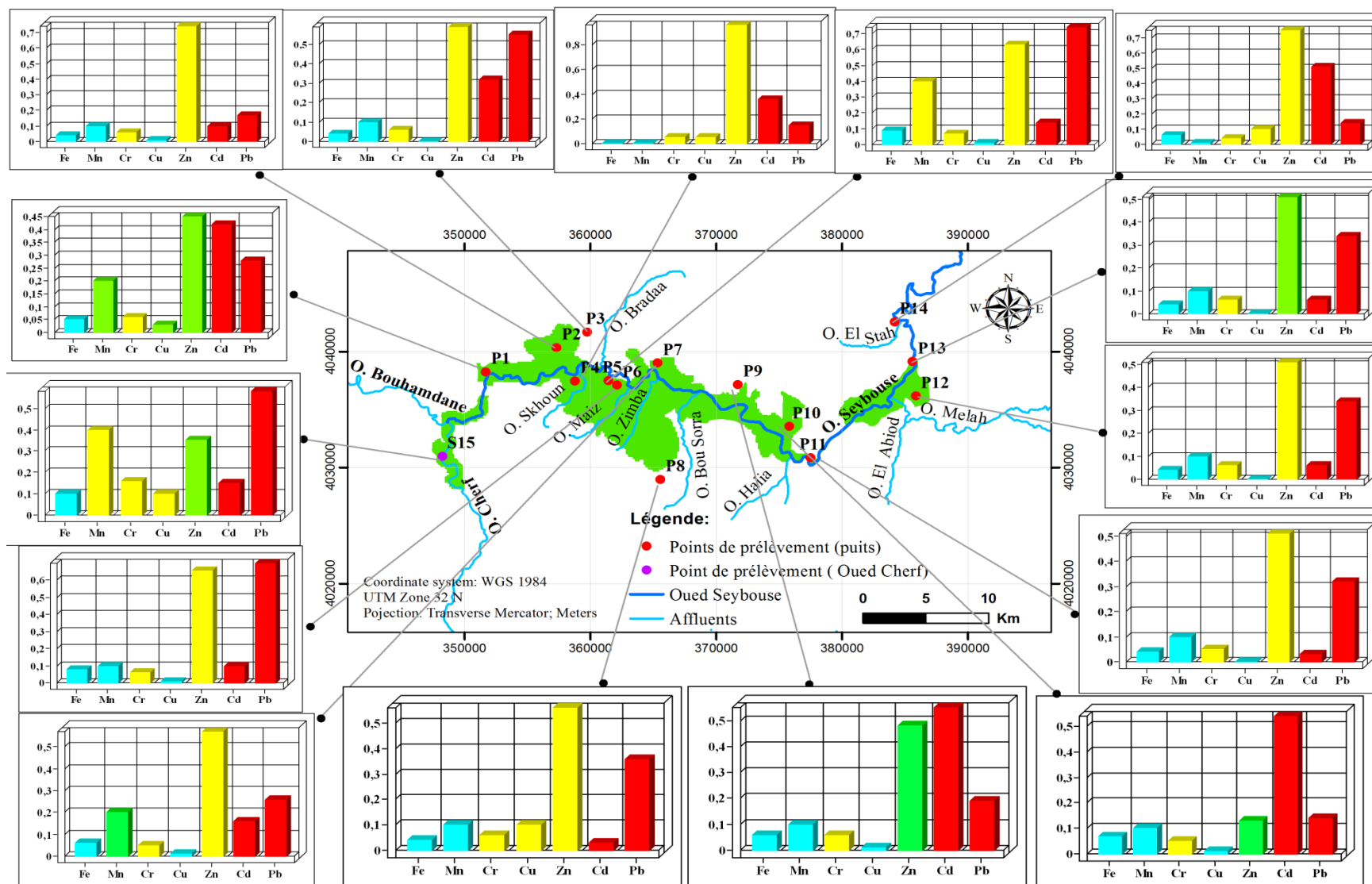


Fig. N° 66 : Carte de qualité des éléments traces métalliques des eaux souterraines de la zone d'étude

### I.2.4. Analyse en Composantes Principales

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode d'analyse multi-variée permettant l'étude simultanée d'un grand nombre de variables dont l'information totale ne peut pas être visualisée à cause d'un espace à plus de trois dimensions. Cette méthode permettrait de préciser les relations entre les variables et les phénomènes à l'origine de ces relations. L'objectif est d'avoir une information concentrée sur un minimum d'axe (Ayadi et al, 2008).

Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydrochimiques. (Abrid, 2015, Toumi et al 2016)

Pour la réalisation de l'ACP, on a utilisé le logiciel STATISTICA 8, l'analyse statistique des résultats des analyses chimiques a été réalisée par l'interprétation de la matrice de corrélation, composée de vingt-six variables avec quatorze prélèvements répartis le long du périmètre irrigué Guelma-Boucheouf, soit 26 variables et 14 individus.

Les variables retenues pour cette étude statistique sont : la température (T), le pH, la conductivité électrique (CE), la turbidité, l'oxygène dissous ( $O_2$ ), les cations ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ), les anions ( $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ), les composés azotés ( $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$  et  $NH_4^+$ ), le phosphate ( $PO_4^{3-}$ ) et les métaux lourds (Fe, Mn, Zn, Pb, Ni, Cd, Al, Cu, Cr, As).

#### I.2.4.1. Statistiques élémentaires

Les statistiques élémentaires (moyenne et écart type) concernant les variables analysées sont représentées dans le tableau 27.

**Tableau 27 : Statistiques élémentaires des variables**

Paramètres	T	pH	CE	Tur	$O_2$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$K^+$	$Na^+$	$Cl^-$	$HCO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$NO_3^-$
Moyenne	21,98	8,10	2308,43	5,49	7,92	241,90	88,01	10,97	189,71	393,54	389,06	432,51	56,93
Ecart-type	1,61	0,34	905,66	3,51	0,72	80,55	29,25	13,18	90,42	228,73	100,08	199,81	33,63
Paramètres	$NO_2^-$	$NH_4^+$	$PO_4^{3-}$	Fe	Mn	Zn	Pb	Ni	Cd	Al	Cu	As	Cr
Moyenne	0,11	0,69	12,53	0,05	0,12	0,57	0,34	0,32	0,27	0,03	0,02	0,02	0,06
Ecart-type	0,23	1,08	3,35	0,02	0,10	0,19	0,20	0,24	0,20	0,01	0,03	0,01	0,01

Les statistiques montrent que les valeurs excessivement élevées sont : la conductivité électrique, les sels minéraux ( $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ) et les nitrates.

#### I.2.4.2. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation donne une première approximation sur les associations existantes entre les différentes variables, présentant un bon coefficient de corrélation, telles que la conductivité électrique avec  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  et  $Cl^-$ , ainsi que  $NH_4^+$  avec les  $NO_2^-$ .

Les paramètres qui sont relativement bien corrélés entre eux sont mentionnés en gras et soulignés dans le Tableau 28.

Tableau 28 : Matrice de corrélation

	T	pH	CE	Tur	O <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Fe	Mn	Zn	pb	Ni	Cd	Al	Cu	As	Cr	
<b>T</b>	1																										
<b>pH</b>	0,07	1																									
<b>CE</b>	0,1	0,03	1																								
<b>Tur</b>	-0,19	0,08	0,45	1																							
<b>O<sub>2</sub></b>	-0,18	0,59	0,09	0,01	1																						
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	0,33	-0,18	<b>0,84</b>	0,36	-0,11	1																					
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	0,33	-0,18	<b>0,84</b>	0,36	-0,12	<b>1</b>	1																				
<b>K<sup>+</sup></b>	-0,1	0,3	0,33	0,01	0,43	0,18	0,18	1																			
<b>Na<sup>+</sup></b>	-0,07	0,33	0,82	0,29	0,44	0,53	0,53	0,7	1																		
<b>Cl<sup>-</sup></b>	-0,02	0,19	<b>0,91</b>	0,51	0,2	0,64	<b>0,6</b>	0,31	<b>0,8</b>	1																	
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,07	0,02	0,1	-0,4	-0,01	0,16	0,16	0,07	0,19	-0,13	1																
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	0,33	-0,1	<b>0,56</b>	0,09	-0,01	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	0,46	0,5	0,28	0,24	1															
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	-0,1	0,35	-0,06	-0,3	0,49	-0,08	-0,1	0,6	0,42	-0,04	0,39	0,25	1														
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	-0,05	-0,41	-0,13	0,27	<b>-0,8</b>	-0,1	-0,1	-0,06	-0,2	-0,11	-0,1	-0,12	-0,2	1													
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	0	-0,41	-0,1	0,25	<b>-0,8</b>	-0,05	-0,1	-0,1	-0,2	-0,08	-0,1	-0,12	-0,2	<b>0,98</b>	1												
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	-0,15	0,18	0,45	0,16	0,41	0,34	0,33	0,49	<b>0,7</b>	0,35	0,47	0,31	0,56	-0,22	-0,16	1											
<b>Fe</b>	-0,19	-0,46	0,44	0,36	-0,42	0,46	0,46	0,06	0,28	0,37	0,16	0,29	-0,1	0,53	0,52	0,25	1										
<b>Mn</b>	0,23	-0,42	0,12	0,25	-0,87	0,2	0,2	-0,34	-0,2	0,05	0,1	-0,03	-0,4	<b>0,84</b>	0,85	-0,21	0,61	1									
<b>Zn</b>	-0,02	-0,24	-0,73	-0,6	-0,1	-0,51	-0,5	0,04	-0,6	<b>-0,8</b>	0	-0,14	0,2	0,08	0,05	-0,32	-0,4	-0,2	1								
<b>pb</b>	-0,01	-0,56	-0,28	-0,1	-0,7	-0,1	-0,1	-0,33	-0,4	-0,32	-0,1	0	-0,2	0,59	0,59	-0,34	0,49	0,56	0,03	1							
<b>Ni</b>	0,42	-0,22	0,66	0,16	-0,32	<b>0,8</b>	0,84	-0,05	0,25	0,46	0,17	0,58	-0,4	-0,01	-0,02	-0,01	0,41	0,36	-0,34	-0,06	1						
<b>Cd</b>	-0,11	0,18	0,53	0,41	0,43	0,31	0,31	0,58	<b>0,7</b>	0,46	0	0,49	0,18	-0,15	-0,23	0,33	0,05	-0,26	-0,28	-0,39	0,05	1					
<b>Al</b>	0,27	0,09	-0,22	0,08	0,4	0,06	0,06	-0,22	-0,3	-0,26	-0	0,03	0,06	-0,5	-0,44	0,19	-0,4	-0,43	0,04	-0,21	-0,1	0,18	1				
<b>Cu</b>	0,26	0,24	-0,14	-0,3	0,4	-0,22	-0,2	0,46	0,17	-0,03	-0,3	-0,02	0,42	-0,14	-0,15	0,05	-0,2	-0,34	0,36	-0,31	-0,2	0,08	-0	1			
<b>As</b>	-0,13	0,5	-0,07	-0,3	0,42	-0,18	-0,2	0,71	0,41	-0,07	0,33	0,28	0,77	-0,2	-0,21	0,33	-0,2	-0,44	0,15	-0,12	-0,4	0,36	-0,1	0,21	1		
<b>Cr</b>	-0,08	-0,3	-0,22	0,06	-0,51	-0,29	-0,3	-0,57	-0,4	-0,13	-0	-0,35	-0,3	0,48	0,49	-0,48	0,24	0,55	-0,17	<b>0,65</b>	-0,2	0,17	-0,3	-0,44	-0,2	1	



### I.2.4.3. Analyse factorielle

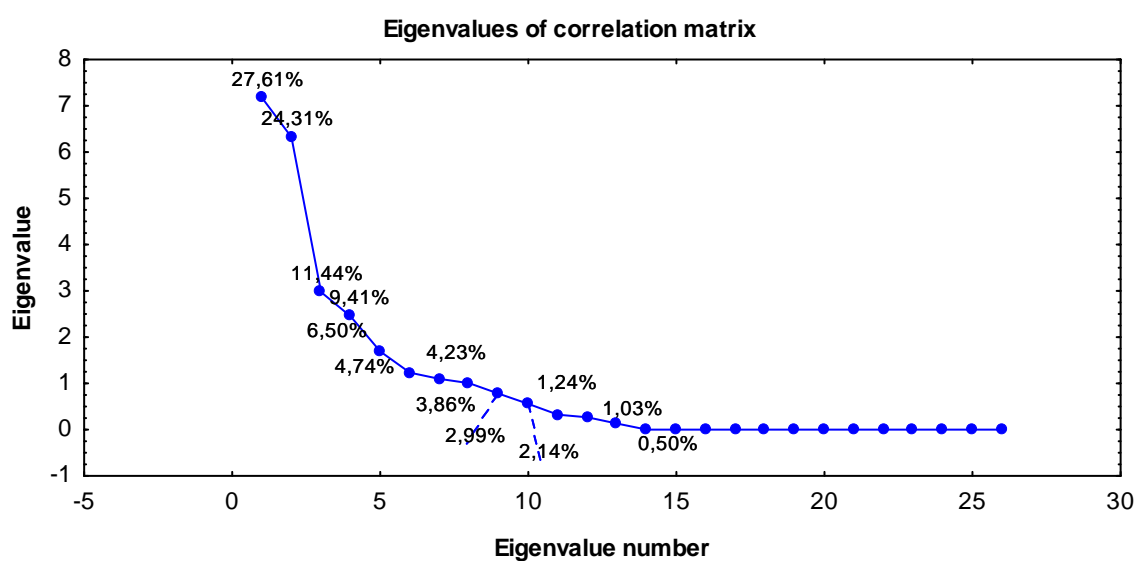
Les valeurs propres expriment la variance de chacun des facteurs. Cette variance est alors comparée à la variance totale, cela nous amène à classer les facteurs par ordre de variance exprimée. (Tableau 29)

Le facteur 1 exprime 27.61 % de la variance, le facteur 2 : 24.31% et le facteur 3 : 11.44%. Ces résultats montrent que le facteur 1 représente la plus forte variance par rapport aux autres.

Le plan factoriel (F1-F2) exprime 51.92% de la variance cumulée, alors que le plan (F1-F3) exprime 39.05%. De ce fait la représentation des données dans ces deux plans rend compte de façon satisfaisante de leur structure.

**Tableau 29 : Tableau de diagonalisation**

Axe	Valeur Propre	% Total	%Variance	%Cumulé
F1	7,18	27,61	7,18	27,61
F2	6,32	24,31	13,50	51,92
F3	2,97	11,44	16,47	63,36
F4	2,45	9,41	18,92	72,77
F5	1,69	6,50	20,61	79,27
F6	1,23	4,74	21,84	84,01
F7	1,10	4,23	22,94	88,24
F8	1,00	3,86	23,95	92,10
F9	0,78	2,99	24,72	95,09
F10	0,56	2,14	25,28	97,23
F11	0,32	1,24	25,60	98,47
F12	0,27	1,03	25,87	99,50
F13	0,13	0,50	26,00	100,00



**Fig. N°67 : Représentation graphique des valeurs propres**

**I.2.4.4. Etude des variables**

Les corrélations des variables par rapport aux axes factoriels sont mentionnées dans le tableau 53, cette corrélation est très importante pour positionner les variables vis-à-vis des axes. (Tableau 30)

**Tableau 30 : Corrélation des variables avec les axes**

Paramètres /Axes	F1	F2	F3
T	-0,06	0,14	0,38
pH	-0,41	-0,48	-0,01
CE	-0,76	0,60	0,05
Tur	-0,24	0,50	0,07
O <sub>2</sub>	-0,63	-0,67	0,10
Ca <sup>2+</sup>	-0,62	0,67	0,25
Mg <sup>2+</sup>	-0,62	0,67	0,25
K <sup>+</sup>	-0,66	-0,19	-0,57
Na <sup>+</sup>	-0,90	0,18	-0,33
Cl	-0,69	0,48	0,01
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,20	0,02	-0,21
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0,61	0,35	-0,04
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,42	-0,48	-0,55
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,53	0,55	-0,52
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,52	0,56	-0,50
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-0,67	-0,02	-0,28
Fe	-0,06	0,77	-0,37
Mn	0,45	0,80	-0,20
Zn	0,46	-0,53	-0,13
pb	0,63	0,42	-0,26
Ni	-0,34	0,68	0,39
Cd	-0,67	0,06	-0,25
Al	-0,10	-0,34	0,61
Cu	-0,18	-0,46	-0,18
As	-0,38	-0,49	-0,61
Cr	0,62	0,34	-0,18

**I.2.4.5. Représentation des variables : Cercles de corrélations**

L'interprétation de la distribution des variables, se fera à l'aide des cercles des corrélations. Ces cercles de rayon  $R = 1$  (sphère dans l'espace), mettent en évidence les liens entre les différentes variables, qui correspondent à une projection des variables initiales sur un plan à deux dimensions. (Fig. N°68 et 69)

Projection of the variables on the factor-plane ( 1 x 2)

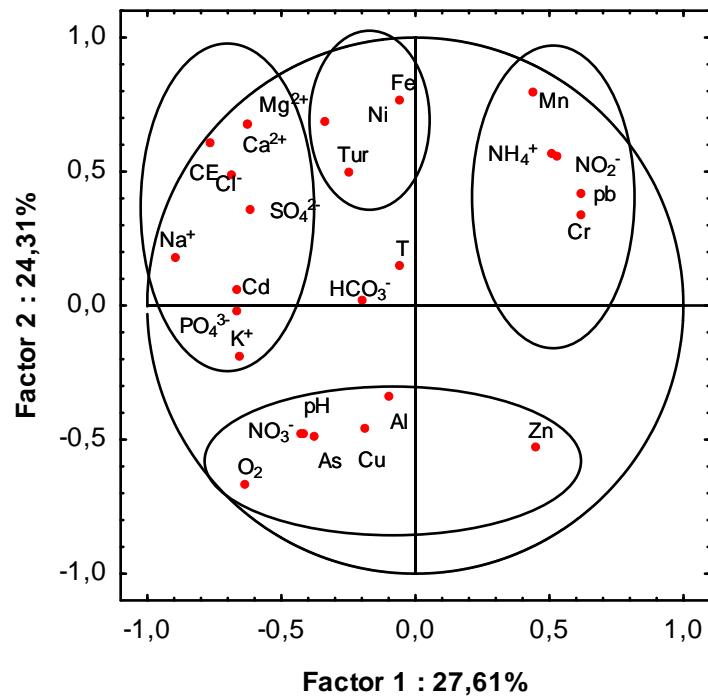


Fig. N° 68: Projection des variables selon le plan (F1-F2)

Projection of the variables on the factor-plane ( 1 x 3)

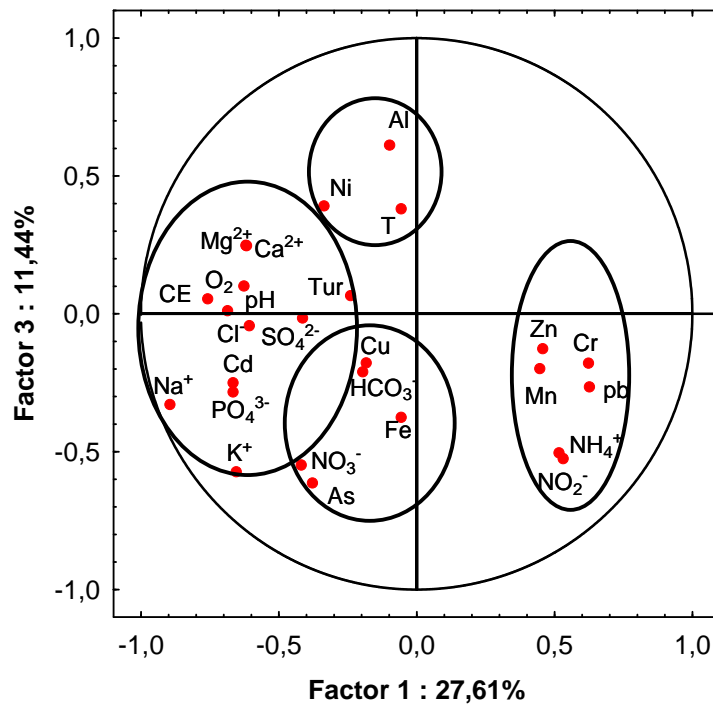


Fig. N° 69: Projection des variables selon le plan (F1-F3)

### - Projection des variables selon le plan (F1-F2) :

Selon le plan (F1-F2) présentant une fréquence cumulée de 51.92 %, le facteur F1 représentant 27.61% de la variance regroupe dans son sens positif un nuage de points (Mn, Pb, Cr, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>), caractérisant ainsi un axe de pollution.

Dans son sens négatif, il fait ressortir un nuage de points regroupant : la conductivité électrique (CE), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Cd, et le PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, caractérisant les éléments responsables de la forte minéralisation et les faciès chimiques. L'axe F1 dans son sens négatif représente ainsi un axe de minéralisation.

L'axe F2 représentant 24,31 % de la variance, fait ressortir dans son sens positif un premier nuage de points: Ni, Tur et Fe, traduisant une pollution d'origine industrielle et dans le sens négatif un deuxième nuage regroupant : Al, Zn, Cu, pH, As, O<sub>2</sub>, et NO<sub>3</sub><sup>-</sup> indiquant une pollution anthropique d'origine industrielle et agricole. (Fig. N° 68)

### - Projection des variables sur le plan (F1-F3) :

Selon le plan (F1-F3) ayant une fréquence cumulée de 63.36%, l'axe F1 avec une variance de 27.61% fait ressortir dans son sens positif un nuage de points représenté par (Zn, Cr, Mn, Pb, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), représentant ainsi une pollution industrielle et azotée.

Dans son sens négatif, un nuage de points regroupant ( Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, CE, Na<sup>+</sup>, O<sub>2</sub>, pH, Tur, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Cd, et le PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) indiquant les variables responsables de la salinité d'origine géologique (dissolution des évaporites de la zone d'étude).

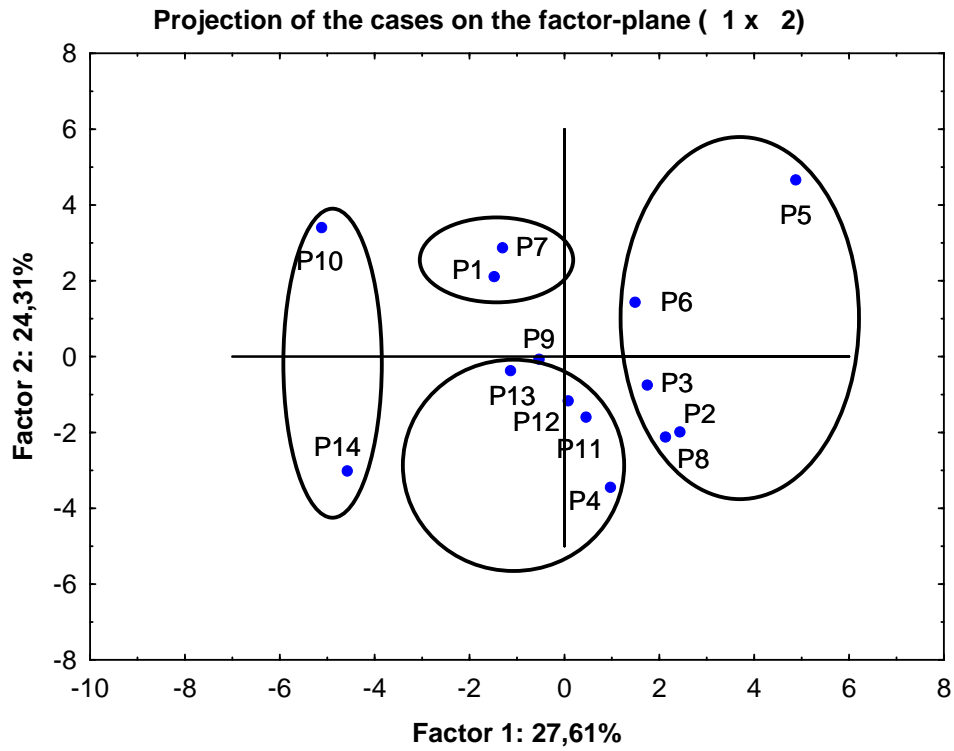
L'axe F3 représentant une variance de 11.44%, fait ressortir dans son sens positif un nuage de points (T, Al, Ni), qui s'oppose au deuxième nuage de points dans son sens négatif regroupant (Cu, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, As, Fe et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) caractérisant ainsi un axe de pollution. (Fig. N° 69)

#### I.2.4.6. Représentation des individus :

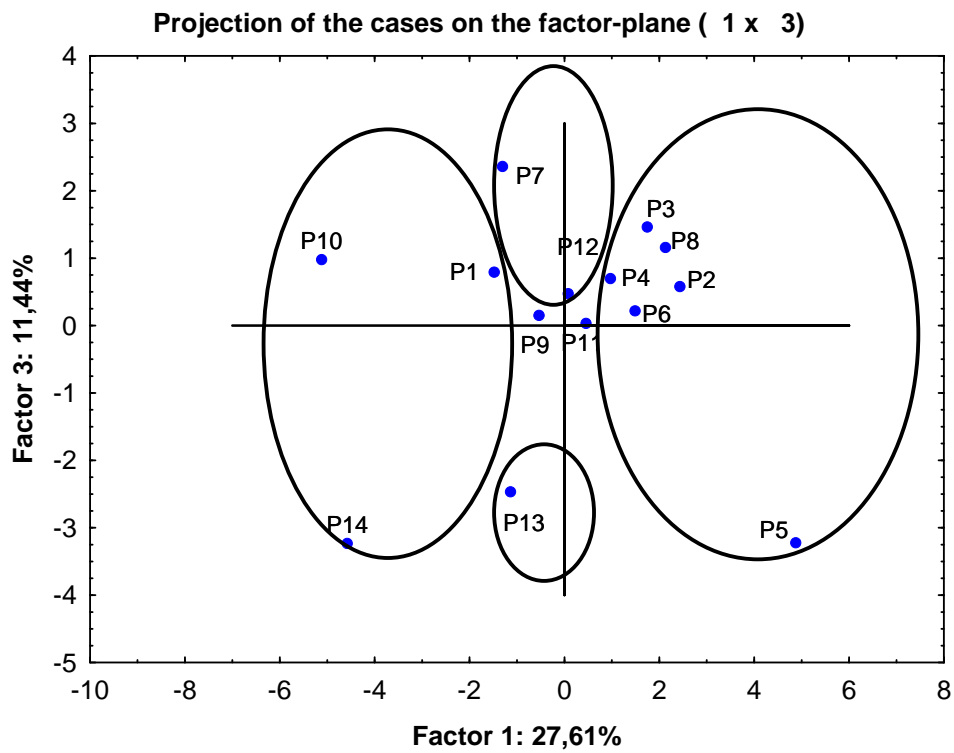
Le tableau 53 indique la corrélation des individus avec les axes.

**Tableau 31 : Corrélation des individus avec les axes**

Individus / Axes	F1	F2	F3
P1	-1,48415	2,11304	0,79506
P2	2,43394	-1,98591	0,57902
P3	1,74496	-0,74851	1,46321
P4	0,96679	-3,44842	0,70149
P5	4,87762	4,66648	-3,21990
P6	1,48718	1,43892	0,21706
P7	-1,31000	2,87582	2,36028
P8	2,12690	-2,11779	1,15849
P9	-0,53967	-0,06721	0,15190
P10	-5,12058	3,40760	0,97978
P11	0,45598	-1,59483	0,03467
P12	0,07829	-1,15865	0,47478
P13	-1,14115	-0,36652	-2,46549
P14	-4,57607	-3,01402	-3,23037



**Fig. N° 70: Projection des individus selon le plan (F1-F2)**



**Fig. N° 71 : Projection des individus selon le plan (F1-F3)**

**- Représentation des individus : Plan (F1-F2)**

Selon le plan (F1-F2), l'axe F1 fait ressortir dans son sens positif un nuage de points (P2, P3, P5, P6 et P8) caractérisés par une pollution agricole. Ce nuage de points s'oppose aux points (P10 et P14) caractérisés par des valeurs fortes à très fortes en conductivité électriques (de 1360 à 4610  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) et présentant comme faciès chimique le Chloruré sulfaté -Calcique et le sulfaté sodique et traduisant ainsi une forte minéralisation.

L'axe F2, regroupe les individus caractérisées par la pollution métallique et oppose les points (P1 et P7) caractérisés par des valeurs importantes en Ni et Cd, au nuage de point (P4, P11, P12 et P13). (Fig. N° 70)

**- Représentation des individus : Plan (F1-F3)**

Le plan (F1- F3) représente 39.05 % de la variance cumulée. L'axe horizontal F1 avec une variance de 27.61 % fait ressortir le nuage de points (P2, P3, P4, P5, P6 et P8) caractérisés par une pollution agricole. Dans le sens négatif, le nuage de points regroupant les points (P1, P10 et P14), qui se caractérisent par de fortes minéralisation.

L'axe F3, qui exprime (11.44 %) de la variance fait ressortir dans le sens positif le nuage de points (P7 et P12), qui s'oppose au point (P13), caractérisés par une pollution industrielle. (Fig. N° 71)

## II. Hydrochimie dans les sédiments

Les sédiments résultent du dépôt de matériel d'origine minéralogique ou biogénique de nature très variées. (Ramade, 1996)

Les analyses des sols sont des procédures visant à caractériser la composition et les qualités physicochimiques des sols. Ce sont des applications de la pédologie permettant d'avoir une idée sur l'impact de l'irrigation sur les sols et les eaux souterraines.

### II.1. Méthodes et stratégie de travail

#### II.1.1. L'échantillonnage

L'échantillonnage est primordial car il conditionne la pertinence de l'analyse. Il doit être de qualité mais aussi représentatif du milieu d'analyse. (Sayad, 2015)

Un échantillonnage stratifié concernant six (06) points a été retenu compte tenu des résultats précédents des analyses physico-chimiques dans les eaux des puits les plus pollués. Le prélèvement des sédiments a été réalisé dans la zone du périmètre irrigué Guelma-Boucheougouf, à une profondeur entre 0 et 60 cm.

#### II.1.2. Matériels et méthodes

Les prélèvements manuels ont été effectués à l'aide d'une tarière sur trois horizons : 0 cm ; 30 cm et 60 cm puis recueillis et brassés jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène dans des sachets en plastiques en adéquation avec les analyses prévues et la description de l'échantillon. Ces sachets ont été conservés depuis le prélèvement jusqu'au laboratoire d'analyses dans une glacière.

Les protocoles d'échantillonnages et le traitement des sédiments ont été fait selon les recommandations.

#### II.1.3. Analyse des éléments

Douze éléments ont été dosés dans les sédiments : pH, conductivité (CE), oxygène dissous ( $O_2$ ), ammonium ( $NH_4^+$ ), nitrate ( $NO_3^-$ ), nitrite ( $NO_2^-$ ), azote total (N), phosphore (P), potassium (K), phosphore assimilable ( $P_2O_5$ ), potassium assimilable ( $K_2O$ ) et l'engrais N.P.K 15.15.15.

Les analyses ont été réalisées au niveau du Laboratoire d'analyse de la qualité à Annaba (Algérie), en Novembre 2018.

#### II.1.4. Inventaire des points de prélèvements

La désignation des points de prélèvements, avec leurs coordonnées géographiques (UTM), sont résumés dans le tableau 32 et la Fig. N° 72.

On fait remarquer que le choix des (06) points de prélèvements dans les sédiments a été retenu, suite aux résultats des analyses dans les eaux des puits. Donc les points des sédiments ont été effectués juste à côté des puits concernés dans la tranche de sédiments de 0 à 60 cm.

Avec :

- S : prélèvement dans le sol.

Tableau 32 : Localisation des points de prélèvements dans les sédiments

Observation point	Latitude (deg. N)	Longitude (deg. E)	Élévation (m)
S1	36°28'49.8"	7°20'40.4"	240
S2	36°28'28.4"	7°25'25.8"	218
S3	36°28'18.7"	7°27'41.1"	205
S4	36°25'3.1"	7°38'1.4"	119
S5	36°27'59.2"	7°43'34.4"	154
S6	36°29'35.8"	7°43'22.6"	96

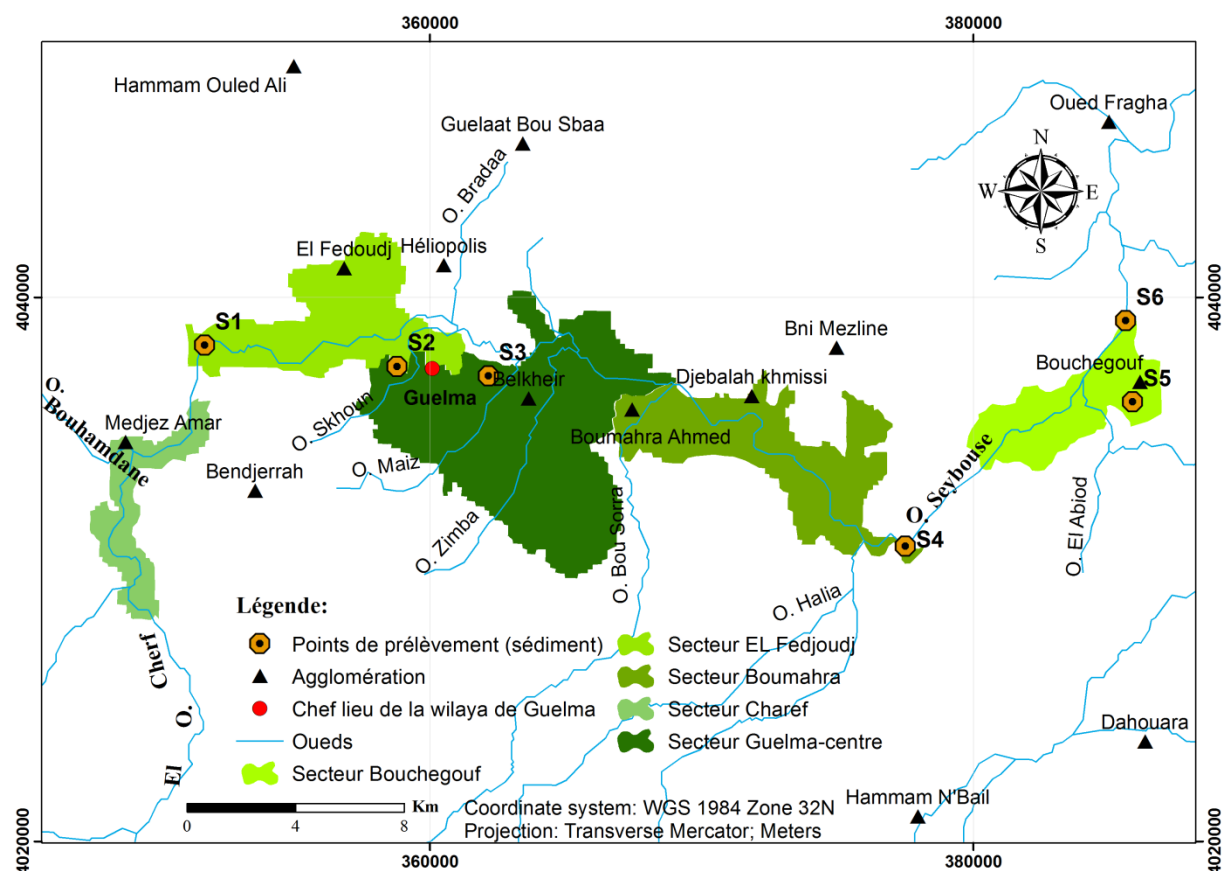


Fig. N° 72 : Carte de situation des points de prélèvements dans les sédiments

## II.2. Résultats et interprétations

### II.2.1. Analyse granulométrique et texture des sols

Le tableau 40 montre les résultats de l'analyse granulométrique. On remarque qu'au niveau de tous les points prélevés dans les sédiments l'existence de sables et de limons en grandes quantités, contrairement aux argiles qui sont représentées en petites quantités.

Donc les sols du secteur d'étude sont constitués par des (sables, limons et argiles) avec des pourcentages différents, dont les sables et les limons sont les plus abondants c'est donc des sols sablo-limoneux.



**Tableau 33 : Résultats granulométrique**

<b>Identification du sol</b>	<b>Horizon (cm)</b>	<b>Argile (%)</b>	<b>Limon (%)</b>	<b>Sable (%)</b>	<b>Texture</b>
S1	0-60	14	39	47	Sablo-limoneux
S2	0-60	16	40	44	Sablo-limoneux
S3	0-60	17	32	51	Sablo-limoneux
S4	0-60	12	32	56	Sablo-limoneux
S5	0-60	11	44	45	Sablo-limoneux
S6	0-60	14	46	40	Sablo-limoneux

### II.2.2. Caractéristiques des sols sablo-limoneux

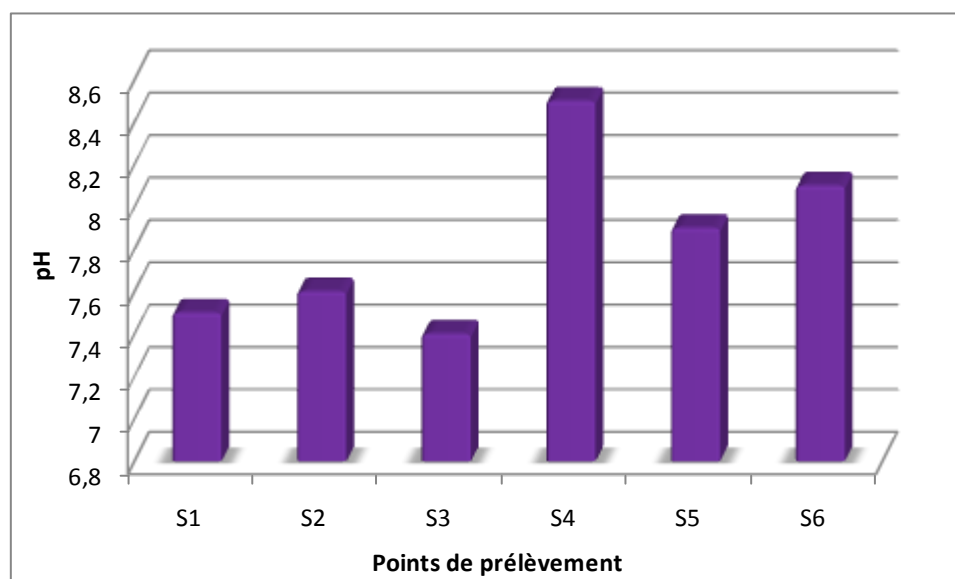
- D'origine alluviale, meubles, souples, à réaction subalcaline ou neutre, perméables et bien drainés.
- Les sols sablo-limoneux sont perméables à l'eau et à l'air du fait de leur porosité texturale entraînant une bonne aération, un bon drainage du sol et un bon développement racinaire.
- Toutefois, en saison sèche ces sols vont avoir tendance à sécher rapidement d'où des besoins assez importants en arrosage. Ils ont aussi la particularité de ne pas retenir facilement les éléments fertilisants.
- Du fait de leur texture, ils favorisent une importante infiltration ; ce qui limite le ruissellement des eaux.
- Ces types des sols présentent des variantes qui peuvent être déterminées à partir du pourcentage moyen en éléments fins (argiles et limons) des horizons.

### II.2.3. Le pH des sols

La mesure du pH (potentiel hydrogène) d'un sol permet de définir son état d'acidité ou d'alcalinité (d'où son statut acido-basique).

L'acidité du sol est régie par la quantité des cations hydrogènes ( $H^+$ ) qui sont fixés sur le complexe argilo-humique ou en mouvement dans la solution du sol. Elle influence directement l'assimilabilité des éléments nutritifs par le couvert végétal et joue à ce titre un rôle fondamental dans la rentabilité de la culture. Les sols ont une tendance naturelle à l'acidification, c'est-à-dire au remplacement sur le complexe des cations minéraux par des ions  $H^+$ . Or ce phénomène est accentué par l'action de certains engrais (phosphate, nitrate, ammoniacque). (El Hali, 2015)

Les résultats des analyses obtenus pour chacun des points de prélèvement sont représentés dans la Fig. N° 73 et indiquent que les valeurs du pH varient entre 7.4 (S3) et 8.5 (S4).



**Fig. N° 73: Variation du pH des sols**

D'après le tableau 34 traduisant le statut acido-basique des sols, on remarque que la majorité des échantillons analysés ont un pH alcalin à très alcalin (basique). Cette alcalinité provient essentiellement de la composition chimique des roches et matériaux d'origine du sol, qui est dans ce cas une roche à affinité calcaire.

**Tableau 34: Le statut acido-basique des sols selon Durand J.H. (1983)**

pH	Qualité des sols
5 à 6,5	Très acide
6,5 à 7,3	Neutre
7,3 à 7,8	Légèrement alcalin (basique)
7,8 à 8,5	Moyennement alcalin (basique)
8,5 à 9	Alcalin (basique) à Très alcalin (basique)
> 9	Très alcalin (basique)

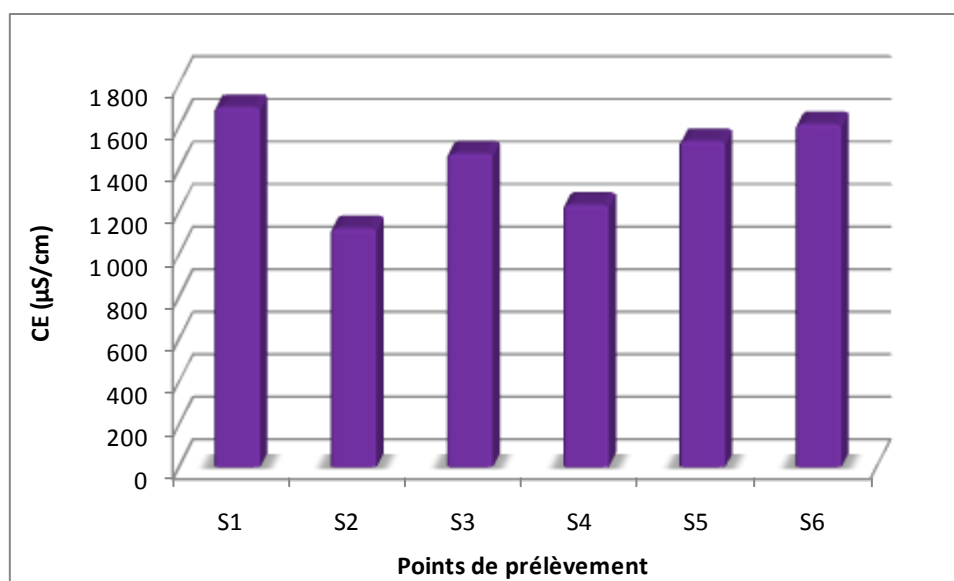
### II.2.3.1. Particularité des sols alcalins

Les pH des sols à réaction alcaline sont souvent des sols calcaires, dont le complexe absorbant est saturé par des ions sodium. Un sol alcalin peut entraîner une solubilisation incomplète de certains éléments comme le fer et le manganèse et entraîner, par exemple une chlorose ferrique.

### II.2.4. La conductivité électrique

La conductivité électrique des sols détermine leur degré de salinité. Cette salinité se traduit par un comportement différent des cultures vis-à-vis des classes de salinité. L'échelle de Durand J.H. (Tableau 35) a été utilisée pour indiquer la classe de salinité des sols.

La figure 74 montre que la conductivité électrique sur l'ensemble des échantillons des sols analysés dans le périmètre irrigué varie de 1120 (S2) à 1690 (S1)  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



**Fig. N° 74 : variation de la conductivité électrique des sols**

D'après le tableau ci-dessous, on remarque que tous les échantillons du sol prélevés présentent des valeurs comprises dans la fourchette 1000 à 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , nous pouvons donc dire que les sols étudiés sont des sols salés, qui peut être expliquée par le phénomène du lessivage par les eaux de surface ou par l'irrigation, qui est l'une des causes anthropiques de salinisation des sols dans un périmètre irrigué.

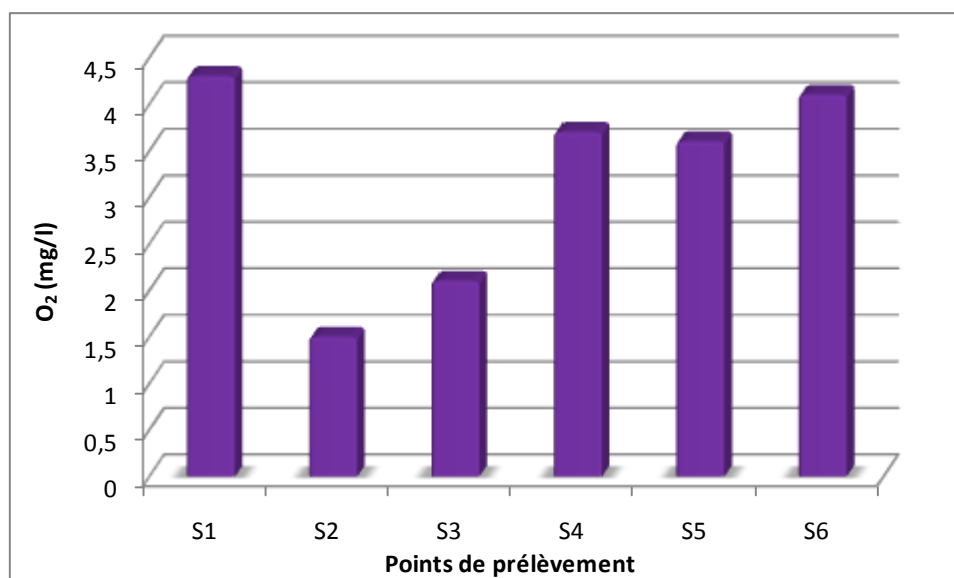
**Tableau 35 : Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand J.H. (1983)**

Conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Qualité des sols
< 500	Sol non salé
500 à 1000	Sol moyennement salé
1000 à 2000	Sol salé
2000 à 4000	Sol très salé
> 4000	Sol excessivement salé

### II.2.5. L'oxygène du sol

La teneur en oxygène de la phase gazeuse du sol joue un rôle déterminant dans de nombreux processus, il représente tous les facteurs qui concourent à maintenir et à améliorer l'aération du sol. (Raoul, 2003)

Les résultats des analyses montrent des valeurs sont comprises dans les limites 1.5 et 4.3 mg/l pour les points de prélèvement (S2) et (S1). (Fig. N° 75)



**Fig. N° 75: variation de l'oxygène dissous dans les sols**

Dans le cas de l'oxygène où il n'y a pas de norme limite utilisée pour les sédiments, les valeurs permettant seulement de vérifier la classe de qualité selon le tableau 36, ce qui nous permet de dire que :

La concentration en oxygène dissous est médiocre pour le point (S2), moyenne pour (S3) et bonne pour les points (S4, S5, S6 et S1).

**Tableau 36 : Référentiel des teneurs en oxygène dissous dans le sol selon l'échelle de Durand J.H. (1983)**

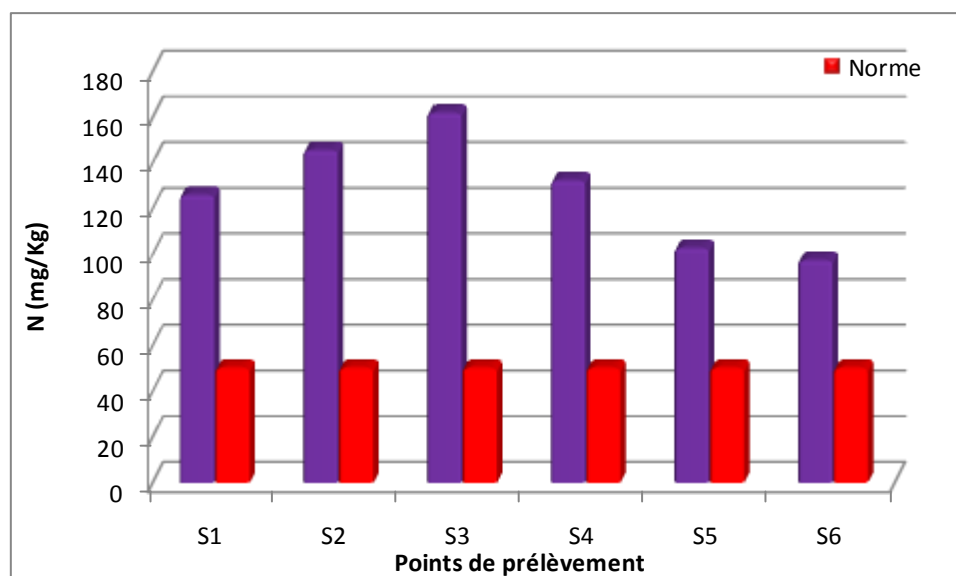
Oxygène dissous (mg/l)	Qualité des sols
< 1	Mauvais
1 à 2	Médiocre
2 à 3	Moyen
3 à 5	Bon
> 5	Très bon

## II.2.6. L'Azote

Les teneurs en azote changent constamment à cause de nombreux facteurs, dont la température du sol, la teneur en humidité du sol, l'apport d'azote et le moment de son application entre la saison précédente et la saison en cours, la culture de couverture, la culture précédente, les teneurs en matières organiques, les propriétés du sol. (Memento de l'agronome, 1993)

Selon la figure 76 on note une teneur élevée au niveau du point (S3) 161.70 mg/Kg alors que la teneur la plus faible obtenue est de l'ordre 97.2 mg/Kg dans le point (S6).

100% des échantillons présentent des taux qui dépassent le seuil critique (Un sol normal contient environ 100 kg d'azote par hectare soit 50 mg/Kg. (DSA Guelma, 2018)



**Fig. N° 76: Variation de teneurs en azote dans les sols**

Les résultats de l'analyse de l'azote total dans les sédiments étudiés montrent que ces sédiments sont très riches en cet élément (tableau 37). L'application de doses élevées en azote (100 à 120 kg/ha) amènerait les sols à des niveaux excessivement riches (DSA, 2018). Ce résultat peut s'expliquer par l'utilisation importante de fertilisants azotés dans le périmètre irrigué.

**Tableau 37 : Classement d'appréciation de teneur en azote dans le sol (Riquier, 1966)**

Azote (mg/kg)	Qualité des sols
< 5	Très pauvre
5 à 10	Pauvre
10 à 15	Moyen
15 à 25	Riche
> 25	Très riche

### II.2.7. Nitrate

Les nitrates présents dans les sols proviennent de la fixation de l'azote atmosphérique par certaines espèces végétales, Une autre source naturelle est due à l'urine des animaux. Celle-ci contient de l'ammoniac et de l'urée (contenant de l'azote), qui peuvent être rapidement oxydés en nitrates dans les sols. (Alouane, 2012)

L'apport d'engrais azotés sur les cultures est la source anthropique qui fait entrer les nitrates dans les sols du périmètre irrigué Guelma Bouchegouf. Ces apports peuvent être effectués en utilisant les divers types d'engrais azotés qui peuvent fournir de l'azote soit sous forme de nitrates (assimilable par la plante mais également beaucoup plus lessivable), soit sous formes d'urée, d'ammonium ou de lisier, qui seront progressivement transformées en nitrates. (Anonyme, 1997)

L'interprétation de la figure 77 montre, que la valeur minimale 81 mg/Kg s'observe au niveau du point S4 et la valeur maximale 120 mg/Kg au point S5. Les valeurs dans les six points de

prélèvement dépassent la norme recommandée de 40 mg/Kg dans les sols proposée par la DSA de la Wilaya de Guelma.

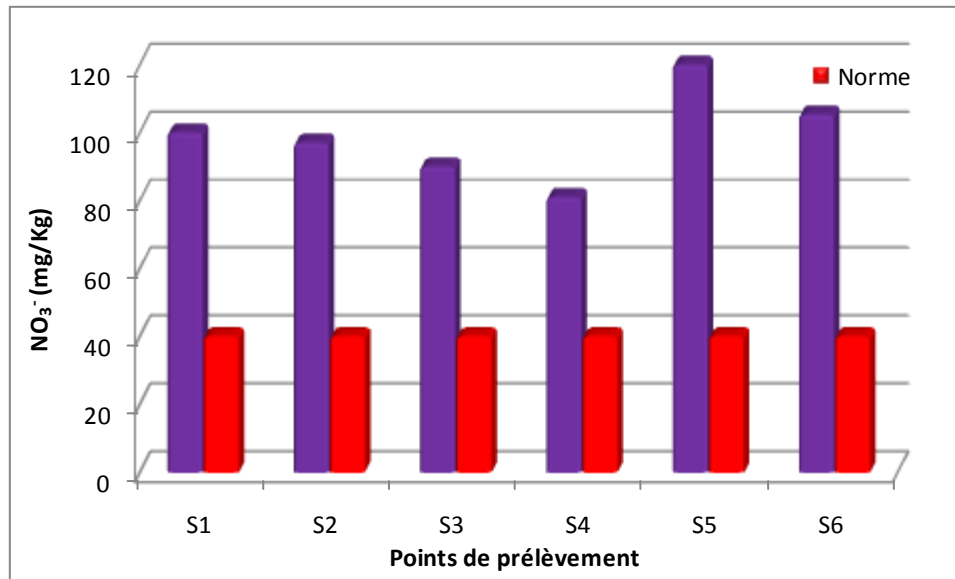


Fig. N° 77: Variation des nitrates dans les sols

### II.2.8. Nitrite

Les nitrites sont produits par nitrification, c'est l'oxydation de l'ammonium en nitrite qui se réalise grâce aux bactéries dites nitreuses (les nitrosomonas).

Dans les écosystèmes qui perdent des nitrates vers les nappes phréatiques, la nitrification est une source de pollution pour les zones désignées comme vulnérables à la pollution diffuse par les nitrates.

Les nitrites sont extrêmement toxiques et leur toxicité ne dépend pas du pH (Pagni, 1998).

Les valeurs trouvées dans les sédiments sont comprises entre 1,97 (S6) et 3,02 (S1) mg/Kg, ces valeurs sont inférieures à la limite proposée par la DSA de 20 mg/Kg. (Fig. N° 78)

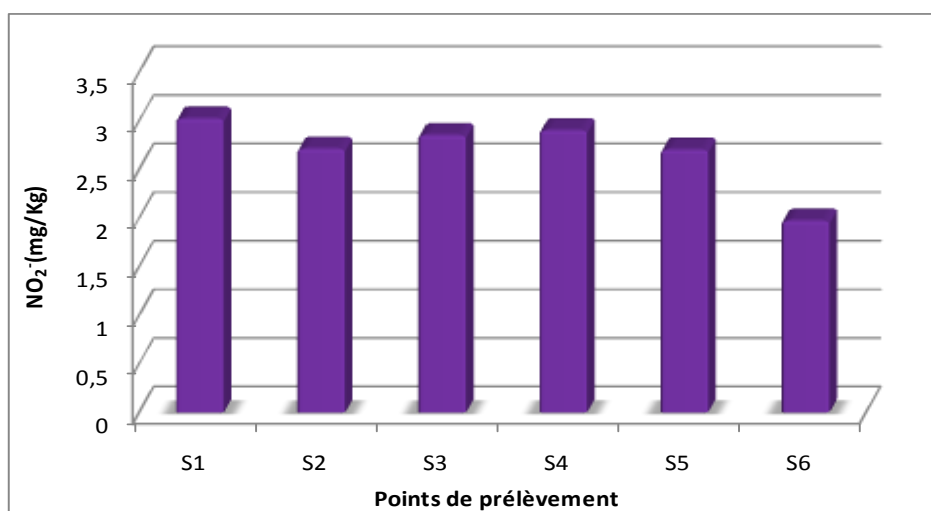


Fig. N° 78: Variation des nitrites dans les sols

### II.2.9. L'ammonium

Il résulte de la combinaison de l'azote (N) et de l'hydrogène (H). Cette transformation est plus rapide lorsque la température augmente et lorsque le pH autour du granulé d'engrais est supérieur à 7,5. Grâce à sa charge positive  $\text{NH}_4^+$  se fixe sur le complexe argilo-humique du sol, ce qui limite le risque d'entraînement en profondeur mais aussi la disponibilité instantanée pour les plantes. L'activité microbienne des sols consomme de l'ammonium et le transforme en azote nitrique, c'est le processus de nitrification.

Les résultats des analyses vis-à-vis de l'ammonium ont démontré que le minimum s'observe au niveau du point S3 (4.9 mg/Kg) et le maximum au niveau du point (S6) avec 8.5 mg/kg.

Il est à noter que ces concentrations ne dépassent pas le seuil (30 mg/kg) préconisé par la DSA de la wilaya de Guelma. (Fig. N° 79)

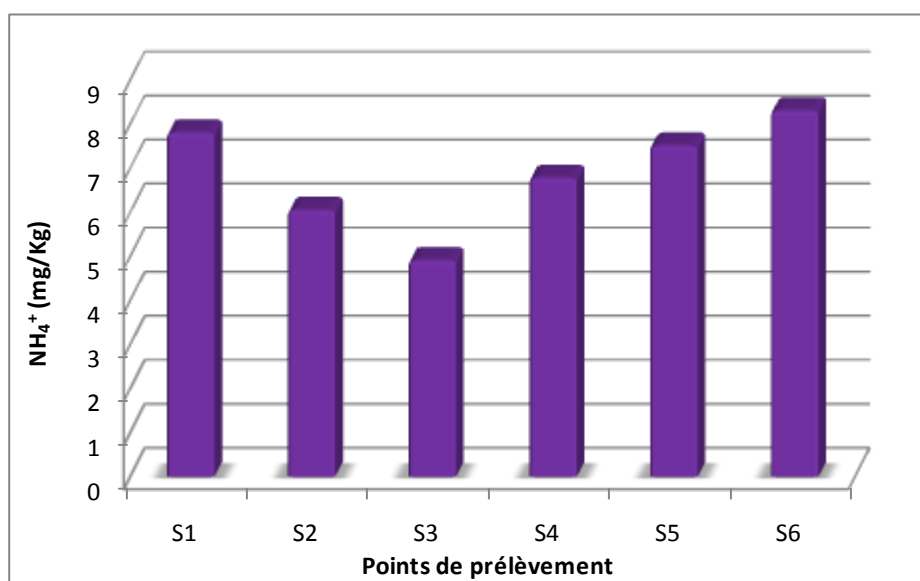
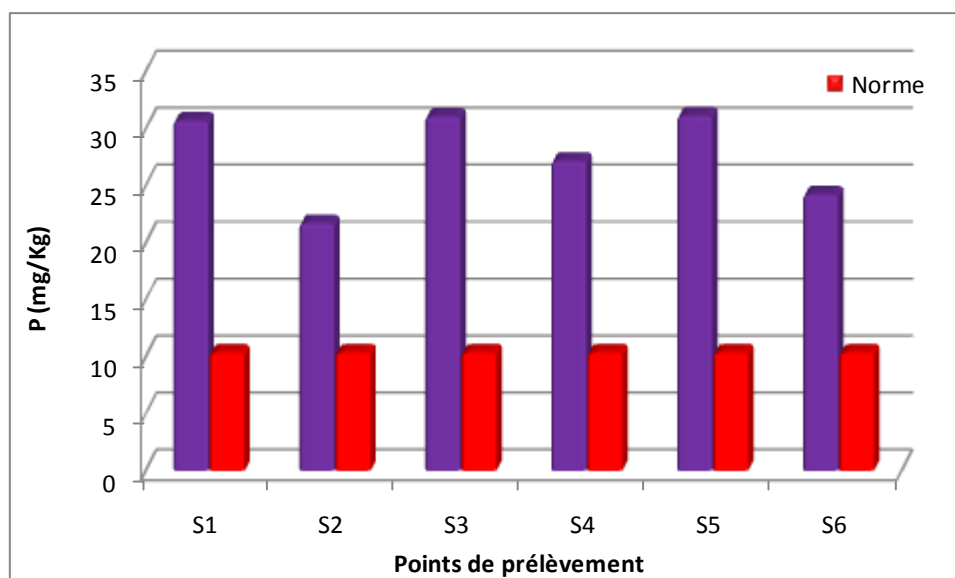


Fig. N° 79 : Variation de l'ammonium dans les sols

### II.2.10. Le phosphore (P)

Le phosphore (P) est un élément qui est largement distribué dans la nature. Il est considéré avec l'azote (N) et le potassium (K), comme un constituant fondamental de la vie des plantes et des animaux. De ce fait, il est fortement capté par la biomasse et joue un rôle clé dans le contrôle de la productivité des écosystèmes. Ainsi, jusqu'à l'utilisation massive des engrais phosphatés, il limite la production agricole. (Boulaïne, 1992)

Le graphe (Fig. N° 80) montre que les valeurs du phosphore sont plus élevées dans les points (S1, S3, et S5), avec la forte concentration au niveau de (S1) de 31.08 mg/Kg, alors que la plus faible teneur se trouve dans le sol (S2) avec 21.66 mg/kg. Ces résultats soulignent donc que les sédiments contiennent des quantités en phosphore dépassant la limite fixé à 10.3 mg/Kg. (Parent et al, 2002)



**Fig. N° 80: variation du phosphore des sols**

Les valeurs mesurées sont classées selon le tableau 38, ce qui indique que les sols sont excessivement riches en phosphore conditionnant la migration du phosphore vers les couches inférieures du sol et vers les eaux souterraines. (Parent et al, 2002)

**Tableau 38 : Classement d'appréciation de la teneur en phosphore dans le sol (Riquier, 1966)**

Phosphore (mg/Kg)	Qualité des sols
<2.5	Très pauvre
2.5 à 5	Pauvre
5 à 10	Moyen
10 à 25	Riche
>25	Excessivement riche

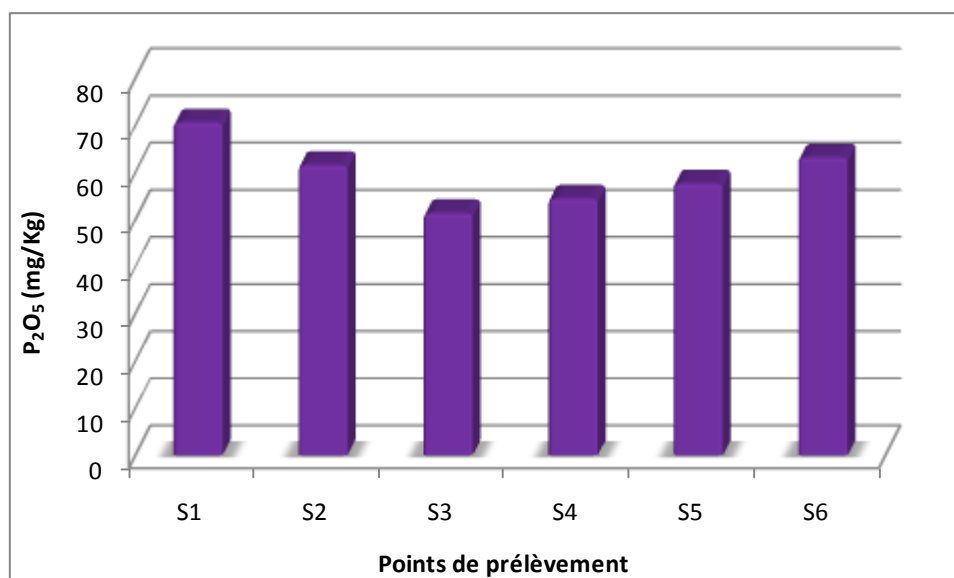
### II.2.11. Le phosphore assimilable ( $P_2O_5$ )

Le phosphore assimilable est un élément mineur dans la composition du sol, il est considéré comme élément indispensable à la croissance et au développement des végétaux (El Hali, 2015).

Connaître la teneur du sol en phosphore assimilable est indispensable pour optimiser le plan agronomique et économique, la fertilisation complémentaire en fonction des besoins du sol et des cultures et maintenir durablement sa fertilité phosphatée (S .C .E .T.Maroc1977).

La représentation graphique (Fig. N° 81) montre des teneurs fortes en phosphore assimilable accumulées dans tous les points de prélèvement, varient entre 51.23 mg/Kg (S3) et 7.48 mg/Kg au niveau de (S1).





**Fig. N° 81: variation du phosphore assimilable des sols**

Selon le tableau 39 les sols sont très riches en phosphore assimilable et présentent des teneurs très importantes >25 mg/Kg, ce qui peut être expliqué par le lessivage du phosphore résultant du manque de la matière organique en surface du sol et aussi la minéralisation des résidus végétaux sous l'effet de l'activité microbienne qui augmente la teneur du sol en phosphore assimilable. (Fauck, 1972)

**Tableau 39: Normes du phosphore assimilable (Delaunoy, 2008)**

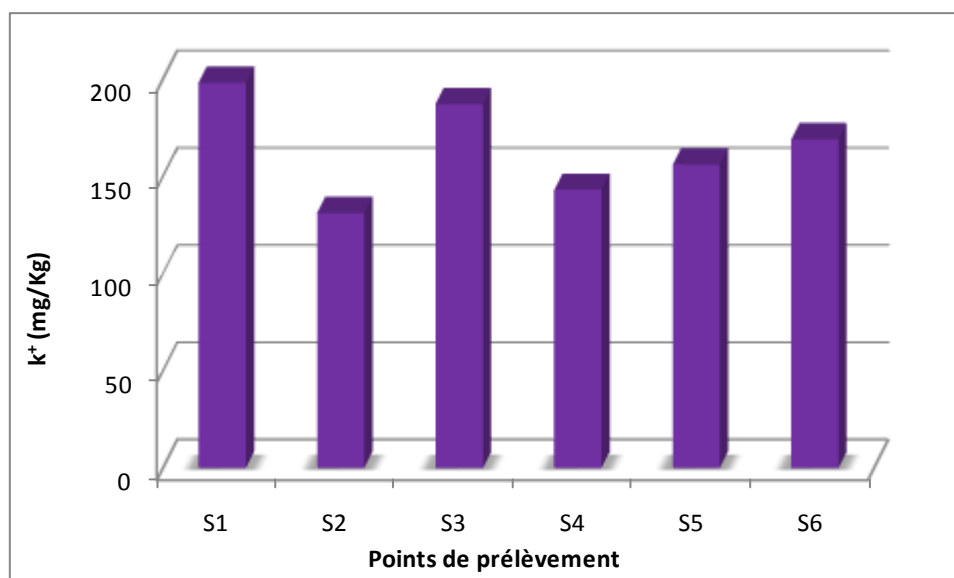
Classe	Qualité des sols
<5	Très pauvre
5 à 10	Pauvre
10 à 15	Moyennement pourvu
15 à 25	Riche
>25	Très riche

### II.2.12. Le potassium (K)

En même temps que l'azote et le phosphore, le potassium est un des macros minéraux essentiels pour la survie des plantes. Sa présence est de grande importance pour la santé du sol, la croissance des plantes et la nutrition animale. Les engrais sont la principale source anthropique de potassium. (Reimann et de Caritat 1998)

Les très hauts niveaux de K<sup>+</sup> dans le sol peut toutefois endommager la germination des plantules, inhibe l'absorption d'autres minéraux et réduit la qualité des cultures.

En observant le graphe ci-dessous, on remarque que les échantillons du sol prélevés présentent des valeurs élevées au niveau de (S1) 198 mg/Kg, alors que le (S2) présente une valeur de 131 mg/Kg.



**Fig. N° 82: variation du potassium des sols**

D'après le tableau 40, on constate que les sols analysés dans les secteurs irrigués sont riches vis-à-vis du potassium pour les sites (S1 et S3) et de qualité bonne pour le (S2, S4, S5 et S6).

**Tableau 40 : Seuils de richesse du potassium du sol (CRAAQ, 2003)**

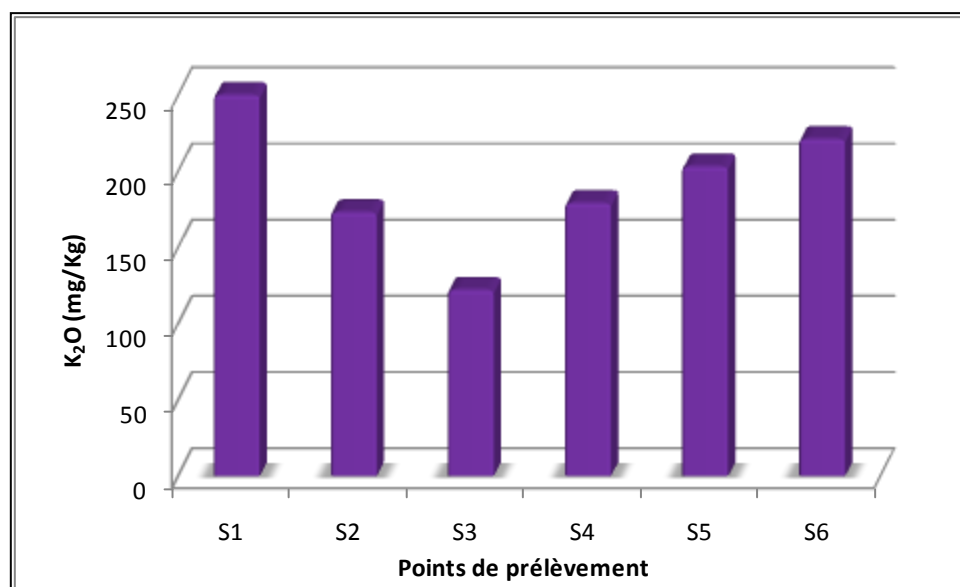
Potassium (mg/Kg)	Qualité des sols
<67	Pauvre
67 à 134	Moyen
134 à 187	Bon
187 à 200	Riche
>200	Excessivement riche

### II.2.13. Le potasse assimilable (k<sub>2</sub>O)

Le potassium assimilable joue un rôle important dans différentes fonctions cellulaires de la plante telles la synthèse des sucres et des protéines, la turgescence des tissus, l'augmentation de la résistance à la déshydratation et le transfert des substances minérales et organiques dans les différents organes de l'arbre. (El Hali, 2015)

Une déficience en cet élément se traduit par une nécrose des bordures des feuilles montrées par une réduction de la coloration. Ainsi, son excès dans le sol entraîne une diminution en calcium et magnésium.

Les résultats obtenus après analyse des échantillons du sol montrent des valeurs qui varient de 112 mg/kg dans le point (S3) à 250 mg/kg pour le (S1). (Fig. N° 83)



**Fig. N° 83: variation du potassium assimilable des sols**

En se référant à la classification du (Delaunoy, 2008) (tableau 41), on peut dire que le sol, au niveau du point (S1) (avec 250 mg/Kg) est riche en K<sub>2</sub>O contrairement aux sites (S2, S3, S4, S5 et S6) où les sols sont moyennement pourvus en K<sub>2</sub>O. Cette richesse peut être due à la salinité élevée de l'eau au niveau de ce point (3430 µs/cm), ou à un excès dans l'apport des engrais potassiques, ou bien à la teneur en argile (14%) qui a tendance à se combiner avec la matière organique pour former le complexe adsorbant du sol permettant la fixation des éléments nutritifs chargés positivement, ou à la concentration importante du k<sup>+</sup> dans l'eau d'irrigation.

**Tableau 41 : Norme du potassium assimilable du sol (Delaunoy, 2008)**

Potassium assimilable (mg/Kg)	Qualité des sols
<50	Très pauvre
50 à 150	Pauvre
150 à 200	Moyennement pourvu
200 à 400	Riche
>400	Très riche

#### II.2.14. L'engrais NPK 15.15.15

Les engrais NPK représentent une formule classique de fertilisant qui correspond à l'abréviation des éléments chimiques qui les composent, à savoir azote, phosphore, potassium.

Wilhelm KNOP, chimiste agricole allemand, a déterminé, en 1861 les besoins nutritifs précis des plantes vertes nécessaires à leur croissance. Il s'agissait de 4 éléments correspondant aux lettres de son patronyme :

- K : potassium
- N : azote

- O : oxygène
- P : phosphore.

Hormis l'oxygène, les 3 composants sont devenus la base des engrais chimiques sous forme de sels solubles directement assimilables, permettant d'obtenir de gros rendements mais avec des risques importants de lessivage vers les nappes phréatiques et les cours d'eau.

L'azote (**N**) favorise surtout la croissance des parties vertes de la plante (tiges et feuilles), leur précocité et leur développement.

Le phosphore (**P**) joue sur la formation des fleurs et des graines et sur le développement racinaire. Il renforce la résistance naturelle des plantes aux agressions quelles qu'elles soient.

Le potassium (**K**) permet la floraison et le développement des fruits et de tous les organes de réserve tels que les racines et les tubercules. La coloration des fleurs et des fruits est améliorée ainsi que la résistance aux maladies.

L'engrais **NPK 15.15.15** est un engrais ternaire N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O, c'est un engrais granulaire représentant le rapport équilibré d'azote, de phosphate, et de potassium, il est facile à utiliser.

L'engrais NPK granulaire 15.15.15 peut effectivement améliorer la finesse des produits agricoles, le goût, la qualité et améliore en plus la résistance des cultures à la sécheresse, le froid, les maladies et la capacité de résistance aux parasites.

L'NPK 15.15.15 est un engrais minéral, solide, doté d'un pouvoir acidifiant important grâce aux éléments qui le composent azote (N) 15%, phosphore (P) 15% et potassium (K) 15%. Il est donc considéré comme un **engrais universel bien équilibré et économique**. Le NPK 15.15.15 est suffisamment concentré et il peut être utilisé sur toutes cultures, au moment de la plantation, au semis et en couverture.

#### II.2.14.1. Utilisation des engrais en Algérie

L'Algérie, malgré ses richesses, ses potentialités et ses capacités agricoles, utilise peu d'engrais comparativement au Maroc par exemple. L'utilisation semble se stabiliser autour de 45 unités d'éléments nutritifs/ha, mais reste en deçà des normes d'intensification des cultures et d'amélioration de la productivité. Au long des années, ce manque n'est expliqué que par la pluviosité, certes un facteur prépondérant, mais mal mis à profit par la faiblesse d'utilisation des engrais, paramètre essentiel de productivité et de qualité.

Actuellement l'agriculture algérienne ne consomme que **100 000 tonnes** d'éléments fertilisants environ par an alors que, selon la moyenne mondiale, la consommation devrait se situer à **850 000 tonnes par an**. (ASMIDAL, Algérie)

L'évolution de la consommation d'engrais (N, P, K) n'est pas régulière. Elle a été, durant les 40 dernières années, modifiée suite aux différentes politiques agricoles et aux différentes phases et étapes ayant marqué la restructuration du secteur agricole.

L'utilisation des engrais en Algérie a connu trois périodes distinctes:

- Une période "post indépendance" où les engrais étaient méconnus et très peu utilisés (1961-1970), période d'agriculture de subsistance.

- Une période «d'utilisation très marquée» (1971-1986), période de développement de l'industrie chimique et de développement des hydrocarbures, coïncidant avec l'application de la réforme agraire et la nationalisation des terres. Les engrais produits en Algérie étaient subventionnés et appliqués à prix réduits sur des terres appartenant à l'État. Cet état de fait a marqué une utilisation importante d'engrais sans impact sur la production.

- Une période (1988 à 2002) de «restructuration du secteur agricole et de libéralisation du marché», ainsi que la restitution des terres nationalisées, pendant laquelle on assista presque à l'abandon des engrais. Cette période a été marquée par une redistribution et un démembrement des terres, période qui a vu une augmentation des prix des engrais coïncidant avec une dévaluation de la monnaie locale.

#### II.2.14.2. Type d'engrais utilisés

Les résultats des analyses des sols en 2018 en  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  et N sont reportés dans la figure N°84.

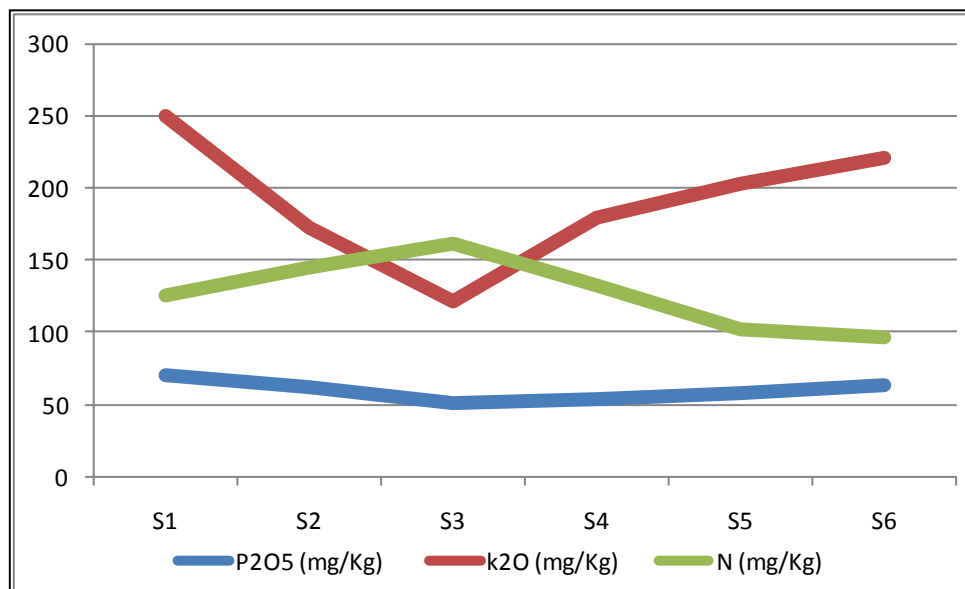


Fig. N° 84 : variation du N.P.K dans les sols

Dans le périmètre irrigué de la zone d'étude, l'engrais NPK 15.15.15 utilisé est constitué en majorité de  $K_2O$ , moyennement d'azote et en partie moindre de  $P_2O_5$ . (Fig. N° 84)

#### II.4. Relation sol Versus eau souterraine

La distribution des paramètres physico-chimiques et des paramètres de pollutions dans les eaux souterraines et dans les sols ont été réalisés, il convient d'interpréter la liaison de ces résultats qui ont été mis en évidence lors de ce chapitre.

Pour la visualisation des ces relations, nous allons porter sur des graphique les concentrations des éléments dans les sols versus dans les eaux. (Fig. N° 85 et 86)

L'interprétation des résultats des corrélations a été faite à la base de la classification de Landsheere 1979. (Tableau 42)

Tableau 42 : Classification de Landsheere 1979

Coefficient de corrélation	Classification
$r < 0.25$	Corrélation très faible
$0.25 < r < 0.4$	Corrélation faible
$0.4 < r < 0.6$	Corrélation moyenne
$0.6 < r < 0.8$	Corrélation forte
$> 0.8$	Corrélation très forte

La réalisation d'histogrammes pH\_sol vs PH\_Eau ; CE\_sol vs CE\_Eau ; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>\_sol vs NO<sub>3</sub><sup>-</sup>\_Eau, P\_sol vs P\_Eau , montre une corrélation très forte, avec des coefficients de corrélations de Pearson fort à très fort de  $r = 0.87$  à  $0.84$ . (Fig. N° 85)

En effet, on constate que lors de l'augmentation du pH\_sol, le pH\_Eau souterraine augmente aussi. Le pH du sol est dû à une accumulation de sels solubles classés comme sol salin, sol sodique, sol salin sodique ou sol alcalin. Le sol dans les zones d'étude (calcaires) près de la surface est alcalin en raison des carbonates de calcium présent dans le calcaire en mélange constant avec le sol. Les eaux souterraines dans ces zones renferment des calcaire dissous.

La relation CE\_sol vs CE\_Eau, montre un coefficient de corrélation que  $r = 0.82$ , ce qui indique une bonne corrélation entre la conductivité électrique des échantillons provenant des sols et les échantillons provenant des puits. (Landsheere, 1979). Fig. N° 85 b

L'étude combinée des rapports ioniques et de l'analyse statistique des données montre qu'il existe une deuxième cause anthropiques de la salinité des eaux souterraines associée avec la première d'origine naturels qui résulte essentiellement de la dissolution des évaporites (halite et gypse) et de l'infiltration des eaux de ruissellement, et du remplissage de la nappe par les eaux d'irrigation qui sont chargées en sels initialement reconcentrés dans le sol ou dans la zone non saturée. Les concentrations élevées en fertilisant sont l'indice d'une pollution anthropique d'origine ou agricole qui affecte tout le périmètre irrigué Guelma-Boucheouf.

Les relations NO<sub>3</sub><sup>-</sup>\_sol vs NO<sub>3</sub><sup>-</sup>\_Eau et P\_sol vs P\_Eau, montrent aussi de bon coefficient de corrélation respectivement de  $0.84$ ,  $0.78$ , traduisant ainsi une évolution similaire de ces deux paramètres de pollution dans les sols et dans les eaux.

Ceci étant en relation avec l'utilisation des engrais azotés et phosphatés dans les sédiments du périmètre irrigué Guelma Boucheouf et leur lessivage vers la nappe alluvionnaire de la région d'étude. Fig. N° 85 c, d

Les nitrates étant très solubles dans l'eau; ils migrent donc aisément dans la nappe phréatique, étant donné le types de sol de région (sablo-limoneux), lorsque les niveaux excèdent les besoins de la végétation. (Santé Canada, 1996)

Les histogrammes NO<sub>2</sub><sup>-</sup>\_sol vs NO<sub>2</sub><sup>-</sup>\_Eau, O<sub>2</sub><sup>-</sup>\_sol vs O<sub>2</sub><sup>-</sup>\_Eau, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>\_sol vs NH<sub>4</sub><sup>+</sup>\_Eau et K<sup>+</sup>\_sol vs K<sup>+</sup>\_Eau, montrent des coefficients de corrélations très faibles et non significatifs.

En effet les NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et l'NH<sub>4</sub><sup>+</sup> obéissent à la relation azotée de nitrification, les nitrites sont produits par nitrification, c'est l'oxydation de l'ammonium en nitrite donc il n'a pas de relation des ces deux éléments dans les eaux et dans les sédiments. (Fig. N° 86 a, b, c, d)

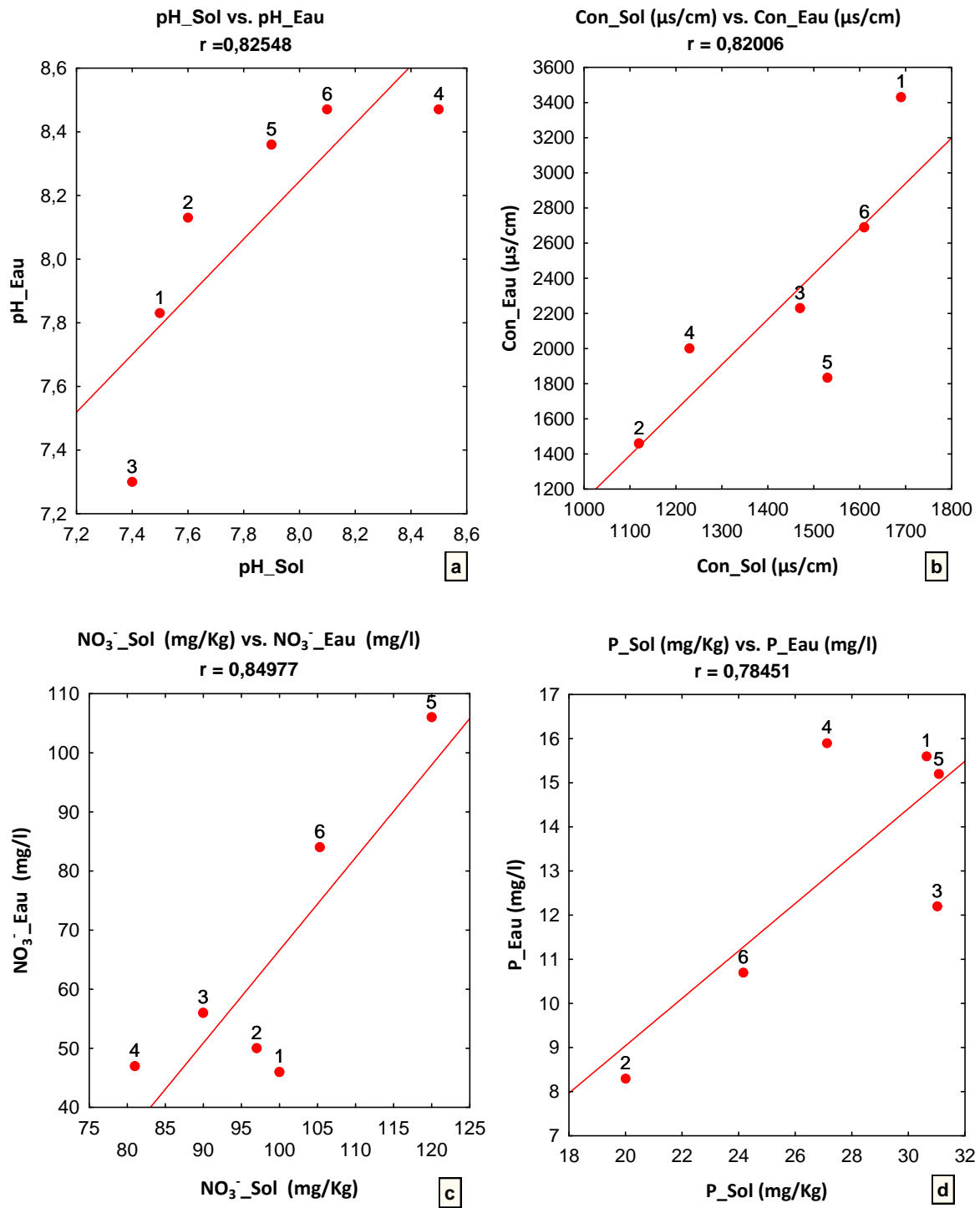


Fig. N° 85 : Droites de régression est équation respectives

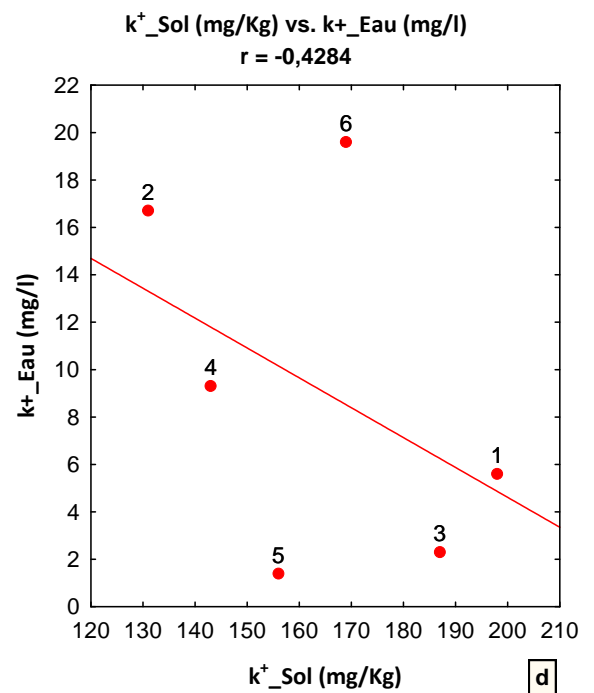
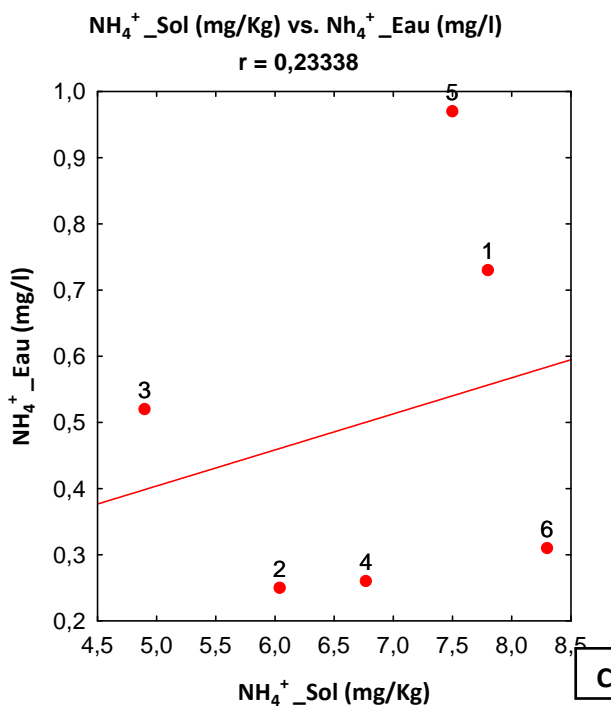
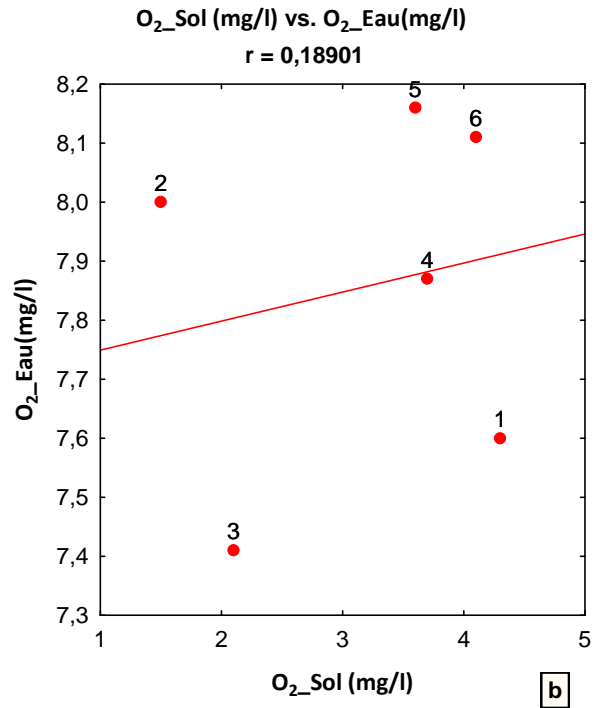
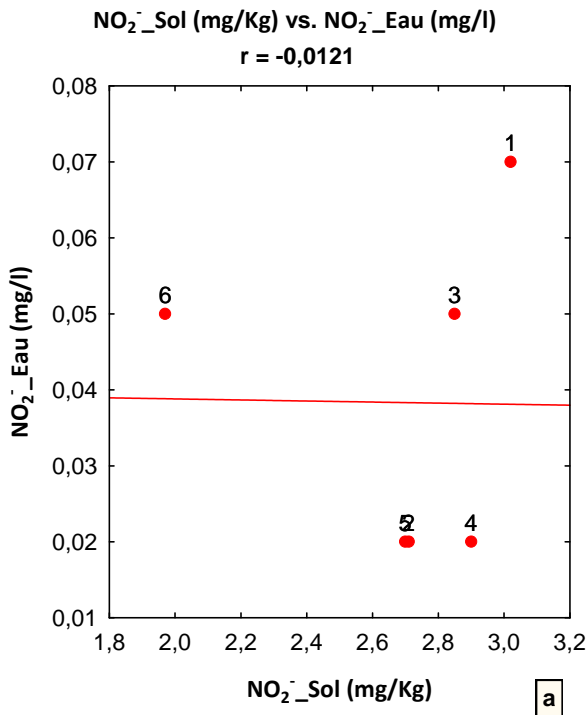


Fig. N° 86: Droites de régression est équations respectives



### III. Analyse en Composantes Principales (Sédiments)

L'ACP a concerné 6 individus et 8 variables (pH, conductivité (CE), oxygène dissous (O<sub>2</sub>), ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), phosphore (P) et potassium (K), dans les eaux de puits et dans les sédiments.

#### III.1. Statistiques élémentaires

Les statistiques élémentaires (moyenne et écart type) concernant les huit variables analysées dans les eaux souterraines et dans les sédiments sont représentées dans le tableau 43.

**Tableau 43 : Statistiques élémentaires des variables**

Paramètres/	Moyenne	Ecart-type
pH_Sol	7,83	0,42
pH_Eau	8,09	0,46
Con_Sol	1441,67	222,21
Con_Eau	2274,00	698,94
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> _Sol	6,89	1,26
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> _Eau	0,51	0,29
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> _Sol	98,88	13,35
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> _Eau	64,83	24,63
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> _Sol	2,69	0,37
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> _Eau	0,04	0,02
P_Sol	27,34	4,53
P_Eau	12,98	3,10
k <sup>+</sup> _Sol	164,00	25,71
k <sup>+</sup> _Eau	9,15	7,56
O <sub>2</sub> _Sol	3,22	1,14
O <sub>2</sub> _Eau	7,86	0,30

Les statistiques montrent que les valeurs excessivement élevées sont : la conductivité électrique, les nitrates, les phosphates et le potassium.

#### III.2. Matrice de corrélation

Le premier résultat intéressant à identifier suite à une analyse en composantes principales est la matrice des corrélations qui permet d'analyser les relations bilatérales existant entre les différentes variables retenues. (Tableau 44)

Les coefficients de corrélation les plus élevés des variables sont : NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (eau) - NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(sol) : 0.84 ; pH (sol) - pH (eau) : 0.82 ; CE (eau) - CE (sol) : 0.85, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (sol) - NO<sub>2</sub><sup>-</sup>(eau) : 0.54 ; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(sol) - NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(sol) : 0.52 ; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (eau)- NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (eau) : 0.62.

Les valeurs significatives des corrélations mettent en évidence les corrélations entre les nutriments dans les eaux et les sédiments et mettent aussi en évidence les phénomènes de nitrification et de dénitrification dans les eaux et dans les sédiments.

Tableau 44 : Matrice de corrélation

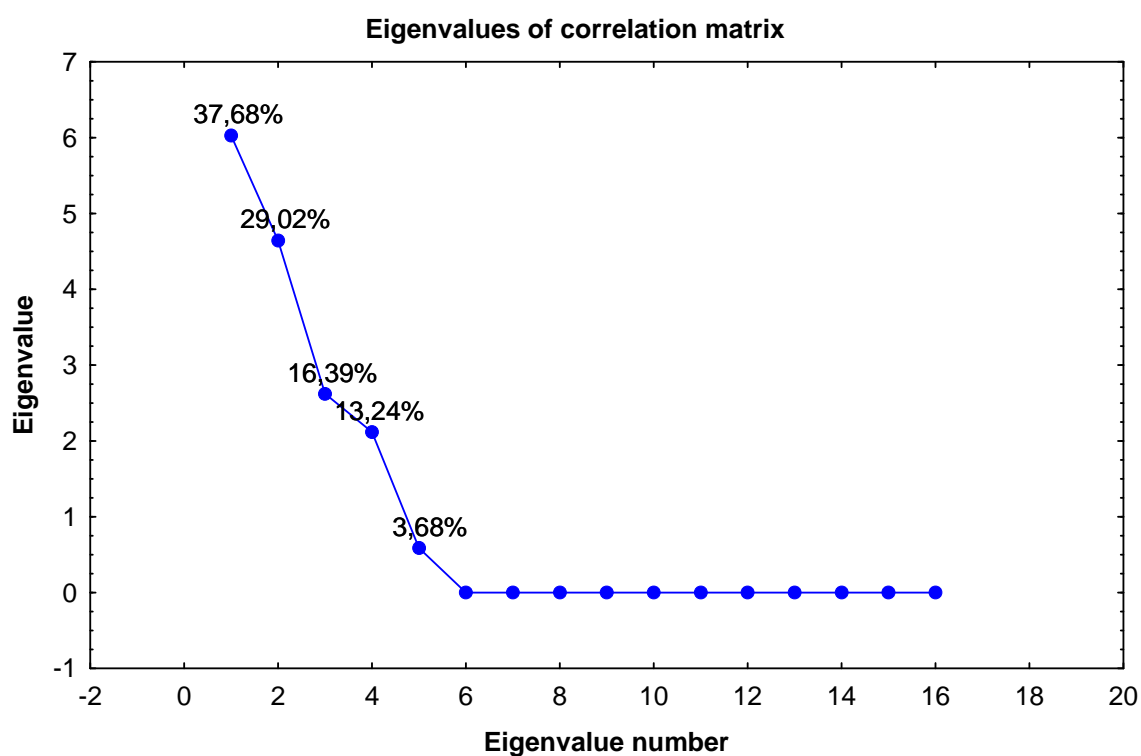
	pH Sol	pH Eau	CE Sol	CE Eau	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Sol	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Eau	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Sol	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Eau	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> Sol	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> Eau	P Sol	P Eau	k <sup>+</sup> Sol	k <sup>+</sup> Eau	O <sub>2</sub> Sol	O <sub>2</sub> Eau
pH_Sol	<b>1</b>															
pH_Eau	0,83	<b>1</b>														
Con_Sol	-0,24	-0,18	<b>1</b>													
Con_Eau	-0,19	-0,23	0,82	<b>1</b>												
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> _Sol	0,42	0,68	0,54	0,50	<b>1</b>											
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> _Eau	-0,34	-0,18	0,61	0,24	0,23	<b>1</b>										
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> _Sol	-0,18	0,26	0,50	0,03	0,53	0,69	<b>1</b>									
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> _Eau	0,19	0,40	0,38	-0,17	0,44	0,53	0,85	<b>1</b>								
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> _Sol	-0,30	-0,47	-0,20	0,00	-0,46	0,30	-0,37	-0,54	<b>1</b>							
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> _Eau	-0,49	-0,52	0,77	0,92	0,21	0,18	-0,01	-0,24	-0,01	<b>1</b>						
P_Sol	-0,18	-0,42	0,62	0,43	-0,01	0,77	0,16	0,20	0,45	0,37	<b>1</b>					
P_Eau	0,32	0,08	0,39	0,38	0,29	0,56	-0,01	0,06	0,51	0,12	0,78	<b>1</b>				
k <sup>+</sup> _Sol	-0,50	-0,62	0,85	0,85	0,11	0,45	0,08	-0,07	0,13	0,92	0,68	0,34	<b>1</b>			
k <sup>+</sup> _Eau	0,30	0,49	-0,29	-0,08	0,29	-0,77	-0,11	-0,11	-0,69	-0,09	-0,90	-0,68	-0,43	<b>1</b>		
O <sub>2</sub> _Sol	0,46	0,44	0,69	0,69	0,85	0,33	0,26	0,28	-0,18	0,39	0,41	0,68	0,40	-0,07	<b>1</b>	
O <sub>2</sub> _Eau	0,55	0,89	-0,17	-0,41	0,58	-0,03	0,56	0,65	-0,59	-0,59	-0,48	-0,19	-0,66	0,48	0,19	<b>1</b>

### III.3. Analyse factorielle des données

La diagonalisation de la matrice de corrélation donne les valeurs propres des axes principaux présentées. Ce tableau signifie que le premier axe (F1) permet d'expliquer 37.68 % de la variance totale du nuage de points, le second axe (F2) 29.02%, et troisième axe (F3) avec 16.39 % de la variance totale. (Tableau 45), (Fig. N° 87)

**Tableau 45 : Valeurs propre des axes principaux**

Axe	Valeur Propre	% Total	%Variance	%Cumulé
F1	6,03	37,68	6,03	37,68
F2	4,64	29,02	10,67	66,70
F3	2,62	16,39	13,29	83,09
F4	2,12	13,24	15,41	96,32
F5	0,59	3,68	16,00	100,00



**Fig. N° 87 : Représentation graphique des valeurs propres**

On note que la variance expliquée par l'axe F3 (16.39 %) et F4 (13.24%) est faible et que l'essentiel de l'information est fournie par les 2 premiers axes, puisque les variances cumulées des plans (F1-F2) et (F1-F3) sont respectivement de 66.70% et 83.07 %.

## III.4. Etude des variables

Tableau 46: Corrélations entre les variables et les axes principaux

Paramètres /Axes	F1	F 2	F3
pH_Sol	-0,45	0,51	-0,07
pH_Eau	-0,57	0,75	-0,05
Con_Sol	0,81	0,49	0,24
Con_Eau	0,76	0,23	0,57
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> _Sol	0,11	0,91	0,26
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> _Eau	0,68	0,33	-0,57
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> _Sol	0,15	0,69	-0,28
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> _Eau	-0,01	0,75	-0,39
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> _Sol	0,38	-0,59	-0,47
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> _Eau	0,76	-0,03	0,64
P_Sol	0,87	0,05	-0,42
P_Eau	0,59	0,26	-0,42
k <sup>+</sup> _Sol	0,93	-0,03	0,32
k <sup>+</sup> _Eau	-0,69	0,2	0,69
O <sub>2</sub> _Sol	0,45	0,75	0,18
O <sub>2</sub> _Eau	-0,62	0,74	-0,17

## III.5. Cercles de corrélations des variables

Projection of the variables on the factor-plane ( 1 x 2)

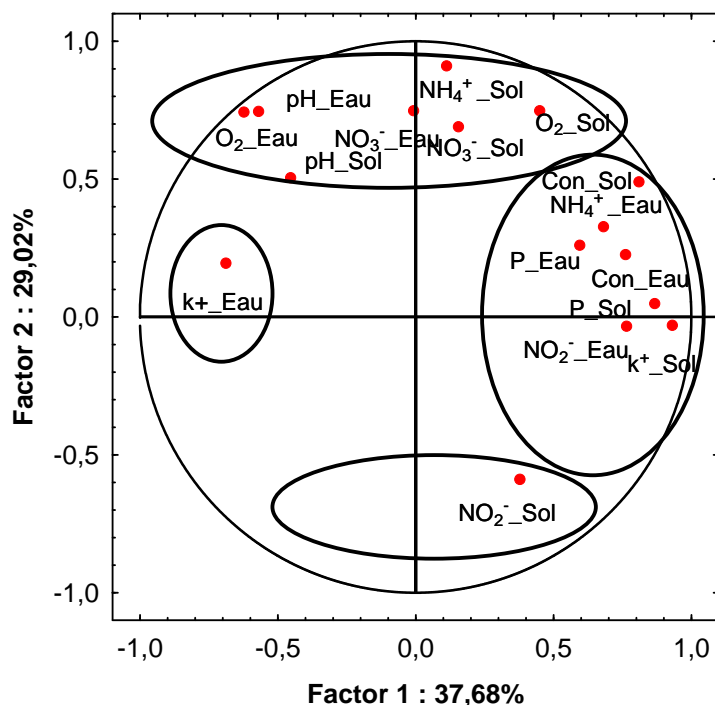


Fig. N° 88: Projection des variables Plan (F1-F2)

L'inertie cumulée du cercle de corrélation (F1-F2) est de 66.70 %, il traduisant ainsi le maximum de l'information. L'axe F1 avec une fréquence de 37,68 % regroupe variables

analysées responsables de la minéralisation dans les eaux de puits et dans les sédiments. Il traduit ainsi un axe de minéralisation (CE et K<sup>+</sup> dans les eaux et les sédiments.).

L'axe F2 avec une fréquence de 29.02 % regroupe dans son sens positif les éléments représentant les variables correspondant aux éléments de pollution dans les eaux et les sédiments tel que le pH, nitrates, nitrites, O<sub>2</sub> dissous et l'NH<sub>4</sub>.

L'axe F2 représente ainsi un axe de pollution. (Fig. N° 88)

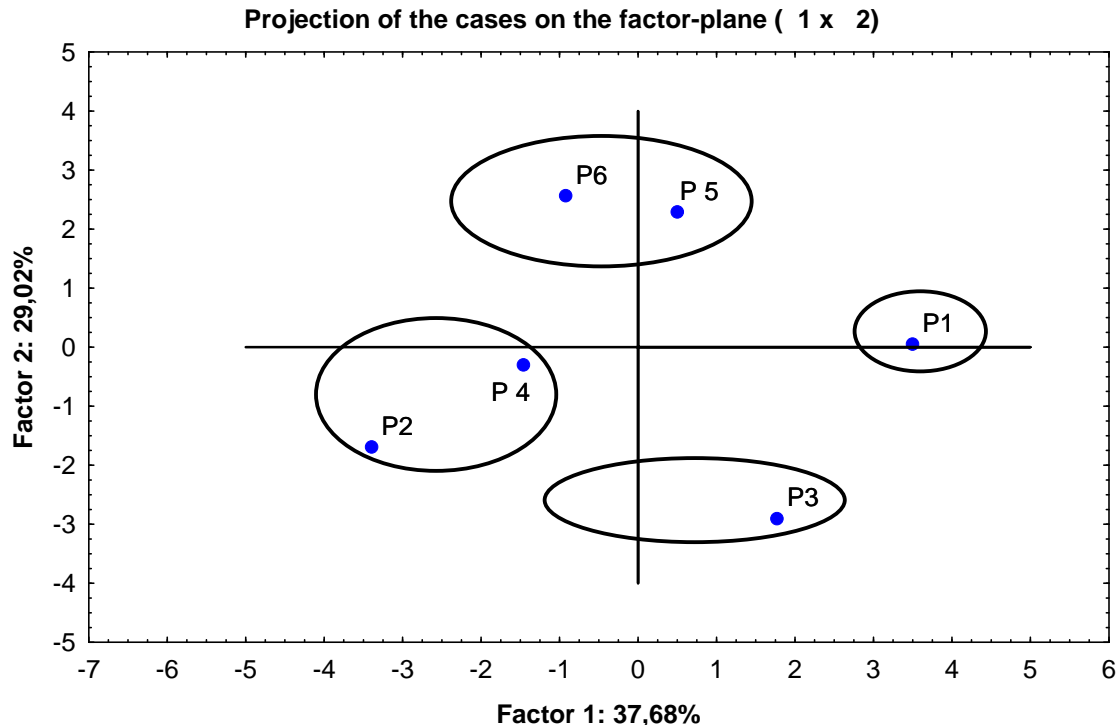
### III.6. Etude des individus

Pour bien visualiser les individus (points de prélèvements) par rapport aux axes, leur corrélation par rapport aux axes principaux est mentionnée dans le Tableau 47.

**Tableau 47 : Corrélation des individus avec les axes**

Individus /Axes	F 1	F 2	F 3
P1	3,50	0,05	1,00
P2	-3,39	-1,69	0,18
P3	1,77	-2,91	-0,19
P4	-1,46	-0,30	-0,53
P5	0,50	2,29	-2,64
P6	-0,92	2,56	2,18

#### III.6.1. Représentation des individus



**Fig. N° 89: Projection des individus selon le plan (F1-F2)**

**III.6.2. Projection des individus: Plan (F1-F2)**

La projection des individus dans le plan (F1-F2) montre que l'axe F1 oppose le point (P1) aux points (P2) et (P4). Le point (P1) situé dans la zone d'El Fedjoudj est caractérisé par une minéralisation élevée avec un milieu acide, il s'oppose aux deux points situés respectivement dans la zone de Guelma et Boumahra, caractérisés par un milieu basique et présentant une minéralisation moins importante (CE et K).

L'axe F2 oppose le point (P3) aux points (P5) et (P6), situés dans la zone de Bouchegouf, caractérisés par des conductivités et un pH élevés et des valeurs excessives en nutriments ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NO}_2^-$ ).

L'ACP a permis de définir des zones de contamination homogènes dans les eaux et les sédiments. (Fig. N° 89)

## Conclusion

L'étude réalisée sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines et des sédiments des différents points de prélèvements de la zone d'étude, a permis de dégager les conclusions suivantes :

-Pour les eaux souterraines les faciès chimiques des eaux de la région sont diversifiés les faciès chloruré calcique et chloruré sodique indiquent une prédominance et un excès en chlorures, le sulfaté indique le lessivage des formations gypsifères existantes dans la région d'étude.

Les indices de qualité de l'eau potable montrent que les eaux souterraines du périmètre sont fortement contaminées par des nutriments tels que les composés azotés (nitrates, nitrites et ammoniac), les sulfates et les phosphates, en raison de l'utilisation excessive d'engrais et de pesticides.

Les normes de la grille utilisée pour signaler les problèmes des éléments traces métallique dans les eaux souterraines, des quinze points prospectées révèlent, que le Fer, le Zinc, le cuivre, le manganèse et le chrome dans les eaux se caractérisent par une qualité bonne à mauvaise, contrairement les valeurs du Pb et Cd qui dépassent la norme toléré dans tous les points de prélèvements et appartiennent à la dernière classe caractérisant une pollution excessive.

L'origine du cadmium et du plomb doit être recherchée dans les effluents industriels (galvanoplastie, en particulier), des incinérations de déchets, et aussi l'utilisation d'engrais.

L'analyse en composante principale a pu individualiser les éléments responsables de la forte minéralisation et aussi la contamination agricole et métallique. Les résultats obtenus dans l'A.C.P sont en étroite corrélation avec les objectifs escomptés à travers cette étude.

Les résultats d'analyses des sédiments ont révélé :

Les sols du secteur d'étude sont des sols sablo-limoneux avec un pH alcalin à très alcalin. Cette alcalinité provient essentiellement de la composition chimique des roches et des matériaux des sol, qui est dans notre cas une roche à affinité calcaire.

Concernent la salinité du sol exprimée par la conductivité électrique nous pouvons donc dire que les sols étudiés sont des sols salés, qui peut être expliquée par le phénomène du lessivage par les eaux de surface ou par l'irrigation.

Les teneurs en nitrate dans les sédiments étudiés dépassent la norme recommandée par la direction des services agricole de la wilaya de Guelma en 2018.

Selon les référentiels de classement, les sols sont riches a excessivement riches en azote total, phosphore, phosphore assimilable, potassium et potassium assimilable.

La relation sol Versus eau souterraine établies par la réalisation des histogrammes nous a permis de constater que :

Pour les différents paramètres pH\_sol vs PH\_Eau ; CE\_sol vs CE\_Eau il y a une corrélation très forte, avec des coefficients de corrélations de Pearson fort à très fort de  $r = 0.82$  et  $0.78$ .

Donc qu'il existe une deuxième cause anthropiques de la salinité des eaux souterraines associée avec la première d'origine naturels qui résulte essentiellement de la dissolution des évaporites (halite et gypse) et de l'infiltration des eaux de ruissellement, et du remplissage de la nappe par les eaux d'irrigation qui sont chargées en sels initialement reconcentrés dans le sol ou dans la zone non saturée.

Les relations  $\text{NO}_3^-_{\text{sol}}$  vs  $\text{NO}_3^-_{\text{Eau}}$  et  $\text{P}_{\text{sol}}$  vs  $\text{P}_{\text{Eau}}$ , montrent aussi de bon coefficient de corrélation respectivement de 0.84 et 0.78, traduisant ainsi une évolution similaire de ces deux paramètres de pollution dans les sols et dans les eaux. Ceci étant en relation avec l'utilisation des engrais azotés et phosphatés dans les sédiments du périmètre irrigué Guelma Bouchegouf et leur lessivage vers la nappe alluvionnaire de la région d'étude.

Les nitrates étant très solubles dans l'eau; ils migrent donc aisément dans la nappe phréatique, étant donné le types de sol de région (sablo-limoneux), lorsque les niveaux excèdent les besoins de la végétation.

L'analyse en composante principale a permis de définir des zones de contamination homogènes et a permis ainsi d'individualiser les sédiments en relation avec leurs minéralisations et leurs teneurs en nutriments dans les différents secteurs du périmètre irrigué.



## 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 hydrogéologique 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 (Mai, 2017) la nappe alimente l'Oued et l'écoulement se fait dans les deux parties Sud et Nord vis-à-vis de l'Oued Seybouse.

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

Selon l'interprétation des données météorologique la région de Guelma est soumise à un climat sub-humide avec un hiver pluvieux et un été sec, ce qui produit des modifications périodiques de la chimie des eaux par l'effet de dilution pendant les périodes pluvieuses et par l'effet de l'évaporation pendant les périodes sèches.

Le bilan hydrique établi selon la méthode de Thornthwaite à partir des données climatiques recueillies au niveau des deux stations météorologiques (Belkheir et Bouchegouf) au cours d'une période de 20 ans allant de 1996/1997 jusqu'à 2016/2017 donne les lectures suivantes

En termes de moyennes annuelles, La région de Guelma reçoit des précipitations qui varient entre 880.5 mm/an et 936.4 mm/an avec une température moyenne annuelle de 18.3°C et 18.6°C pour les deux stations de Belkheir et Bouchegouf.

L'estimation de l'ETR montre qu'une grande partie des précipitations est reprise par l'évapotranspiration (450 mm pour Belkheir et 462 mm pour la station de Bouchegouf).

Les faciès chimiques des eaux souterraines de la région d'étude sont diversifiés : les faciès chloruré calcique et chloruré sodique indiquent une prédominance et un excès en chlorures, le sulfaté indique le lessivage des formations gypsifères existantes dans la région d'étude.

Les indices de qualité de l'eau potable montrent que les eaux souterraines du périmètre sont fortement contaminées par des nutriments tels que les composés azotés (nitrates, nitrites et ammoniac), les sulfates et les phosphates, en raison de l'utilisation excessive d'engrais et de pesticides.

Les normes de la grille utilisée pour signaler les problèmes des éléments traces métallique dans les eaux souterraines, des quinze stations prospectées révèlent, que pour le Fer, le Zinc, le cuivre, le manganèse et le chrome les eaux se caractérisent par une qualité bonne à mauvaise, contrairement les valeurs du Pb et Cd qui dépassent la norme toléré dans tous les points de prélèvements et appartiennent à la dernière classe (pollution excessive).

L'origine du cadmium et du plomb doit être recherchée dans les effluents industriels (galvanoplastie, en particulier), des incinérations de déchets, et aussi l'utilisation d'engrais.

L'analyse en composante principale a pu individualiser les éléments responsables de la forte minéralisation et aussi la contamination agricole et métallique. Les résultats obtenus dans l'A.C.P sont en étroite corrélation avec les objectifs escomptés à travers cette étude.

Les sols du secteur d'étude sont des sols sablo-limoneux avec un pH alcalin à très alcalin, cette alcalinité provient essentiellement de la composition chimique des roches et des matériaux d'origine du sol, qui est dans ce cas une roche à affinité calcaire.

Concernant la salinité du sol exprimée par la conductivité électrique, on peut dire que les sols étudiés sont des sols salés, qui peut être expliqué par le phénomène de lessivage par les eaux de surface ou par l'irrigation.

Les teneurs en nitrates dans les sédiments étudiés dépassent la norme recommandée par la direction des services agricole de la wilaya de Guelma en 2018.

Selon les référentiels de classement utilisés, les sols sont riches à excessivement riches en azote total, phosphore, phosphore assimilable, potassium et potassium assimilable.

La relation sol Versus eau souterraine faite par la réalisation des histogrammes nous a permis de constater que :

Pour les différents paramètres pH\_sol vs PH\_Eau ; CE\_sol vs CE\_Eau il y a une corrélation très forte, avec des coefficients de corrélations de Pearson fort à très fort de  $r = 0.82$  et  $0.78$ .

Donc on peut dire qu'il existe une deuxième cause anthropiques de la salinité des eaux souterraines associée avec la première d'origine naturels qui résulte essentiellement de la dissolution des évaporites (halite et gypse) et de l'infiltration des eaux de ruissellement et du

remplissage de la nappe par les eaux d'irrigation qui sont chargées en sels initialement reconcentrés dans le sol ou dans la zone non saturée.

Les relations  $\text{NO}_3^-_{\text{sol}}$  vs  $\text{NO}_3^-_{\text{Eau}}$  et  $\text{P}_{\text{sol}}$  vs  $\text{P}_{\text{Eau}}$ , montrent aussi de bon coefficient de corrélation respectivement de 0.84 et 0.78, traduisant ainsi une évolution similaire de ces deux paramètres de pollution dans les sols et dans les eaux. Ceci étant en relation avec l'utilisation des engrais azotés et phosphatés dans les sédiments du périmètre irrigué Guelma Bouchegouf et leur lessivage vers la nappe alluvionnaire de la région d'étude.

Les nitrates étant très solubles dans l'eau; ils migrent donc aisément dans la nappe phréatique, étant donné le types de sol de région (sablo-limoneux), lorsque les niveaux excèdent les besoins de la végétation.

L'analyse en composante principale a permis de définir des zones de contamination homogènes et a permis ainsi d'individualiser les sédiments en relation avec leurs minéralisations et leurs teneurs en nutriments dans les différents secteurs du périmètre irrigué.

### Références Bibliographiques

1. Abdoulaye D., (2014). Contribution à l'étude de l'évolution Spatio-temporelle de la qualité physicochimique de l'Eau de la Rive droite du fleuve Sénégal, J. Mater. Environ. Sci. 5 (1) 320-329.
2. A.B.H., (2005). Les cahiers de l'agence. Les eaux souterraines dans le bassin de la Seybouse, Rapport interne 1- 46.
3. A.B.H., (2007). Agence de Bassin Hydrographique Constantinois –Seybousse-Mellegue, Pollution de l'oued Seybouse- Diagnostic et solutions-", journée de la pollution du bassin de la Seybouse, Guelma, le 2 Février 2007.
4. Abrid D., (2015). Caractérisation physico-chimique, minéralogique et géochimique des sédiments de la retenue du barrage Sidi chahed et des sols du bassin versant de l'oued Mikkés. Th. Doct., Univ. Moulaya Ismail, Maroc 233.
5. Aissaoui M., (2018). Caractéristiques hydrochimiques des eaux de l'Oued Seybouse et ses affluents dans la région de Guelma 'Quantification du degré de la pollution. Thèse de Doctorat en Hydrogéologie. Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
6. Alouane H., (2012). Evaluation des teneurs en nitrates dans les sols et dans les eaux captées et émergentes en zones à vocation agricole Impact des nitrates sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Thèse de Magistère en écologie. Université Mentouri Constantine, Algérie. 13p.
7. Anonyme., (1997). Engrais et démographie. Rev. Pour la Science n° 239 sept. 97.
8. Asmidal., (2004). La nouvelle stratégie commerciale. ASMIDAL infos, 22 (janvier).
9. Ayadi I, Habib H, yasmine D., (2008). International Water Ressources Association. XIIIth World Water Conress 1 Montpellier, France.
10. Backalowitch M. et Mangin A., (1980). L'aquifère karstique, sa definition, ses caractéristiques et son identification – Mémoire hors série de la société géologique de France. N° 11. P. : 71-79
11. 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.
12. Benmarce K., (2007). Caractéristiques physico-chimiques et isotopiques des eaux souterraines dans la région de Guelma. Mémoire de Magistère. Université Badji Mokhtar Annaba. Algérie.
13. Benmarce K., (2015). Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines dans la région de Guelma, Nord-est Algérien. Thèse doctorat université Badji Mokhtar Annaba, (Algérie).
14. Bermond R, Perrdon C., (1979). Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement Paris, 259.
15. Blayac J., (1912). Esquisse géologique du bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines. Thèse sc. Paris B.S.C.G. Algérie n°6 490 p 53 fig. 6 plv. Alger.
16. Brahmia N., (2009) : Evaluation et gestion de la ressource en eau dans le bassin versant de la moyenne Seybouse. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar dAnnaba, Algérie.

## Références Bibliographiques

17. 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.
18. 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.
19. Bouillin J.P. (1986). Le « bassin maghrébin » : une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'ouest des Alpes. *Bull. Soc. Géol. France*, 8(2) 547-558.
20. Boulaine J., 1992. Le phosphore moteur du progrès agricole dans l'Europe du 19<sup>e</sup> siècle. *In : 4<sup>th</sup> International Imphos Conference: phosphorus, life and environment, from research to application, 8-11 Septembre 1992, Gand, Belgique*. Casablanca, Maroc : Institut mondial du phosphate, 169-197.
21. Castany G., (1982). "Principes et méthodes de l'hydrogéologie", Ed. Dunod, Paris, France. 238p.
22. Centre international de recherche sur le cancer, «Chromium, Nickel and Welding», (1980). Lyon, Monographie du CIRC sur les risques de cancérogénicité pour l'homme, Vol.23, 205-32.
23. Chaguer M., (2013) : Analyse et Spéciation des Métaux dans un Oued en zone Minière Cas de l'Oued Essouk. Thèse de doctorat es-science en chimie de l'environnement. Université. De Constantine. 130p.
24. 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.
25. Chapman D, Kimstach V., (1996). Selection of water quality variables. *Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring*, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon.
26. 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.
27. Constantin J, Le Bas C, Justes É., (2015). Large-scale assessment of optimal emergence and destruction dates for cover crops to reduce nitrate leaching in temperate conditions using the STICS soil – crop model. *Eur. J. Agron.* 69, 75–87. doi:10.1016/j.eja.2015.06.002.
28. CRAAQ., (2003). Guide de référence en fertilisation. ed. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Sainte-Foy. xx, 294 pp.
29. Dabin B., (1970). Les facteurs chimiques de la fertilité des sols, in *Techniques rurales en Afrique : pédologie et développement*, Paris O.R.S.T.O.M:BDPA, 278 p.
30. Dareste de la Chavane, (1910). Étude spéciale des terrains tertiaires de la région de Guelmaet établissement de deux cartes, feuille de Guelma (n° 54) et de Gounod (la Mahouna, Ain Larbi ou même Abdi) (n°76).
31. Debieche T.H., (2002). Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la base plaine de la Seybouse Nord-Est Algérien. Thèse de doctorat en Hydrogéologie et Environnement. Université de Besançon , France.

## Références Bibliographiques

32. De Landsheere G., (1979). Dictionnaire de l'évaluation et de la recherche en éducation. Paris presses universitaires de France.
33. Delaunoy A, Ferrie Y, Bouche M, Colin C, Rionde C (2008)., Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols.
34. Delleau P., (1952). Le pays constantinois. XIXe Cong. Géol. Intern. Monogr. Régionale (1) Algérie, n° 13, 85 p, 3 fig., 1 pl.
35. De Marsily G. (1981). *Hydrogéologie quantitative*. Collection sciences de la terre. Edition Masson, Paris. 214 p
36. Demolon., (1968). Dynamique du sol. Edition DUNOD, Paris, 182 p.
37. Directive 2000/60/CE du Parlement et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, 32000L0060, adoptée le 23 octobre 2000, [JO](#) du 22 décembre 2000, p. 1-73.
38. 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.
39. D.P.A.T., (2006). Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire. Rapport interne, monographie de la wilaya de Guelma. 36 pages.
40. D.S.A., (2012). Statistiques agricoles de la wilaya de Guelma, Direction des Services Agricoles, Algérie, 40 p.
41. D.S.A., (2018). Norme de qualité des sédiments, Direction des services Agricoles, Algérie.
42. Dupas R, Parnaudeau V, Reau R, Gascuel-Oudou C. (2013) – Modélisation dynamique des flux hydriques et atmosphériques d'azote d'origine agricole sur deux territoires contrastés. Utilisation de l'outil Syst'N, Rapport final, Inra-Onema, 51 pp.
43. Durand D., (1969). Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Publ. Serv. Géol. Algérie, n°39, 89-131. Alger.
44. Durand J H., (1983). Les sols Irrigables. Etude pédologique. Presses Universitaire de France. Agence de Coopération Culturelle et Technique. 338 p.
45. El hali A., (2015). L'impact de l'irrigation sous pression sur le sol et sur l'eau dans le secteur N°Fis N4 -Région de l'Oudaya. Mémoire de fin d'études. Université Cadi Ayyad (Maroc).
46. Fauck R., (1972). « Contribution à l'étude des sols des régions Tropicales : Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique occidentale.
47. Flandrin J., (1948). Contribution à l'étude stratigraphique du Nummulitique algérien, Th.es Sciences, Paris, P.S.C.G. Algérie, Bulletin n° 19, 332, 88 fig., 8 pl. Alger.
48. Gaud B., (1976). Etude hydrogéologique de la nappe alluvionnaire de Guelma. Rapport interne. 318-333
49. Gaujous D., (1995). La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, Paris, 40-183.
50. Gonde R, Jussiaux M., (1980). Cours d'agriculture moderne. Edition la maison Rustique Paris, 628 p.
51. 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.

## Références Bibliographiques

52. Joleaud L., (1912). Travaux étendus sur l'ensemble du Constantinois, J. Blayac (1912), a établi une esquisse géologique du bassin versant de la Seybouse, apporté des connaissances sur les étages du Crétacé et a montré l'âge triasique du complexe salifère de cette région.
53. Julie C, Nicolas B, Nicolas M, Romain C., (2017). Concilier la réduction de la lixiviation nitrique, la restitution d'azote à la culture suivante et la gestion de l'eau avec les cultures intermédiaires. Innovations Agronomiques, INRA, 62, pp.1-12. <hal-01770351>.
54. 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.
55. Kali S., Benidir M., Belkheir B., Bousbia A, 2011. Elements d'analyse de la filiere lait dans la wilaya de Guelma (Algérie). Livestock Research for Rural Development 23(5), 1-10 p.
56. Kemmer N., (1984). Manuel de l'eau Technique et Documentation (Lavoisier).
57. Kenfaoui A., (2008). Economisons l'eau en la préservant de la pollution. Revue HTE, 140: 94-96.
58. Khadri S., (2009). Qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie aval : Impacts des néofacteurs de pollution. Mémoire de Magister en Hydrogéologie. Université de Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
59. 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.
60. Koller E., (2004). Traitement des pollutions industrielles ; eau, air, déchets, sols, boues, édition Dunod, Paris.
61. 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. »
62. Lasat M M., (2002). Phyto extraction of toxic metals: a review of biological mechanisms. Journal of Environmental Quality, 31. 20-109.
63. Laurent F. 2013. Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales. Sciences de l'environnement, Université du Maine, p. 188.
64. Memento de l'agronome, (1993). « Référence d'interprétation pour un sol Tropical ».
65. 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.
66. ONA, (2017) : fiche technique assainissement de la wilaya de Guelma. 1-8 p.
67. O.N.I.D., (2016) : L'office national pour l'irrigation et le drainage, fiche technique du périmètre d'irrigation Guelma- Bouchegouf .de la wilaya de Guelma. 1-15 p.
68. Pagni M., (1998). Les mécanismes de transformation de l'azote dans le sol. Perspectives Agricoles 115: 100-105.

69. Parent, L, Pellerin A, Khiari L., (2002). Le flux et la dynamique du phosphore dans les sols agricoles québécois." Colloque sur le phosphore - Une gestion éclairée. Novembre 2002, Drummondville, Québec, Canada.
70. Ramade F., (1996). Dictionnaire encyclopédique des éléments de l'écologie des sciences de l'environnement. Ed. Science internationale. 822 pages.
71. Raoul C., (2003). Le sol propriétés et fonctions phénomènes physiques et chimiques applications agronomiques et environnementales. 2ème ed, paris 2 tome, institut national agronomique, Paris-Grignon, France, 294p.
72. Reimann C., (1998). Chemical elements in the environment— factsheets for the geochemist and environmental scientist. Berlin, Germany7 Springer-Verlag.
73. Riquier, J.1966. Définition et classification des sols ferrallitiques de Madagascar. Cahier OROSTOM. Série Pédologie 4(4) : 75-88.
74. Rodier J. et al., (2009). L'analyse de l'eau, 9e édition. DUNOD (éditeur), Paris, France. 1579.
75. Roubault M., (1934). La kabylie de Collo. Etude géologique. Thèse Sc. Paris. *P.S.C.G.Algérie* (2), Bull. n° 10, 272 p., Alger.
76. Sayad L. (2015):le pouvoir autoepurateur de l'oued seybouse sur les rejets de la laiterie de l'edough (Annaba Algérie) et les objectifs environnementaux des rejets. thèse de doctorat univ.de Annaba 145p.
77. Santé Canada., (1996). Canadian soil quality guidelines for cadmium: Human health. Direction de l'hygiène du milieu, Section de l'air et des déchets, Ottawa. Ébauche.
78. S.C.E.T. MAROC, 1977 : Cartographie détaillée des sols au 1/50000eme , dans le Haouz central. 3 eme et 4eme tranche, secteur N1, N2 et N3. Rapport général.
79. Seltzer P., (1946). Le climat de l'Algerie. Imp. La typo litho et J. Carbonel, algiers.
80. 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 Med Cherif Messaadia Soug Ahras.
81. 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.
82. Sogreah. 2007 :Bilan des flux de contaminants entrant sur les sols agricoles de France métropolitaine. Bilan qualitatif de la contamination par les éléments tracés métalliques et les composés tracés organiques et application quantitative pour les éléments tracés métalliques- Rapport final. ADEME. Angers. 330 p.
83. Toumi A., Reggam A., Alayat H., Houhamdi M., J. Mater. Environ. Sci. 7 (1) (2016) 139-147.
84. UNESCO. Secretariat (1977) Desertification: Its causes and consequences, Pergamon Press, 448 p.
85. Vayana D., (2009). Etudes de données physico-chimiques des eaux du secteur Nord du Piton des Neiges Ile de La Réunion. Mémoire de master 1 en géosphère. Université de la réunion.
86. Vila J. M et Magné J., (1969). Evolution du domaine néritique constantinois dans la région de Guelma(Algérie), à la fin du Secondaire et au début du Tertiaire : conséquences paléogéographiques. C.R. Acad. Sc., t. 197, p. 775-778, 2 fig.,Paris.



## Références Bibliographiques

87. Vila J. M., (1970). Répartition de l'autochtone en fenêtre Hahouner-Débar (feuille au 1 /50 000è de Gounaud-La Mahouna, Nord-Est de Constantinois, Algérie). *B.S.G. France*, (7), XII, p. 813-817, 3 fig. Paris.
88. Vila J. M., (1971). Paléogéographie et tectonique des unités allochtones du type tellien et de type flysch à microbrèches dans le Nord-Est (Algérie). *C.R. Acad. Sc. (D)*, t.272, p. 1047-1050, 1 fig., Paris.
89. Vila J.M., (1972). Les témoins méridionaux du mole néritique constantinois au Sud de Hammam Meskhoutine et de Guelma (Algérie). *B.S.H.N. Afr. Nord* 63, fasc. 1-2, p. 29-37, 4 fig., Alger.
90. Vila J. M., (1978). La nappe néritique constantinoise: Un élément majeur de la chaîne alpine d'Algérie orientale. 6ème Réun. Ann. Sc. Terre, Orsay, p. 404, 1 fig.
91. Vila J.M., (1980). La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Th. Doct. Es sciences naturelles, Paris 3 tomes, 665 pages, 199 figures, 40 planches.