

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Hydraulique

Option : HYDRAULIQUE ET TECHNIQUES DES EAUX

Présenté par : HOCINE SOUAAD

HAMOUDA SEIF EL ISLEM

**Thème : CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA
QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE
SURFACES DE L'OUED SEYBOUSE**

Sous la direction de : KHEROUF MAZOUZ

Juin 2016

Remerciements

Remerciements

Nous tenons, d'abord à remercier en premier lieu et avant tout,
notre DIEU le tout puissant qui nous a donné la force et la patience pour
effectuer le présent travail.

Nous remercions nos très chers parents pour leurs soutiens
leurs patiences

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude aux personnes qui nous ont
aidé à effectuer ce travail et notamment notre encadreur :

Dr KHROUF MAZOUZ Pour son suivi et ses conseils durant l'évolution de ce
travail ainsi qu'à tout les enseignants et personnel administratif du département
de génie civil de l'université de 8 mai 1945 Guelma.

Nous remercions aussi tous les personnes qui nous ont aidés
de près ou de loin dans notre travail et surtout Mr. KACHIS, Mr. Maoui

Et Mme. DORBANI.M. Merci pour vos conseils.

Nous tenons aussi à remercier tous les étudiants de la promotion 2016 de master,
ainsi que tous les autres camarades du département de Génie Civil.

Dédicace

DIEU TOUT PUISSANCE MERCI D'ETRE TOUJOUR AU PRES DE MOI

Je dédie ce mémoire aux être les plus chers à mon cœur :

A mes parents (BELGACEM et MALIKA) qui ont toujours durant toute ma vie, qui m'ont aidé durant mes années d'études qui m'ont appris à aimer le travail et le bon comportement pour son amour infini et sa bien vaillance jour et nuit aussi qui ont toujours été la lorsque j'avais besoin d'eux et m'ont soutenu même quant je perdis confiance en moi.

A mes sœurs :

Iman, Rima.

A mon seul frère :

Karim.

A toute ma famille de prés ou de loin.

A tous mes chers amis :

Majda, Hanen, Marwa, Loubna, Yasmine, Amira, Selma, safa, wissem, Zaki, Alla, Brahim,
Mouhamed, Hamouda...

Ainsi que tous mes amis de département de génie civil et spécialement la promo 2016.

Dédicace

DIEU TOUT PUISSANCE MERCI D'ETRE TOUJOURS AU PRES DE MOI

Je dédie ce mémoire aux être les plus chers à mon cœur : A mes parents (AZIZ et HOURIA)
qui ont toujours durant toute ma vie, qui m'ont aidé durant mes années d'études qui m'ont
appris à aimer le travail et le bon comportement pour son amour infini et sa bien vaillance
jour et nuit et qui m'ont soutenu même quant je perdis confiance en moi.

A ma sœur : Oumayma

A mon frère : Djallal

A la plus chère personne dans ma vie (KHAWLA), qui m'a aidé et qui a toujours été la
lorsque j'avais besoin d'elle.

A toute ma famille de prés ou de loin.

A tous mes chers amis. Ainsi que tous mes amis de département de génie civil.

RESUME

A l'instar de toutes les régions du Nord-est algérien, la zone d'étude dispose d'une richesse hydrique superficielle considérable, à laquelle une attention particulière doit être réservée. L'oued Seybouse, qui se trouve alimenté par un important réseau hydrographique, est l'un des cours d'eau les plus importants de cette région, il draine le bassin de Guelma en direction nettement Ouest-Est sur près de 45 km avec un apport total estimé à 408 Hm³/an à la station de Boudraoua (Boucheouf).

Parallèlement à l'essor démographique rapide, le développement record des secteurs agricoles et industriel que connaît la région d'étude ces dernières décennies, l'oued Seybouse, est devenu le siège d'importantes déversements illicites et décharges polluantes. La présente étude a pour objectif, en premier lieu, de faire une caractérisation hydrochimique des eaux de surface de l'oued, du fait de leur exploitation en grande partie dans l'irrigation d'une superficie moyenne de 12 000 ha couvrant le périmètre de la plaine Guelma- Boucheouf. En outre, un diagnostic sur la qualité de l'eau s'est avéré indispensable pour identifier et proposer des solutions pour les problématiques potentielles en lien avec la ressource d'eau.

A cet effet, des prélèvements d'échantillons d'eau ont été effectués au niveau de neuf stations en période humide et en période sèche. Ainsi, une analyse multidisciplinaire a concerné en particulier, les paramètres physicochimiques (T°, pH, C.E, O₂, Cl⁻, PO₄, NO₂ et NO₃), l'évaluation de la contamination par les éléments traces (Fe, Mn, Cu, Zn)

Les résultats des analyses montrent que les eaux de ce cours d'eau sont caractérisées par une minéralisation naturelle élevée et des concentrations sensiblement supérieures aux normes recommandées par l'OMS et normes algériennes des différents paramètres témoignant en général que les eaux de ce cours d'eau sont d'une bonne qualité.

Les concentrations des éléments métalliques ne sont pas inquiétantes, et le degré de pollution métallique diffère d'un site à l'autre selon la distance d'éloignement de la source de pollution.

Mots clés : Contamination, Eaux de surface, Seybouse, Paramètres physico- chimiques.

ABSTRACT

Like all parts of the North-east Algeria, the study area has considerable surface water wealth, to which attention must be reserved. River Seybouse, which is fed by a network of rivers, is one of the most important rivers of this region; it drains the Guelma basin towards West-East clearly on nearly 45 km with a total contribution estimated at 408 Hm³ / year to Boudraoua station (Boucheougouf).

In parallel with the rapid population growth, the development record of the agricultural and industrial sectors that knows the study area in recent decades, River Seybouse became the seat of important illegal dumping and polluting discharges. This study aims, first, to make a hydrochemical characterization of the river surface water, due to their largely operating in irrigation with an average area of 12,000 ha covering the perimeter the plain Guelma-Boucheougouf. In addition, an assessment of the water quality has been essential to identify and propose solutions to potential problems related to the water resource.

For this purpose, samples of water samples were conducted at nine stations during wet periods and dry periods. A multidisciplinary analysis concerned in particular, the physicochemical parameters (T °, pH, EC, O₂, Cl⁻, PO₄, NO₂ and NO₃), the evaluation of contamination by trace elements (Fe, Mn, Cu, zn)

The analysis results show that the waters of this river are characterized by high natural mineralization and concentrations substantially higher than the standards recommended by OMS and Algerian standards of the various parameters reflecting generally the waters of this course of water are of good quality.

The concentrations of metallic elements are not alarming, and the degree of metal contamination differs from one site to another depending on the distance away from the source of pollution.

Keywords: Contamination, Surface water, Seybouse, physico-chemical parameters.

ملخص

على غرار كامل المناطق التي تقع في الشمال الشرقي للجزائر فان المنطقة التي أجريت فيها الدراسة تزخر بثروة مائية سطحية معتبرة , و التي يجب ايلاء اهتمام خاص بها. يعتبر وادي السيبوس الذي تغذيه شبكة هامة من الأودية , احد أهم, المجاري المائية في المنطقة. فهو يجري في حوض قالمة باتجاه غرب-شرق على مسافة 45 كم تقريبا حيث يقدر تدفق المياه لهذا الوادي عند محطة التسجيل ببوضروة (بوشقوف) بحوالي 408 مليون م³ سنويا.

بالتوازي مع النمو السكاني السريع , و كذلك النهوض في زمن قياسي بقطاعي الزراعة و الصناعة خلال العقود الأخيرة. فان وادي السيبوس أصبح مفرغة حقيقية للنفايات الملوثة الغير مسموح برميها دون معالجة.

تهدف هذه الدراسة بالدرجة الأولى إلى تقديم الخصائص الكيميائية للمياه السطحية لهذا الوادي, بسبب استغلال مياهه إلى حد كبير , في سقي الأراضي على محور قالمة-بوشقوف التي تغطي أكثر من 1200 هكتار. بالإضافة إلى ذلك فان التشخيص على نوعية المياه و الرواسب كان أمرا ضروريا و لا بد منه لتحديد واقتراح حلول للمشاكل المحتملة المتعلقة بالموارد المائية.

لهذا الغرض، تم اخذ عينات من المياه والرواسب من تسع محطات في موسم الأمطار وموسم الجفاف, كما انه تم تحليل مخبري - متعدد التخصصات وشمل العوامل الفيزيوكيماوية (T°, pH, C.E, O2,) كذلك تقييم التلوث عن طريق المعادن الثقيلة (Fe, Mn, Cu, Zn, ..), (Cl-, PO4, NO2 etNO3)

إن نتائج التحاليل بينت بان المياه السطحية لهذا الوادي تتميز بتمعدن طبيعي عالي كما ان هذه المياه تحتوي على تركيزات عالية نسبيا للجزائر من مختلف العوامل التي تم تحليلها إذا ما قورنت بالمعايير المعتمدة من قبل منظمة الصحة العالمية و كذلك. أما في ما يتعلق بتركيز الزيوت و الدهون فان هذا الأخير يعتبر منخفض جدا إلى درجة الصفر أحيانا مما يدل على أن مياه هذا الوادي هي ذات نوعية جيدة. تركيزات المعادن ليست مثيرة للقلق، ودرجة التلوث بالمعادن تختلف من موقع إلى آخر اعتمادا على بعد المسافة بينها و بين مصدر التلوث.

الكلمات المفتاح : التلوث , المبيدات , العوامل الفيزيوكيماوية , الزيوت و الدهون , السيبوس , المياه السطحية , المعادن الثقيلة.

LISTE DES FIGURES

N ^o		Page
Figure 01	Situation géographique de la zone d'étude.	4
Figure 02	Esquisse géologique de la région d'étude .	7
Figure 03	Les zones hydrogéologiques du bassin versant de la Seybouse à partir de Guelma.	10
Figure 04	Le réseau hydrographique du bassin- versant de la Seybouse.	11
Figure 05	Carte des sols dominants de l'Algérie Echelle: 1:5 milliers ; Source: DSMW-FAO-UNESCO	14
Figure 06	Coupe Hydrogéologique N-S dans la plaine de Guelma.	18
Figure 07	Situation de stations hydrométrique sur le bassin versant de la Seybouse .	20
Figure 08	Variations des débits moyens mensuels des deux principaux affluents de la Seybouse amont	21
Figure 09	Variation des débits moyens annuels (oued Charef-oued Bouhamdane)	23
Figure 10	Variation des débits mensuels et des précipitations : (1)- Station pluviométrique Hammam Debagh, (2)- Station pluviométrique Sedrata	25
Figure 11	Courbes des coefficients moyens des débits (CMD) des principaux affluents de l'oued Seybouse en amont : (1)- Oued Charef à moulin Rochefort: 1988/89—2001/02 ; (2)- Oued Bouhamdane à Medjez Amar II: 1968/69 — 2006/07	27
Figure 12	Variation de la température moyenne mensuelle (1990-2013) pour la station de Guelma	31
Figure 13	Températures moyennes interannuelles à la station de Guelma (1990-2013)	31
Figure 14	Variation de l'évaporation moyenne mensuelle—Station : Guelma (1990-2013)	32
Figure 15	Variation des précipitations moyennes mensuelles	33
Figure 16	Variation interannuelle des précipitations pour la station Guelma (1990-2013)	34

Figure 17	Variation du coefficient pluviométrique - Stations de Guelma (1990-2013)	34
Figure 18	Répartition saisonnière des précipitations pour la station de Guelma	35
Figure 19	Bilan d'eau par la méthode de Cw. Thornthwaite (station : Guelma)	38
Figure 20	Diagramme Ombrothermique - Station de Guelma (1990-2013)	40
Figure 21	Climagramme d'Emberger (Station : Guelma)	42
Figure 22	Situation des points d'échantillonnage	44
Figure 23	Variation de la Température	45
Figure 24	Variation de la conductivité électrique	46
Figure 25	Variation du pH	47
Figure 26	Variation de l'oxygène dissous	48
Figure 27	Variation des teneurs en calcium	50
Figure 28	Variation des teneurs en magnésium (mg/l)	51
Figure 29	Variation des teneurs en chlorure (mg/l)	52
Figure 30	Variation des teneurs en sodium (mg/l)	53
Figure 31	Variation des teneurs en potassium (mg/l)	54
Figure 32	Variation des teneurs en Bicarbonates (mg/l)	55
Figure 33	Variation des teneurs en sulfates (mg/l)	56
Figure 34	Variation des teneurs en nitrate (mg/l)	57
Figure 35	Variation des teneurs en nitrite (mg/l)	58
Figure 36	Variation des teneurs en orthophosphate (mg/l)	59
Figure 37	Projection des variables sur le plan factoriel (1-2)	62
Figure 38	Projection des variables sur le plan factoriel (1-3)	63
Figure 39	Digramme de Piper	63
Figure 40	Diagramme de Richards	65
Figure 41	Diagramme de Wilcox	66

LISTE DES TABLEAUX

N ^o	Page
Tableau 01 Type de culture, les superficies agricoles et la surface irriguées en 2009 (DSA, 2012)	13
Tableau 02 Répartition des capacités superficielles par type	17
Tableau 03 Répartition des capacités souterraines par type	18
Tableau 04 Stations hydrométriques du bassin versant de la Seybouse dans sa partie amont	19
Tableau 05 Débits moyens mensuels en m ³ /s(oued Cherf-oued Bouhamdane) ANRH	21
Tableau 06 Débits moyens annuels d'oued Cherf (1988/1989 à 2001/2002)	22
Tableau 07 Débits moyens annuels d'oued Bouhamdane (1968/1969 à 2006/2007)	22
Tableau 08 Variation du coefficient mensuel de débit d'oued Cherf de1988/1889 à 2001/2002 et d'oued Bouhamdane de 1968/1969 à 2006/2007- ANRH	27
Tableau 09 Station climatologique utilisé dans l'étude du climat de la région	30
Tableau 10 Températures moyennes mensuelles en °C (1990-2013)	30
Tableau 11 Evaporation moyenne mensuelle en mm (1990-2013)	32
Tableau 12 Précipitation moyenne mensuelle	33
Tableau 13 Répartition saisonnière des précipitations	35
Tableau 14 Calcul de l'ETR par la formule de Turc (annuel).	36
Tableau 15 Bilan d'eau par la méthode C.W Thornthwaite à la station de Guelma (1990- 2013)	37
Tableau 16 Ruissellement par la formule de Tixeront-Berkaloff	39
Tableau 17 Bilan hydrologique	39
Tableau 18 Variation de La température, pH ,conductivité électrique (μ s/cm) et oxygène dissous (mg/l)	49
Tableau 19 Inertie dans les 4 premières composantes principales	60
Tableau 20 Matrice de corrélation	60
Tableau 21 Corrélation entre variable et poids factoriels	61

LISTE DES ABREVIATION

ABHCSM : Agence des Bassins Hydrologiques Constantinois-Seybouse-Mellegue.

ACP: Analyse de la Composante Principale.

ANDI : Agence Nationale de Développement de l'Investissement.

CMD : Coefficient Mensuels de Débits.

ENA : Entreprise Nationale Algérienne.

FAO : Food and Agriculture Organization.

ha : hectare.

Hm³: Hectomètre cube.

SAT : Surface Agricole Totale.

ETR : évapotranspiration réelle.

STEP : Station d'Épuration .

UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture.

SOMMAIRE

Page

Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Cadre général	
I. Présentation de la zone d'étude.....	4
I.1. Situation géographique de la zone d'étude.....	4
I.2. Aperçu socio-économique.....	5
I.3. Aspect géomorphologique.....	6
I.4. Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du bassin de Guelma.....	6
I.4.1 Lithologie et caractéristiques géologiques.....	6
I.4.2 Caractéristiques hydrogéologiques du bassin de Guelma.....	8
I.5. Réseau hydrographique.....	10
I.6. Couverture végétale et production végétale.....	12
I.6.1. Couverture végétale.....	12
I.6.2. La production végétale.....	12
I.7. Type de sol.....	14
Conclusion.....	16
Chapitre II : Ressources hydriques	
II.1. Ressources hydriques.....	17
II.1.1. Les eaux de surface.....	17
II.1.2. Les eaux souterraines.....	18
II.1.3. Ressources en eau non conventionnelle.....	20
II.2. Etude des débits.....	20
II.2.1. Débits moyens mensuels.....	21
II.2.2. Débits moyens annuels.....	23
II.2.3. La variation de l'écoulement en fonction des précipitations.....	25
II.3. Type de régime.....	27
Conclusion.....	29

Chapitre III: Hydroclimatologie

III. Hydroclimatologie	30
III.1. La température	30
III.2. L'évaporation	31
III.3. Les précipitations	32
III.3.1. Précipitation moyenne mensuelle.....	33
III.3.2. Précipitation moyenne annuelle.....	33
III.3.3. Répartition saisonnière des précipitations.....	35
III.4. Evapotranspiration	35
III.4.1 La formule de Turc (moyenne annuelle).....	36
III.4.2 La méthode de l'eau de C.W.Thornthwaite.....	36
III.5. Estimation du ruissellement	38
III.6. Estimation de l'infiltration	39
III.7. Rythme climatique	39
III.7.1 Diagramme pluviothermique.....	39
III.7.2 Indice de De. Martonne.....	40
III.7.3 Climagramme d'EMBERGER.....	41
Conclusion	42

Chapitre IV : Hydrochimie

IV.1. Introduction	43
IV.2. Méthodes d'analyses	43
IV.3. Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ)	45
➤ Température (T).....	45
➤ La conductivité électrique.....	46
➤ Potentiel d'Hydrogène (pH).....	46
➤ Oxygène dissous (O ₂).....	47
IV.4. Les éléments majeurs	49
➤ Calcium (Ca ²⁺).....	49
➤ Magnésium (Mg ²⁺).....	50
➤ Chlorure (Cl ⁻) et Sodium (Na ⁺).....	51
➤ Potassium (K ⁺).....	53
➤ Bicarbonates (HCO ₃ ⁻).....	54
➤ Sulfates (SO ₄ ²⁻).....	55
IV.5. Les nutriments	56

➤ Les Nitrates NO_3^-	57
➤ Les Nitrites NO_2^-	57
➤ Les orthophosphat (PO_4^{3-}).....	58
IV.6. Analyse statistiques des données physico-chimiques.....	59
IV.7. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	64
Conclusion.....	67
Conclusion Générale.....	68

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau faisant partie de notre patrimoine collectif, il importe d'en assurer la pérennité et de favoriser l'amélioration ou la conservation de sa qualité au bénéfice de la collectivité et des générations futures. Les Pays de la rive Sud de la Méditerranée sont caractérisés par une situation de stress hydrique structurelle. L'Afrique du Nord ne totalise que 0,1 % des ressources mondiales d'eau naturelle renouvelable pour une population globale de 180 millions d'habitants soit environ 2.6 % de la population mondiale.

Depuis la mise en service en 1996 du périmètre irrigué Guelma – Bouchegouf la problématique liée à la qualité des eaux d'irrigation à partir de l'oued Seybouse reste posée avec acuité. Faut-il ou non utiliser les eaux de cet oued pour l'irrigation? Sachant que les eaux résiduaires industrielles, les eaux usées domestiques et les huiles de vidanges et autres sont déversées directement dans cet oued, sans aucun traitement préalable. Ceci d'une part d'autre part, une autre source de pollution est non la moindre est la pollution d'origine agricole (lessivage des engrais chimiques et des pesticides) [1].

Les eaux de la Seybouse présentent une pollution bactériologique chronique, cela d'après les résultats d'analyses d'une campagne entreprise par l'Inspection de l'environnement de la wilaya de Guelma faite en 1999, où il s'est avéré que malgré la rigueur de l'hiver, beaucoup de germes pathogènes sont présents. Il est important de signaler que tous les forages d'alimentation en eau potable ainsi que les puits sont implantés dans des terres agricoles et que ces dernières sont irriguées à partir de l'oued Seybouse. D'après l'office du périmètre irrigué (OPI), le volume d'eau pompé de 1996 à 2004 utilisé à l'irrigation de ces terres est de l'ordre de 12.107m³.

L'intensification de l'irrigation par des eaux de qualité douteuse peut provoquer l'infiltration des différents polluants vers les eaux souterraines de la nappe aquifère, car il ne faut pas surestimer le pouvoir autoépurateur du sol, puisque un cas réel de contamination a été signalé par le service de la santé de la wilaya de Guelma (DSP) durant le mois de Juillet 1997 où le forage (BA3) a été contaminé par une fuite dans la conduite de refoulement du périmètre irrigué. Cependant; il pourrait y avoir d'autres cas pareils du moment que le réseau d'irrigation est ramifié sur une surface de 12000ha.

Par son appartenance géographique à la zone aride et semi-aride, l'Algérie est soumise à des conditions physiques et hydro climatiques défavorables, accentuées par des périodes de Sécheresses chroniques, constitueront, durant les prochaines décennies, un défi majeur pour la gestion de l'eau dans le pays. Elles risquent de causer une réduction des pluies et une augmentation des températures estivales, particulièrement au sud, intensifiant ainsi la pression sur des ressources déjà rares [2].

Cependant, le sous-bassin de la moyenne Seybouse, où se localise notre région d'étude, n'échappe pas au fléau de la pollution. L'oued Seybouse, principal cours d'eau, qui traverse la plaine de Guelma; Bouchegouf sur plus de 45 km du sud au Nord-Est, se trouve particulièrement touché par ce problème du fait de la démographie croissante des centres riverains et du développement continu des secteurs industriel et agricole. En effet, les rejets liquides d'origines domestiques et industrielles générés par la ville de Guelma, les communes de Medjez Ammar, El Fedjouj, Heliopolis, Belkheir et Boumahra sont déversés directement dans cet oued d'une façon précaire et sans traitement préalable. à l'exception des rejets de l'oued Sekhoune et oued Maiz, collectés et épurés par la STEP de Guelma depuis l'année 2008

Le but de notre étude est de voir l'impact des eaux d'irrigation sur les sols et sur les eaux souterraines de la nappe.

De ce fait, on a affronté les teneurs des eaux d'irrigation, en différents polluants (nitrates, ortho phosphates, métaux lourds...etc.) avec celle des eaux souterraines, pour voir la part de responsabilité de ces eaux dans la dégradation de la qualité des eaux de la nappe alluviale de Guelma.

Dans cette optique, notre étude s'articulera principalement sur les chapitres suivants:

- Le premier chapitre nous donne un aperçu du cadre général de la région d'étude suivi par une description des caractéristiques géomorphologiques, l'identification de la nature lithologique et du réseau hydrographique.
- Le deuxième chapitre, présente un aperçu global sur les ressources en eau, superficielles ou souterraines, qui ont un impact direct sur le développement socio-économique dans la région, il sera consacré, également, à l'étude hydrologique qui a pour but de déterminer les variations de débits et définir le

régime d'écoulement ,influencé, directement, par les précipitations

- Le troisième chapitre est consacré à évaluer les différents termes du bilan hydrologique, la précipitation, l'évapotranspiration, le ruissèlement et l'infiltration, en s'appuyant essentiellement sur relevées pluviométriques et ceux de la température fournies par la station météorologique de Guelma.

- Le quatrième chapitre est réservé à la caractérisation hydro-chimique permettant donc d'évaluer la qualité des eaux superficielles. Elle constitue l'une des composantes principales dans toute étude du fonctionnement des écosystèmes aquatiques,

- Une conclusion pour savoir si on peut utiliser les eaux superficielles de la Seybouse pour le but de l'irrigation.

Chapitre I : Cadre général

I. Présentation de la zone d'étude :

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

La région d'étude (bassin de Guelma) s'étend entre le confluent Cheref, Bouhamdane à Medjez Ammar au Nord-Ouest et le seuil hydrogéologique de Nador au Sud est, elle appartient à la moyenne Seybouse, elle se localise dans la zone tellienne de la chaîne alpine de l'Algérie nord-orientale. Il montre une forme lenticulaire s'allongeant sur une direction Est - Ouest sur 30 km de long et de 7 à 15 km de large, la superficie de cette zone est de 250 km² [3]. Elle est limitée au nord par les reliefs de Djebel Guerbissa, Koudiat Debdebe, Djebel Bou Zitoun, Ras El Chatah, les contreforts du massif d'El Houara, à l'Est par les massifs de Beni Marmi, au sud par le massif de la Mahouna et ses contreforts Rakaat El Ras, le Kef Sultane et à l'Ouest par le massif du Djebel Arara [4]. La région d'étude fait partie du grand bassin versant de l'Oued Seybouse, second oued d'Algérie après l'Oued Chélif du point de vue de l'importance de son réseau hydrographique et de sa forte anthropisation. Le bassin versant couvre au total (6471 km²) et possède trois parties : les hautes plaines (haute Seybouse), le tell méridional (moyenne Seybouse) et le tell septentrional (basse Seybouse). Il loge sept wilayas dont Guelma, Annaba et El-Tarf. La Seybouse est devenu le siège d'importantes décharges de pollution organique et microbienne d'origine agricole, domestique et industrielle, avant de se rejeter dans la mer Méditerranée.

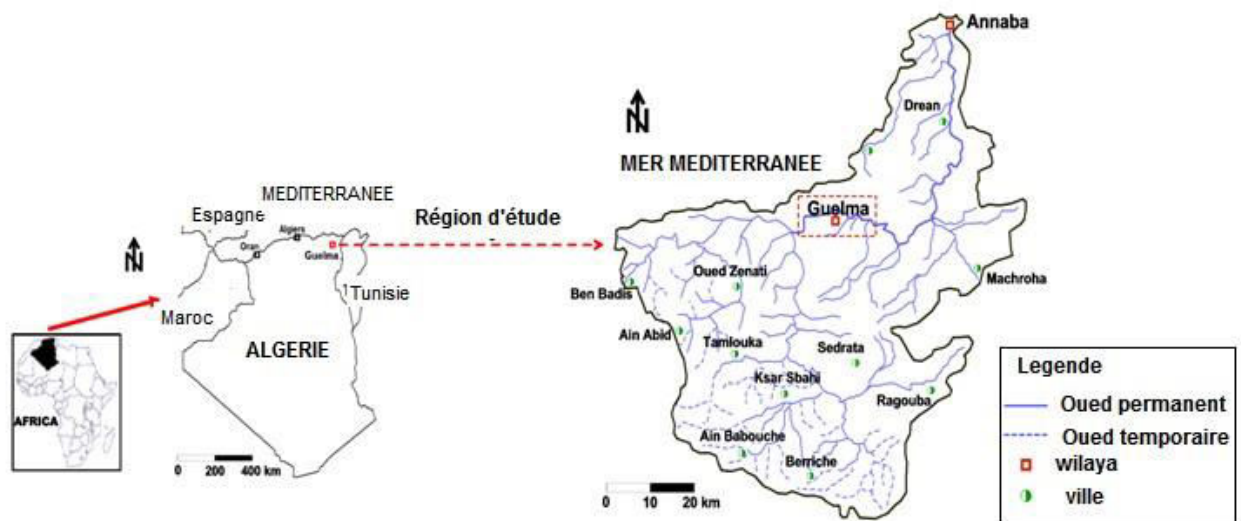


Figure01: Situation géographique de la zone d'étude.

I.2. Aperçu socio-économique:

La région de Guelma constitue, du point de vue géographique, un point de rencontre, voire un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum El Bouaghi et Tébessa). Elle occupe une position médiane entre le Nord du pays, les Hauts plateaux et le Sud.

La région de Guelma est une région à vocation agricole principalement malgré l'installation de nombreuses petites industries agroalimentaires sur les deux rives de la Seybouse. L'agriculture est observée sur l'ensemble de la plaine de Guelma avec une très grande variété de culture : céréales, maraichères, arboricultures et d'élevage de volailles et bétails.

Il y a lieu à noter également, que pendant les dernières années, de nombreux créneaux d'investissement ont été développés à savoir:

1. L'extraction et transformation de minéraux non ferreux- Gisements de Kaolin, de Marbres, et d'Agrégats et d'Argiles.
2. Les constructions mécaniques et mécano-soudées
3. L'agro-industrie
4. L'industrie de la sous-traitance

Alors que le tissu industriel existant s'active autour de :

- Une unité de céramique
- Une unité cycle et motorcycle
- L' ENA sucre - société publique privatisée récemment et attribuée à un groupe Italien.
- Une carrière de marbre de MAHOUNA dont l'exploitation devrait être intensifiée par l'augmentation du nombre de concessions minières et du nombre d'unités artisanales de transformation du marbre (Découpes à façon, bimbéloterie, carreaux de marbre reconstitué.) des ressources sylvestres dont l'exploitation doivent être rationalisée
- Les activités de transformation du bois qui doivent être développées.

Le tissu industriel est peu développé mais susceptible de connaître un développement sur les filières économiques sus - indiquées.

Sur le plan touristique, la région de Guelma recèle d'importantes potentialités touristiques: De nombreux sites notamment ceux de Hammam Debagh et de Hammam Ouled Ali [5].

I.3. Aspect géomorphologique :

L'orographie de la région d'étude est formée en ligne générale des reliefs montagneux et collinaires constituant l'extrémité orientale de la chaîne des monts de Constantine et des contreforts occidentaux de la chaîne de la Medjerda. Ces deux contreforts sont traversés par des vallées profondes où courent les affluents droits et gauches de la Seybouse. Tous les cours d'eaux ont un caractère torrentiel. Les altitudes les plus élevées que l'on rencontre dans la région de Guelma sont Djebel Mahouna (1411m) et Ras El Alia (1317m).

Dans la partie Sud, les altitudes varient de 100 à 1400m. C'est dans le cycle d'érosion que s'inscrit la région de Guelma qui présente toutes les caractéristiques morphologiques d'une région où les eaux ont été le principal agent modificateur. La plaine creusée par la Seybouse offre des pentes généralement peu accentuées, plus douces pour les versants exposés au Sud. Son fond est plat et présente une faible pente longitudinale et transversale. Elle est surmontée de terrasses qui s'élèvent à des altitudes diverses. Les reliefs qui surplombent immédiatement la plaine sont dans leur ensemble des pentes moyennes à sommets arrondis à l'exception des affleurements calcaires qui donnent lieu, étant donné leur plus grande résistance à l'érosion, à des pentes plus raides et escarpées [6].

I.4. Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du bassin de Guelma:

I.4.1.Lithologie et caractéristiques géologiques :

La région de Guelma est constituée de terrain sédimentaire d'âge crétacé oligocène, Miopliocène et quaternaire. Le Nord du bassin occupé par une plaine alluviale correspond à un synclinal comblé par des argiles des conglomérats marno-calcaires, des grès numidiens et des calcaires lacustres. Les formations numidiennes se développent largement au sud de Guelma en occupant la partie montagneuse jusqu'à Sédrata. Ce sont surtout les calcaires yprésiens qui dominent, vient ensuite les grès numidiens du flanc et la Mahouna; les séries de la marno-calcaire et les argiles. L'ensemble est fortement tectonisé. Il en résulte des facteurs qui favorisent la présence de plusieurs unités aquifères dans les marno-calcaires (cétacé supérieur). L'oued Seybouse a creusé dans la même série et mis à jour trois petites sources : c'est l'indice de la présence d'une nappe à faible ressources.

Les bandes de calcaire yprésien de la région sud de Guelma, affleurent largement jusqu'aux environs de Sédrata. Ces calcaires sont fortement fissurés, ce qui permet la Constitution de ressources aquifères importantes, mais rapidement restituées. Plusieurs sources d'assez fort débits y apparaissent, la source de Oued Halia donne environ un débit de

60 l/s (service hydraulique de Guelma).

La formation numidienne dans la région sud de Guelma est constituée d'alternance d'assises gréseuses et de séries argileuses ou argilo-gréseuses. Les grès de Numidie sont fissurés et diaclasés. Au Nord de Héliopolis, d'El Fedjoudj et Guelat Bou Sba, affleurent aussi des formations marneuses et schisteuses pauvres en eaux souterraines, alors qu'à l'ouest de cette zone, s'élèvent les calcaires sénoniens au Djebel Debar et Taya où l'infiltration est probablement importante. Le centre du bassin est occupé par des dépôts quaternaires dans lesquels on peut distinguer plusieurs Terrasses. Quant à la dépression de Bouchegouf, elle est encadrée à l'Ouest et au Nord de grès, au sud par des formations triasiques marneuses et gypseuses, au centre elle est comblée par des alluvions déposées par la Seybouse et qui forment trois niveaux; haute, moyenne et basse terrasse. Les alluvions de cette dernière peuvent receler une nappe souterraine alimentée par l'oued Seybouse là où elles ne sont pas trop argileuses.

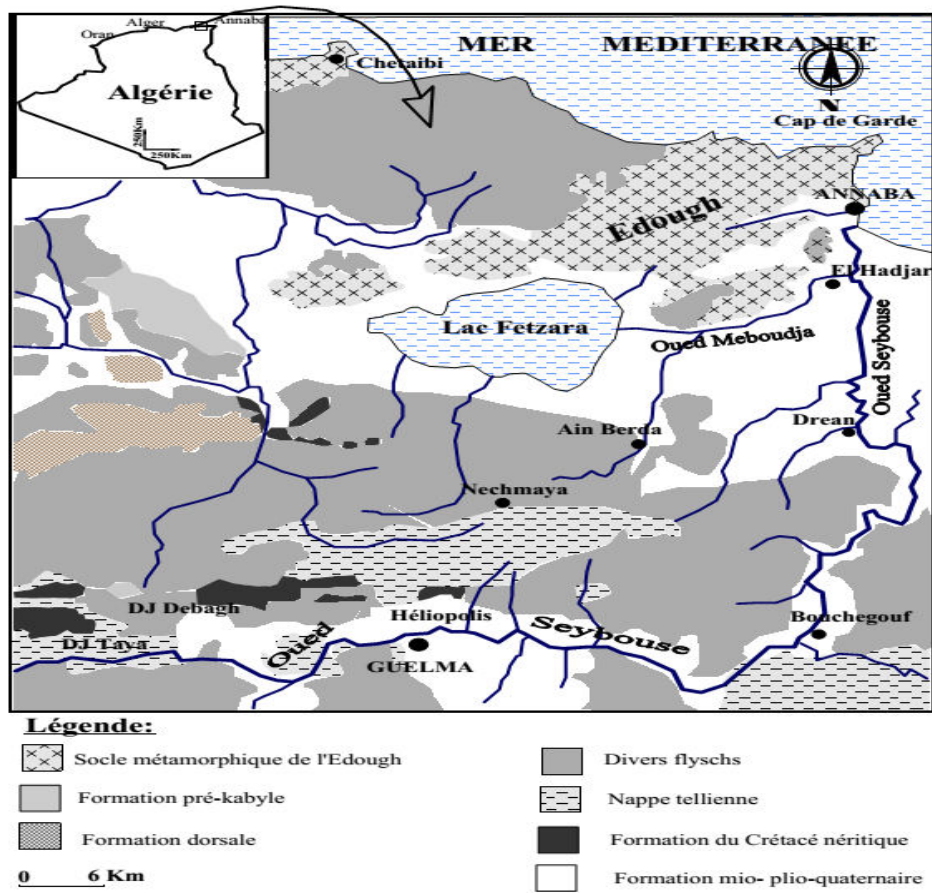


Figure02:Esquisse géologique de la région d'étude [16].

I.4.2. Caractéristiques hydrogéologiques du bassin de Guelma :

La région de Guelma est constituée de terrains sédimentaires d'âge crétacé oligocène, Miopliocène et quaternaire (Fig. 02). Le Nord du bassin occupé par une plaine alluviale correspond à un synclinal comblé par des argiles des conglomérats marno-calcaires, des grès numidiens et des calcaires lacustres. Les formations numidiennes se développent largement au sud de Guelma en occupant la partie montagneuse jusqu'à Sédrata. Ce sont surtout les calcaires yprésiens qui dominent, viennent ensuite les grès numidiens du flanc et la Mahouna; les séries de la marno-calcaire et les argiles. L'ensemble est fortement tectonisé. Il en résulte des facteurs qui favorisent la présence de plusieurs unités aquifères dans les marno-calcaires (cétacé supérieur). L'oued Seybouse a creusé dans la même série et mis à jours trois petites sources : c'est l'indice de la présence d'une nappe à faible ressources.

Les bandes de calcaire yprésien de la région sud de Guelma, affleurent largement jusqu'aux environs de Sédrata. Ces calcaires sont fortement fissurés, ce qui permet la constitution de ressources aquifères importantes, mais rapidement restituées. Plusieurs sources d'assez fort débits y apparaissent, la source de Oued Halia donne environ un débit de 60 l/s (service hydraulique de Guelma). La formation numidienne dans la région sud de Guelma est constituée d'alternance d'assises gréseuses et de séries argileuses ou argilo-gréseuses. Les grès de Numidie sont fissurés et diaclasés.

Au Nord de Héliopolis, d'El Fedjoudj et Guelaat Bou Sba, affleurent aussi des formations marneuses et schisteuses pauvres en eaux souterraines, alors qu'à l'ouest de cette zone, s'élèvent les calcaires sénoniens au Djebel Debar et Taya où l'infiltration est probablement importante. Le centre du bassin est occupé par des dépôts quaternaires dans lesquels on peut distinguer plusieurs Terrasses. Quant à la dépression de Bouchegouf, elle est encadrée à l'Ouest et au Nord de grès, au sud par des formations triasiques marneuses et gypseuses, au centre elle est comblée par des alluvions déposées par la Seybouse et qui forment trois niveaux; haute, moyenne et basse terrasse. Les alluvions de cette dernière peuvent receler une nappe souterraine alimentée par l'oued Seybouse là où elles ne sont pas trop argileuses.

L'analyse rapide des cartes géologiques au 1/50 000 a permis de dresser une esquisse stratigraphique de la zone de Guelma, du bassin versant intermédiaire (compris entre Nador, Bouchegouf et Boudaroua, à une superficie de 360km²) et du bassin de l'Oued Mellah. Nous nous intéressons en fait essentiellement à la perméabilité des formations géologiques correspondantes.

Cette perméabilité se présente ainsi :

- Trias : perméabilité moyenne à forte ; liée à la nature des roches constituantes (gypses, marnes, cargneules). Le Trias joue un rôle essentiel par son extension et sa position dans le bassin de l'Oued Mellah.
- Crétacé supérieur et Eocène : perméabilité faible, limitée à quelques niveaux calcaires constitué de marnes et de flysch imperméables.
- Oligocène (série numidienne) : perméabilité très faible, liée à quelques bancs gréseux. L'importance de cette série lui confère néanmoins un rôle de réservoir non négligeable et qui alimente tous les faibles débits d'étiages (25 à 50 l/s) des bassins ou elle prédomine (Saf-Saf Cheffia - Bouhamdane).
- Mio -Pliocène : perméabilité très variable entre les travertins et les dépôts détritiques fins. Nous la considérerons comme moyenne et nous noterons l'importance des formations mio- pliocènes en bordure de la vallée alluviale dans la zone de Guelma.
- Alluvions quaternaires : leur perméabilité assez faible est compensée par leur épaisseur et leur extension. (D'après SOGREAH).

En résumé les bassins concernés se classent du point de vue géologique dans une classe de perméabilité moyenne à faible avec, en fait, 2 types de terrains :

- Les terrains franchement imperméable ou très peu perméables (crétacé supérieur - éocène - oligocène)
- Les terrains localement très perméables (certaines formations du Trias et du Mio-pliocène). Nous attribuerons une perméabilité moyenne aux bassins du Mellah et à la Zone de Guelma au bassin aval du Charef et au bassin versant intermédiaire. Très faible même au bassin du Bou Hamdane constitué à 80% de Numidien.

Au total, le bassin de Guelma présente plusieurs ensembles lithologiques qui impliquent des zones hydrogéologiques différentes (Fig.03). Au sud, un matériel permettant une importante accumulation en eau souterraine mais fracturé l'infiltration et défavorise la formation de nappes aquifères. Sur la rive gauche de la Seybouse, on rencontre des formations pour lesquelles l'infiltration se fait très difficilement. Enfin, au niveau du centre, les alluvions quaternaires (poudingues, graviers, galets, limons...) à forte perméabilité referment une nappe très importante.

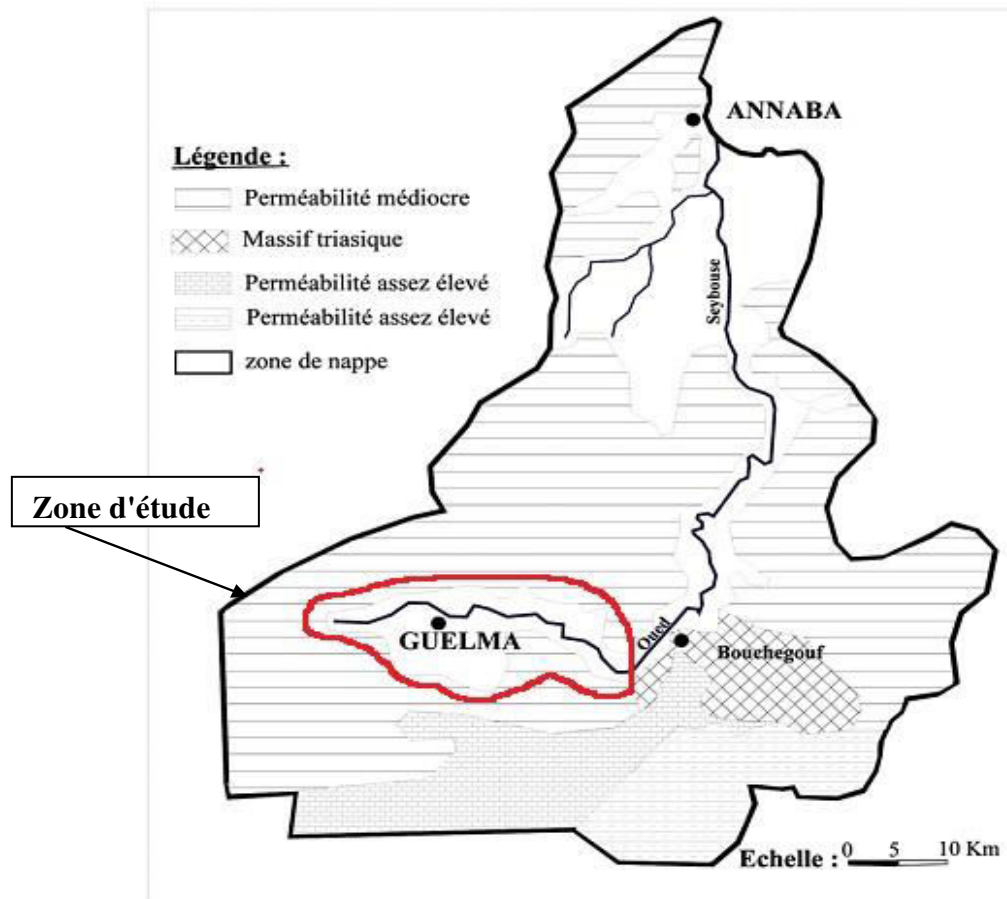


Figure 03: Les zones hydrogéologiques du bassin versant de la Seybouse à partir de Guelma [7].

I.5. Réseau hydrographique :

Le bassin de Guelma est drainé par un réseau hydrographique très important avec une densité moyenne de drainage d'environ $2,11 \text{ m km}^2$. Ces caractéristiques offrent à la région l'avantage d'être une ressource inépuisable en eau superficielle.

Vu les fortes disparités climatiques, topographiques, physiques et géologiques qui caractérisent l'ensemble des bassins versants du Nord-Est algérien, le régime des cours d'eau au niveau de cette région se caractérise par l'irrégularité de leur débit, caractère commun de la plupart des oueds algériens.

La principale particularité des cours d'eau de cette région consiste dans l'irrégularité de leur débit, caractère commun de la plupart des oueds algériens. Le seul cours d'eau important, est l'oued Seybouse, formé, peu avant son entrée dans la commune de Guelma, de l'Oued Cherf et de l'oued Bouhamdane qui drainent respectivement des sous bassins de 2900 km^2 et

1100 km² à la station de Medjez Amar, point de confluence et naissance de l'oued Seybouse. Il franchit alors un défilé assez étroit et pénètre dans le vaste bassin de Guelma qu'il traverse de toute sa longueur en direction nettement Ouest-Est [8].

Durant ce parcours, le lit de la Seybouse forme de nombreux méandres, et cette rivière se trouve alimentée par un important réseau hydrographique compris entre la chaîne atlasique du Tell au Sud et le prolongement de la chaîne numidique du Taya-Debbar au Nord, 1100 mètres d'altitude. Sur la rive droite, la Seybouse reçoit l'oued Sekhoun, qui passe au pied de la ville de Guelma dans une galerie souterraine entièrement couverte, l'oued Maïz qui forme limite entre la commune de Guelma et celle de Belkheir, de l'oued Harrid et de Millesimo, puis en aval l'oued Zimba et l'oued Bou Sorra descendant du versant oriental du massif de la Mahouna et l'oued H'lia. Nous citerons sur la rive gauche, à titre d'indication seulement, puisque la Seybouse forme la limite Nord de la commune de Guelma, l'oued Bou Far, l'oued Touta venus du djebel Debbar, et l'oued Bredâa recueillant les eaux du Fedjoudj et arrosant les villages de Guelaat Bousba et d'Héliopolis (Fig. 04).

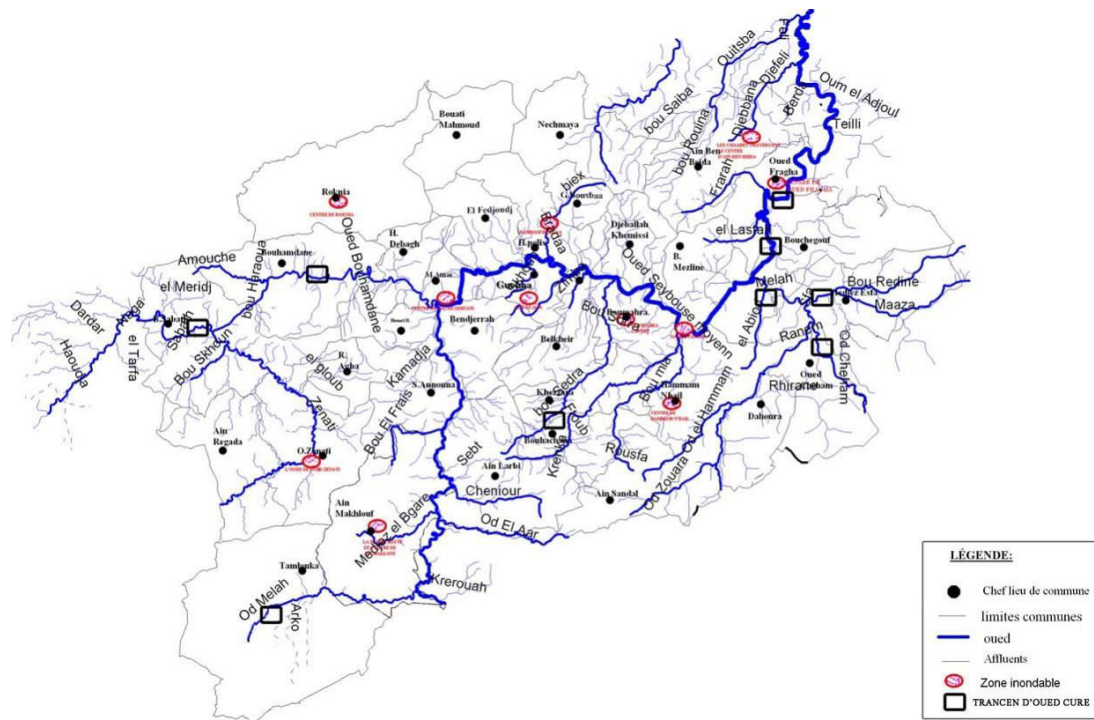


Figure 04: Le réseau hydrographique du bassin- versant de la Seybouse.

I.6. Couverture végétale et production végétale :

I.6.1. Couverture végétale:

Une superficie de pacages et de parcours estimée à 53.473 ha, soit 14,50% de la superficie totale de la wilaya et 20,10% de la (S.A.T). Les terres non productives sont de 26.405 ha, soit 7,16% de la superficie totale de la wilaya et 9,92% de la (S.A.T). La superficie de couverture forestière totale est de 105.395 ha, soit 28% de la superficie totale de la wilaya. Le paysage forestier est discontinu et hétérogène confiné dans des massifs répartis d'Ouest en Est. Les grands espaces de terrains à vocation forestière sont dans la partie Sud-est [9].

Un potentiel important de bois (chêne zéen et liège aux forêts de Béni Salah à Bouchegouf, de Houara à Ain Ben Beida et Djeballah, Mahouna à Ben Jerrah et Béni Medjeled à Bouhamdane) totalisant près de 19.771 ha de forêts et moyennant une production de l'ordre de 510,10 stères de chêne zen et chêne liège et de 345 m³ de bois [10].

I.6.2. La production végétale :

L'agriculture dans la région de Guelma s'articule principalement autour de la production céréalière qui occupe plus de 65% de la SAU (186 122 ha). La superficie réservée pour les cultures céréalières est répartie en 93 630 ha de blé dur, 26 455 ha de blé tendre, 47 195 ha d'orge, et 6 160 ha d'avoine. Pour les cultures maraîchères, la superficie réservée est de 586,79 ha. Les légumes secs sont limités à 425 ha, l'oignon est représenté par plus de 30 ha et l'arboriculture est présentée sur 24 197 ha.

La culture de produits destinés à des filières agro-industrielles telles que la tomate, les poivrons et la culture de la betterave sucrière est dans les communes de Belkheir, Héliopolis, El-Fedjoudj, Bouati Mahmoud, Boumahra et Bouchegouf. La surface réservée pour la plantation de tomate industrielle pendant la saison agricole 2011/2012 est de l'ordre de 3000ha contre 2 700 ha l'année d'avant. La production de tomates a dépassé les 2 millions de quintaux en 2012 avec un rendement de 600 quintaux à l'hectare [11].

Pour les cultures fourragères, la superficie totale réservée pour la campagne 2006/2007 est de 13 574 ha, soit 7,24% de la SAU en 2007. Les fourrages naturels occupent des superficies relativement plus importantes que les fourrages artificiels avec une superficie de 919 ha en 2007, bien qu'ils ont eu tendance à s'étendre, les superficies allouées aux fourrages artificiels. Ils ont connu une certaine stagnation au cours de la même période, elles ne dépassent pas le seuil de 5 655 ha [12].

Tableau 01: Type de culture, les superficies agricoles et la surface irriguées en 2009(DSA,2012)

Commune	Type de culture		Surface (ha)	Fourrage (ha)	Culture maraîchère	Culture maraîchère superficie (ha)	Surface totale irriguée (ha)
Guelma	Céréales	Blé dur	30	Fourrage naturelle = 3	Pomme de terre	02	650
		Blé tendre	3		Tomate maraichère	01	
		Orge	2		Salade	0,5	
		Avoine	0		Oignon sec	01	
					Piment et poivron	02	
El-Fedjoudj	Céréales	Blé dur	30	Orge + avoine = 220 Fourrage naturelle = 120	Pomme de terre	40	290
		Blé tendre	3		Tomate maraichère	12	
		Orge	2		Salade	05	
					Petit pois	15	
					Oignon sec et vert	16	
					Piment et poivron	18	
					Tomate industrielle	80	
Héliopolis	Céréales		53	/	Maraîchère	30	96
MdjezAmar	Céréales	Blé dur	652	/	Pomme de terre	62	540
		Blé tendre	120		Oignon sec et vert	09	
					Petit pois	06	
					Courgette	02	
					Salade	02	
					Haricot vert + blanc	40	
		Orge	80		Ail	02	
					Pastèque	10	
					Melon	30	
					Concombre	01	
Fève vert	50						
		Tomate industrielle	70				

I.7. Type de sol :

La surface du sol constitue une zone d'échange importante, elle fait évoluer et introduire la pollution en zones profondes. La région de Guelma est caractérisée par des alluvions anciennes constituée de galets ronds assez volumineux noyés par places dans les limons rougeâtres et par des alluvions récentes constitués de limons et de cailloux roulés du fond des vallées de galets et des graviers calcaires parfois à ciments marneux [13].

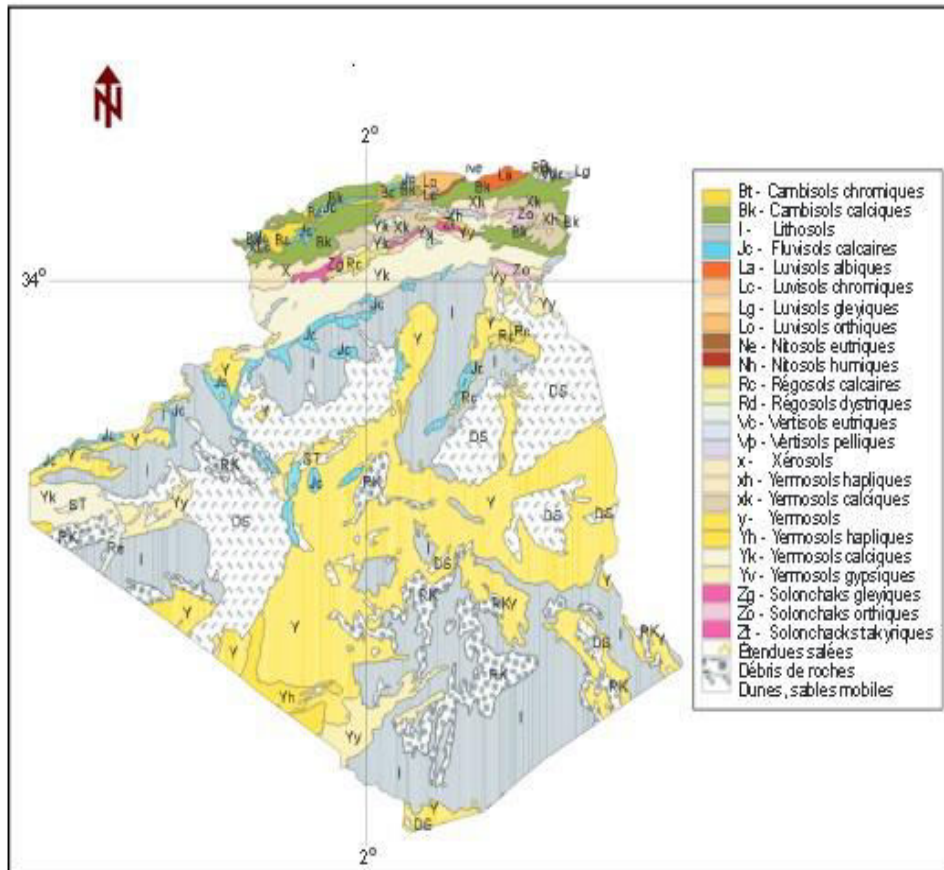


Figure05: Carte des sols dominants de l'Algérie Echelle: 1:5 milliers ; Source: DSMW-FAO-UNESCO.

Conclusion :

La région d'étude à vocation particulièrement agricole, constitue, du point de vue géographique, un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum El Bouaghi et Tébessa). Le tissu industriel est peu développé mais susceptible de connaître un développement sur plusieurs filières économiques agroalimentaires surtout.

La plus grande partie de cette région est ainsi constituée par une profonde dépression, le miocène moyen et le miocène supérieur représentés par des sédiments lagunaires, lacustres et fluviaux continentaux, se sont déposés dans cette dépression. Le réseau hydrographique qui se caractérise par l'irrégularité de son débit est formé par essentiellement par oued Seybouse qui traverse cette dépression d'Ouest en Est.

Les assises gréseuses du Numidien supérieur qui constituent une partie de contreforts du djebel Mahouna portent quelques forêts de chênes lièges et de chêne zen. Les calcaires travertineux formant mamelons entre la vallée et la montagne, au Sud de Guelma, sont recouverts de broussailles où dominant le lentisque et surtout l'olivier. De beaux pâturages et de belles prairies existent sur les limons pliocènes, quaternaires et récents qui occupent le fond de la vallée de la Seybouse.

Chapitre II : Ressources hydriques

II.1. Ressources hydriques :

La connaissance des ressources en eau est la condition nécessaire pour une bonne gestion. Les instruments de gestion sont un outil indispensable pour l'organisation des institutions juridiques, économiques et administratives de ladite gestion [14].

Les ressources en eau en Algérie proviennent des eaux de surface, des eaux souterraine renouvelables et non renouvelables (ou faiblement) et des eaux conventionnelles.

Suite à sa situation géographique, le bassin 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 humides. Ces crues favorisent l'érosion des sols à l'amont du sous bassin et provoquent des inondations à l'aval. Par ailleurs, l'occurrence d'épisodes secs de durées plus ou moins longues est également une donnée structurelle essentielle de régimes hydrologiques de la production agricole en mesure de contribuer à la satisfaction des besoins nutritionnels d'une population en croissance rapide.

II.1.1. Les eaux de surface :

D'après les informations recueillies de 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.

-1. Oued Seybouse qui traverse la plaine de Guelma ; Bouchegouf sur plus de 45 Km du sud au Nord-Est avec un apport total estimé à 408 Hm³/an à la station Boudaroua. Il reçoit les écoulements de ses principaux affluents issus des versants Nord et Sud de la vallée (oued Bradaa, oued Boufar, oued Halia, oued Bou Sorra, oued Zimba).

-2. Oued Bouhamdene qui prend naissance au niveau la commune de Bouhamdene à l'Ouest de la wilaya avec un apport de 96 Hm³/an à la station Medjez Amar II.

-3. Oued Charef prend sa source au sud de la wilaya son apport est estimé à 107 Hm³/an à la Station Medjez Amar I.

Sur l'ensemble du bassin de la Seybouse, il a été initié une politique qui a permis la réalisation d'ouvrages hydrauliques permettant la régularisation d'une partie importante des eaux d'écoulement superficiel. Mais cette mobilisation reste encore insuffisante et a obligé les pouvoirs publics à recourir aux transferts entre les bassins limitrophes à travers des barrages existants ou à construire.

Ainsi, deux grands barrages (Hammam Debagh sur l'oued Bouhamdane) le volume totale est de 220 hm³ dont 55 hm³ représentent le volume régularisé destiné à l'irrigation du périmètre Guelma-Boucheouf de 10 000 ha et Medjez El Bgar sur l'oued Cherf d'un volume totale de 2,861 hm³ avec un volume régularisé est 1,90 hm³ destiné à l'irrigation du périmètre de 400 ha sont en exploitation. Un autre barrage a été programmé pour 2013 et destiné à l'irrigation : KoudiatHaricha (oued Cherf) au niveau de la commune de Sellaoua, avec une capacité de 80 hm³, et un volume régularisable de 60 hm³.

Tableau 02: Répartition des capacités superficielles par type.

Ressource en eau	Capacité théorique	Capacité existante
Barrage de Bouhamdane	220 millions m ³ .	172 millions m ³ .
Medjez-Beggar (Ain Makhlouf)	2,68 millions m ³ .	
21 Retenues collinaires	0.65 millions de m ³ .	
Capacités de stockage (réservoirs et châteaux d'eau) ; 27 dont 15 en service	0, 73 hm ³ .	

II.1.2. Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique du bassin. Elles présentent des avantages certains sur le plan de la couverture des besoins par rapport aux eaux de surface, en raison de leur régularité et de leurs faibles couts de mobilisation comparativement aux eaux de surface. Il s'agit aussi d'une ressource moins vulnérable aux aléas climatiques et à la pollution et mieux répartie géographiquement.

Ces ressources en eau souterraine constituent une des réserves accumulées depuis de longues années et une richesse qui se reconstitue d'année en année grâce à l'infiltration des eaux de pluie A l'échelle du bassin de Guelma, on peut distinguer plusieurs nappes caractérisées par une large répartition dans l'espace , contribuant ainsi 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 nappes, on peut citer la nappe alluviale de Guelma (Fig. 06) et la nappe de Hammam Bradaa.

A l'échelle étendue sur l'ensemble de la wilaya, on recense près de 1590 points d'eau dont 83 Forages qui présente une moyenne de 48 Hm³ destinés à l'AEP avec 62 Forages (87,5%) l'irrigation agricole avec 10 forages (8,3 %) et l'usage industrielle avec seulement 07 Forages (4,2%). Aussi nous relevons d'autres sources hydriques à usage divers à partir de 467 points traditionnels et 1040 sources en milieu rural. L'ensemble des eaux souterraines totalisent un volume mobilisé de 91,85 Hm³/an (Direction du Développement Agricole dans les Zones Arides et Semi Arides, 2010).

Tableau 03 : Répartition des capacités souterraines par type.

Désignation	Volume	Nombre	En million m ³ /An
Puits		22	0,80
Sources captées et/ou aménagées		19	1,30
Forages (AEP + Irrig. Industrielle)		78	20
Ensemble		119	22,10

Remarque:

- ❖ Nombre de sources non aménagées : 300.
- ❖ Volume produit : 9 millions m³/an.

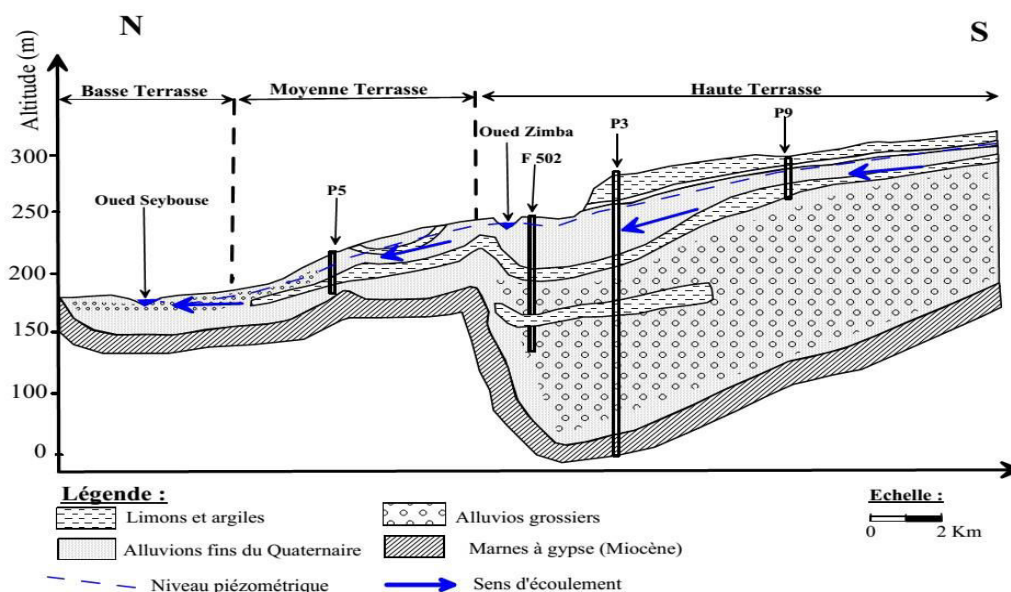


Figure 06: Coupe Hydrogéologique N-S dans la plaine de Guelma.

II.1.3. Ressources en eau non conventionnelle :

La station d'épuration STEP de Guelma existante couvre actuellement 32000 m³/j d'eau épurée soit 12 hm³/an du chef-lieu de la commune. L'utilisation de cette eau recyclée rejetée au niveau d'oued Seybouse est une opportunité afin d'augmenter la superficie irrigable des zones à haute potentialité agricole non ciblées par l'étude initiale du périmètre Guelma-Boucheougouf (Bled Gaffar, Khezaras, Ksar Laatache) à 1700 Ha [15].

II.2. Etude des debits :

La carence en matière de mesure hydrométrique se fait réellement sentir de fait que les oueds ne sont plus équipés de stations jaugeage dans le bassin de la moyenne Seybouse. L'oued Seybouse dans sa partie amont reçoit les deux artères principales, l'oued Bouhamdane et oued Charef, les apports de ces affluents semblent, auparavant, les plus importants pour l'oued Seybouse. Cependant, après la mise en eau du Barrage Hammam Debagh, nous remarquons que seules les eaux de l'oued Charef alimentent la Seybouse. La construction de cet ouvrage a entraîné une diminution des apports à la Seybouse, ce qui explique, d'autre part, l'absence de jaugeages au niveau des Oueds. Pour pallier à cette lacune nous avons axés notre travail sur le traitement des données hydrométriques assez anciennes. Nous intéressons d'étudier les moyennes mensuelles et annuelles des débits mesurés en se basant sur une série de données allant de 1968/1969-2006/2007 à la station de jaugeage de Medjez Amar II (oued Bouhamdane) et 1988/1989-2001/2002 à la station de Rochefort (oued Charef) (Tableau 04).

Tableau 04: Stations hydrométriques du bassin versant de la Seybouse dans sa partie amont.

Nom de la station	Oued	Code	Coordonnées			Superficie (Km ²)
			X	Y	Z (m)	
Medjez Amar II	Bouhamdane	14-03-01	912.225	358.850	270	1105
Moulin Rochefort	Charef	14-02-02	922.350	319.800	710	1710

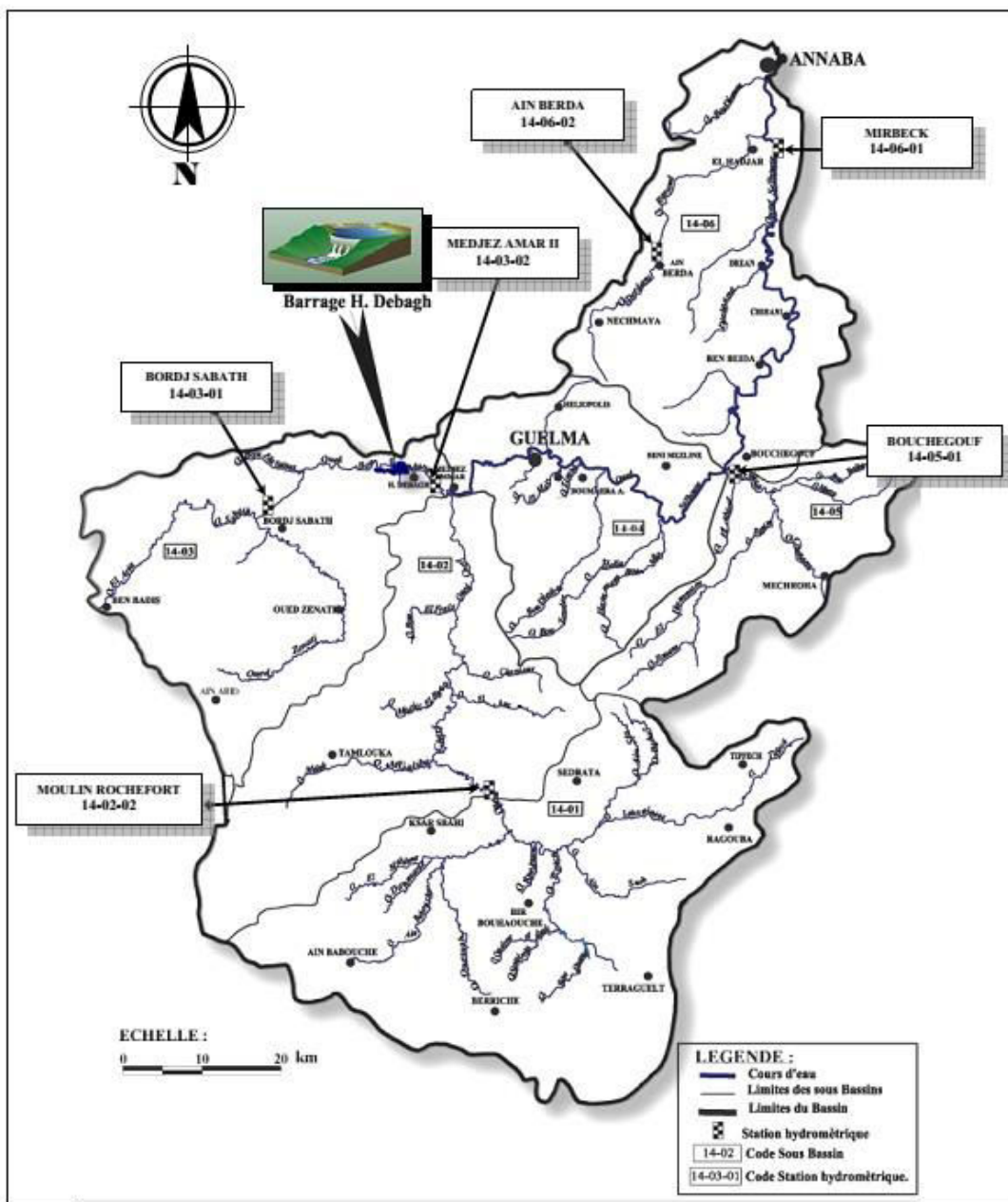


Figure 07: Situation de stations hydrométrique sur le bassin versant de la Seybouse [16].

II.2.1. Débits moyens mensuels :

Au pas de temps mensuel, les valeurs de temps mensuels (Tableau 05) ont permis d'établir l'illustration graphique de l'évolution mensuelle de l'écoulement des oueds (Figure 08). La courbe obtenue permet de visualiser une certaine irrégularité de l'écoulement marqué par un débit maximum moyen à Rochefort de l'ordre de $1,194 \text{ m}^3/\text{s}$ enregistré au début du mois de Janvier, un minimum est observé au mois d'Août ($0,09 \text{ m}^3/\text{s}$).

Tableau 05: Débits moyens mensuels en m³/s(oued Cherf-oued Bouhamdane) ANRH.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
Oued Charef	0.281	0.356	0.428	1.191	1.194	1.040	0.831	0.390	0.629	0.216	0.135	0.09
Oued Bouhamdane	3,73	4,52	4,98	9,11	13,05	12,03	11,97	9,59	3,55	3,51	2,82	3,10

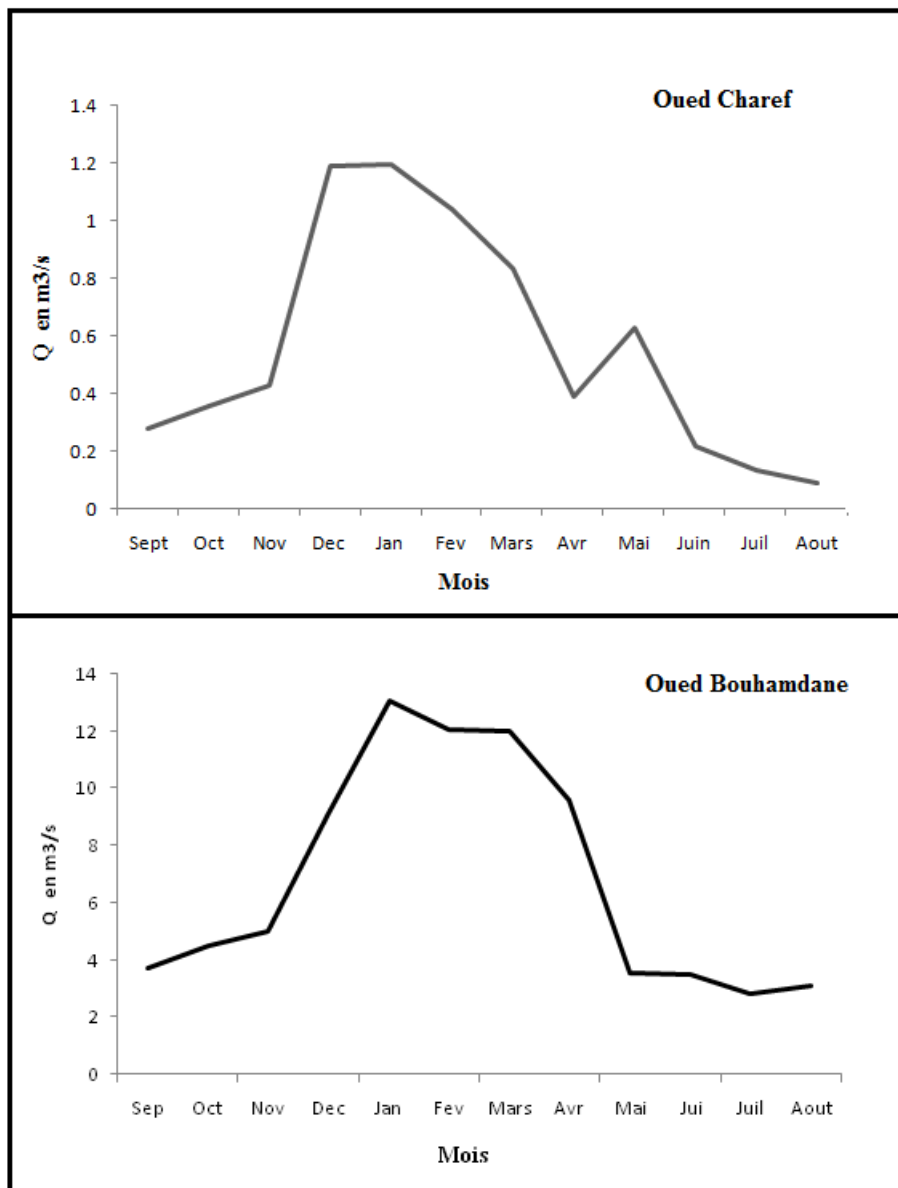


Figure 08 : Variations des débits moyens mensuels des deux principaux affluents de la Seybouse amont.

Pour le débit moyen mensuel du bassin versant de l'oued Bouhamdane, il se caractérise par un minimum correspond au mois de juillet (2.82m³/s) et un maximum situé en Janvier (13.05m³/s) La figure 08 qui représente la variation mensuelle des débits moyens, montre clairement que la période des hautes eaux est marquée au cours de 05 mois successifs : Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril, du fait de l'importance des précipitations à cette période, alors la période de basse eaux commence dès le mois de Mai jusqu'à Novembre.

II.2.2. Débits moyens annuels :

Pour montrer les années déficitaires et excédentaires au niveau de l'oued Bouhamdane et l'oued Charef, l'étude hydrométrique à cette échelle de temps pendant les périodes considérées a permis d'établir les variations interannuelles des débits moyens annuels Tableaux 06 et 07 .

Tableau 06 : Débits moyens annuels d'oued Cherf (1988/1989 à 2001/2002).

Année	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02
Q (m ³ /s)	0,77	0,68	0,61	0,45	0,33	0,19	0,59	0,22	0,29	0,1	0,17	0,14	0,39	0,9

Tableau 07 : Débits moyens annuels d'oued Bouhamdane (1968/1969 à 2006/2007).

Année	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81
Q (m ³ /s)	0,60	8,84	4,87	10,19	16,10	1,08	1,32	2,97	4,31	2,44	5,62	1,23	8,19
Année	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94
Q (m ³ /s)	5,26	5,06	15,29	22,44	1,84	15,77	0,35	0,41	0,57	0,88	0,63	12,87	4,59
Année	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07
Q (m ³ /s)	12,67	10,43	3,63	2,82	7,37	10,53	10,36	11,34	11,19	10,92	8,74	6,15	6,53

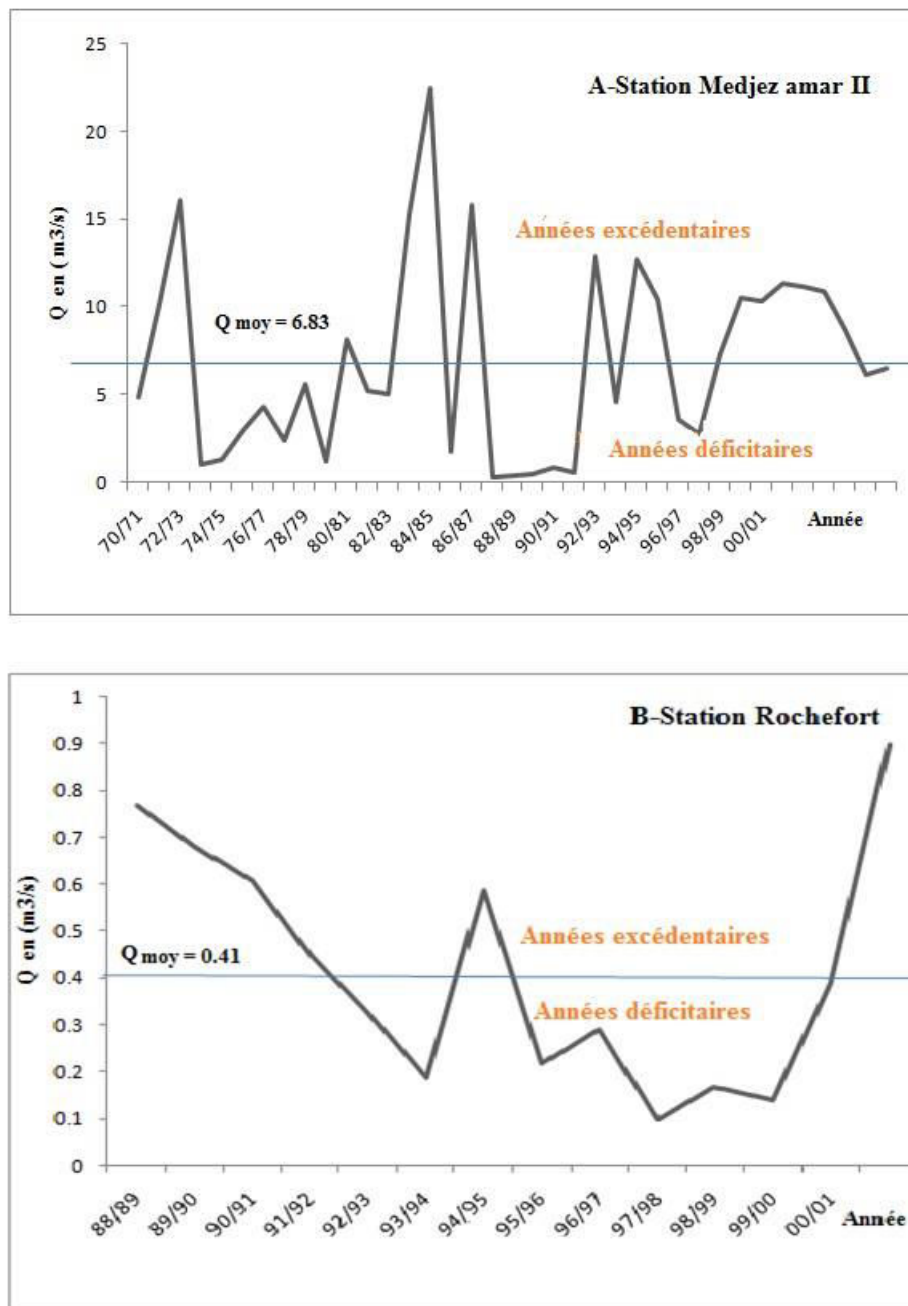


Figure 09 : Variation des débits moyens annuels (oued Charef-oued Bouhamdane).

La figure des débits moyens annuels des différents sous bassins de la Seybouse (Fig. 09) montre une nette variabilité du régime d'écoulement. Ainsi à la haute Seybouse (Station Moulin Rochefort) où le climat est aride on note pour la période 1988-2002 un maximum en 2002. Au moyen Seybouse (Station Medjaz Amar II) on observe une nette irrégularité dans le régime hydrologique : Alternance des périodes sèches et des périodes humides. Pour la période 1968-2007, la période sèche s'installe de 1975 à 1982. Le maximum du débit est atteint en 1984 soit $22.47 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le débit moyen annuel de la Seybouse et de ses principaux affluents s'accroît progressivement d'amont en aval, la confluence de l'oued Cherf et Bouhamdane (principaux affluents) forme l'Oued Seybouse, ce dernier écoule $6.06 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une aire de drainage qui est la somme de trois bassins partiels (Cherf amont, Cherf aval et Bouhamdane) de 4037 km^2 , alors que le sous bassin de l'oued Mellah avec 550 km^2 , fournit $3.41 \text{ m}^3/\text{s}$ soit plus de 50% du débit de la Seybouse à Medjaz Amar. Après la confluence de l'Oued Mellah et l'Oued Seybouse, ce dernier à un débit de $9.07 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une aire de réception de 4849 km^2 . La Seybouse à Merbek écoule $13.2 \text{ m}^3/\text{s}$. [17].

Il y a lieu à noter que La construction du barrage entraîne automatiquement une perte d'eau conséquente pour l'Oued. A titre indicatif, les eaux de l'Oued Bouhamdène n'alimentent plus la Seybouse. Par ailleurs, la baisse des précipitations remarquées ces dernières années sur la région d'étude entraîne une perte conséquente des débits de l'Oued ce qui a favorisé la dégradation de la qualité des eaux des cours d'eaux. En réalité l'Oued reçoit également des eaux usées des villes et villages limitrophes (Guelma, Bouchegouf, Drean, El Hadjar...etc.) et les rejets industriels. Les eaux polluées étant plus importantes en quantité font que les phénomènes de dilution ne se produisent pas et se traduisant par une dégradation de la qualité des eaux [18].

II.2.3. La variation de l'écoulement en fonction des précipitations :

Les représentations graphiques relatives à la variation du débit d'écoulement de l'oued Cherf et l'oued Bouhamdane en fonction des précipitations aux pas de temps mensuel (Fig. 10) ont mis en évidence l'étroite liaison de l'écoulement de l'oued et la pluviométrie malgré la semi aridité de la région qui se caractérise par une très forte évaporation. Cette liaison est ainsi conservée en période estivale, on considère que le régime d'écoulement est de type pluvial.

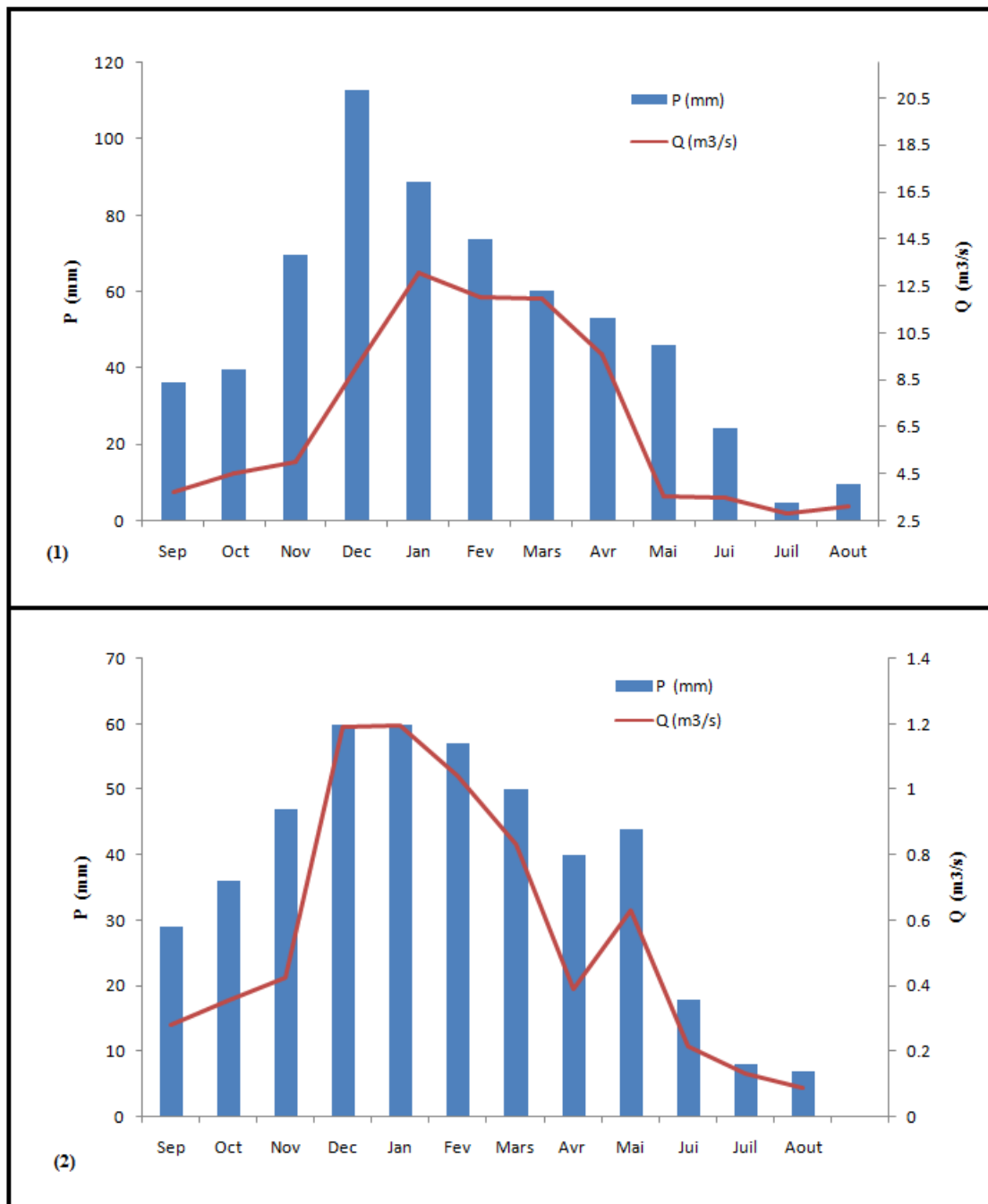


Figure 10: Variation des débits mensuels et des précipitations : (1)- Station pluviométrique Hammam Debagh, (2)- Station pluviométrique Sedrata.

II.3. Type de régime :

L'étude de l'écoulement des eaux de surface nous permet de connaître leurs régimes de circulation, premier véhicule d'éléments polluants. L'écoulement superficiel demeure un facteur très marquant de l'étude d'une éventuelle pollution, car la disponibilité potentielle de l'eau est étroitement liée à son réseau hydrographique et au comportement hydrologique d'un cours d'eau ou au régime pluvial.

A l'instar des oueds de l'Algérie, la Seybouse possède un régime pluvial méditerranéen, Les précipitations hivernales tombent essentiellement sous forme de pluies, et leur écoulement est important et immédiat. L'évaporation au niveau du sol et l'évapotranspiration étant très faible en hivers, le coefficient d'écoulement (rapport volume d'eau écoulé/volume précipité) est élevé, et la période des hautes eaux se situe de la fin de l'automne à la fin de l'hivers. L'étiage du printemps à l'automne est dû évidemment à des pluies moins abondantes, mais aussi à l'évaporation et transpiration intenses: le coefficient d'écoulement est réduit. Le régime d'un cours d'eau est défini par le coefficient moyen des débits correspondant aux rapports des débits mensuels au module de la période considérée. Il s'exprime mathématiquement par:

$$\text{CMD} = \frac{Q_i}{\bar{Q}}$$

Avec :

Q_i : Débits moyens mensuels en m^3/s .

\bar{Q} : La moyenne.

En effet, le coefficient moyen des débits (CMD) est supérieur à la valeur 1 qui est le module, dans ce cas, il correspond à la période des hautes eaux. Si le CMD est inférieur à 1, donc c'est la période de basses eaux.

La représentation graphique des Coefficients Mensuels de Débits (CMD), établie pour les deux stations, permet de visualiser le régime de la Seybouse à travers ses deux principaux affluents (Fig. 11). En effet, le régime, à alimentation essentiellement pluviale de tous les oueds, souligné par des courbes en cloche dont le maximum se situe le plus souvent en Janvier, comporte des hautes eaux de Décembre à Avril et des basses eaux de Mai à Novembre.

Tableau 08 : Variation du coefficient mensuel de débit d’oued Cherf de1988/1889 à 2001/2002 et d’oued Bouhamdane de 1968/1969 à 2006/2007- ANRH.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
CMD OuedCharef	0,501	0,635	0,764	2,126	2,132	1,857	1,483	0,696	1,123	0,385	0,241	0,160
CMD OuedBouhamdane	0.546	0.661	0.729	1.333	1.910	1.761	1.752	1.404	0.519	0.513	0.412	0.453

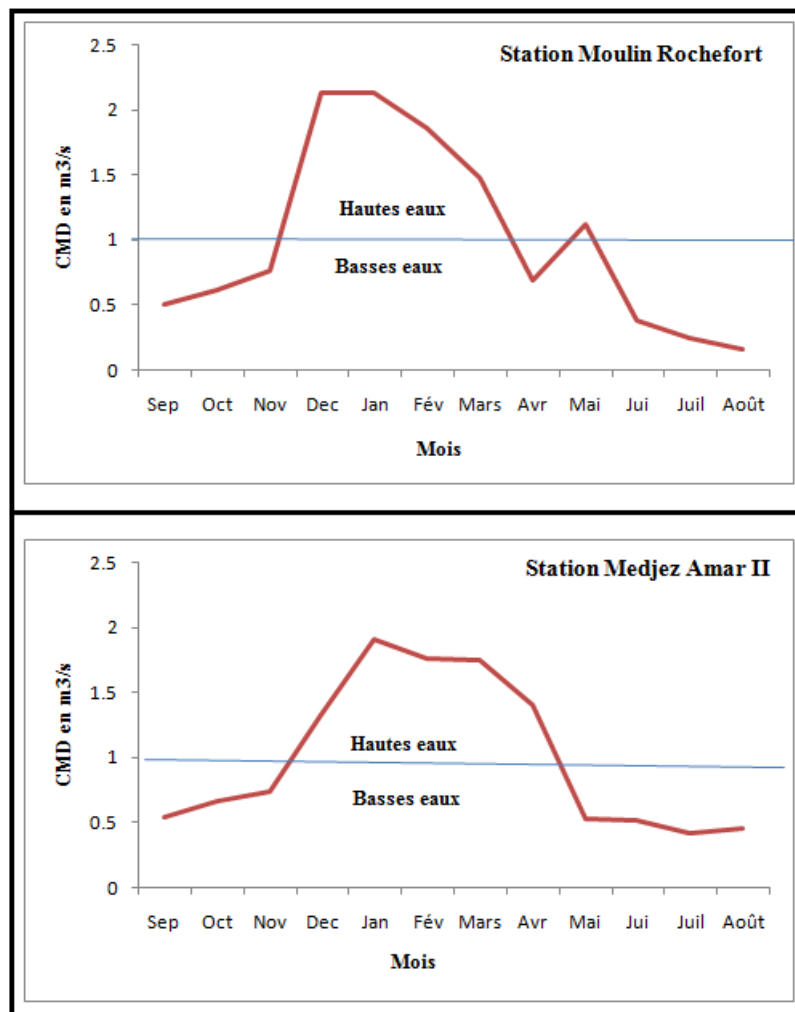


Figure 11 : Courbes des coefficients moyens des débits (CMD) des principaux affluents de l’oued Seybouse en amont : (1)- Oued Charef à moulin Rochefort: 1988/89—2001/02 ; (2)- Oued Bouhamdane à Medjez Amar II: 1968/69 — 2006/07.

Conclusion :

L'étude hydrologique a montré un régime typique méditerranéen, caractérisé par l'abondance pluviale à très forts débits hivernaux, donc des fortes crues, d'une part, et d'autre part, par une saison sèche fortement prononcée, donc des étiages. Le module annuel, ainsi que les différents coefficients, mettent en évidence des fluctuations hydro climatiques, en relation avec un climat semi-aride conclu par la synthèse climatologique. Le bilan hydrologique a mis en évidence l'importance des volumes d'eau acheminés, notamment avant la construction du barrage de Hammam Debagh, en amont qu'en aval, confirmant ainsi les paramètres morphométriques du bassin et la nature lithologique qui regroupe deux grandes unités différentes (formations essentiellement carbonatées perméables et un substratum imperméable entre l'argile et le gypse). L'étude fréquentielle des débits extrêmes a montré qu'ils ne sont pas régis par une loi déterminée.

Chapitre III : Hydroclimatologie

III. Hydroclimatologie :

Les facteurs climatiques jouent un rôle important vis-à-vis les eaux souterraines où le bilan hydrologique d'une région dépend d'abord de son climat suivi de sa topographie et de sa géologie. Le climat de la région de Guelma est de type continental semi-aride, caractérisé par une variation saisonnière bien marquée. Il se manifeste par une longue période estivale sèche et chaude et une saison hivernale humide. Pour comprendre le climat de la région on s'est référer sur la station météorologique de Guelma équipée pour calculer le bilan hydrique.

Tableau 09: Station climatologique utilisé dans l'étude du climat de la région.

Station	Coordonnées			Paramètres mesurés	Période d'observation
	Latitude	Longitude	Altitude (m)		
Guelma	36°27'23,75" N	7°28'44,91" E	223	Précipitation température évaporation	1990-2013

III.1. La température :

La température constitue un facteur climatique très important, elle joue un rôle dominant dans l'estimation de l'évapotranspiration. En plus, la température influe aussi sur d'autres paramètres tels que l'enneigement et sa durée ainsi que la répartition de la végétation [19].

La période observée s'étend de 1990 à 2013. Les données du tableau 10 et les figures 12 et 13 montrent :

À l'échelle mensuelle, la température moyenne est élevée pendant la période sèche allant du mois de Juin à Septembre avec un maximum de l'ordre de 29,63°C (station de Guelma) enregistré au mois de Juillet. Par contre, la période hivernale (Décembre à Février) est caractérisée par des valeurs plus basses variant de 6,47 et 8,88 °C.

Tableau 10 : Températures moyennes mensuelles en °C (1990-2013).

Station	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
Guelma	8,88	9,52	13,23	16,4	21,07	25,92	29,63	29,56	24,75	20,17	14,05	10,03

Source : O.N.M Guelma (2013)

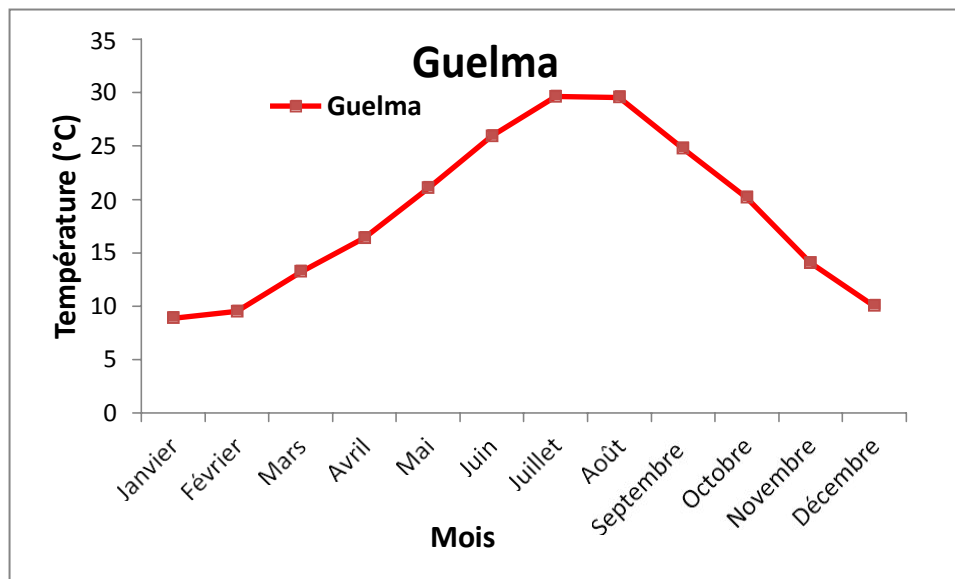


Figure 12 : Variation de la température moyenne mensuelle (1990-2013) pour la station de Guelma.

- À l'échelle annuelle : les températures observées montrent une fluctuation thermique oscillent de 16,35 à 21,88 °C. La moyenne annuelle est de l'ordre de 18,60 °C.

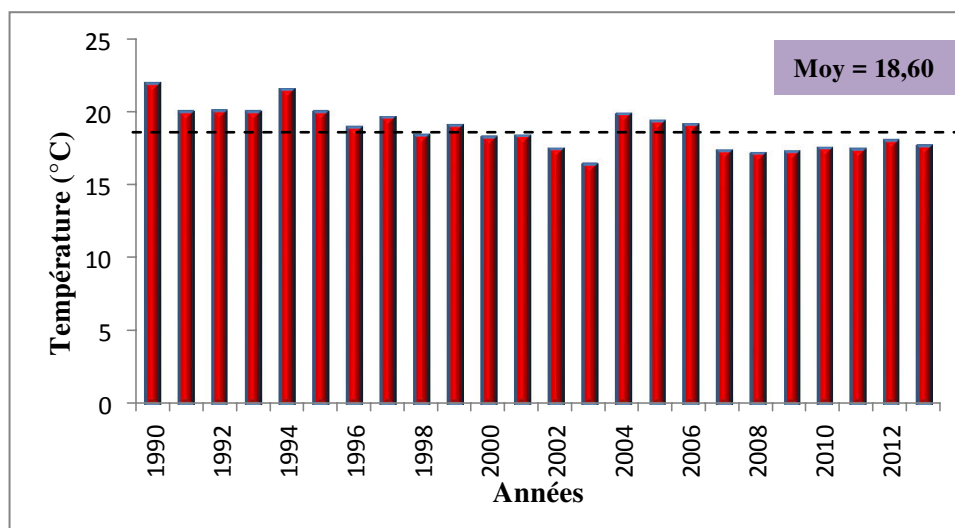


Figure 13 : Températures moyennes interannuelles à la station de Guelma (1990-2013).

III.2. L'évaporation :

L'évaporation se définit par la conversion de l'eau de l'état liquide à l'état de vapeur quel que soit le facteur mis en jeu (vent, humidité, etc.). Les données de l'évaporation mensuelle interannuelle sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau de la station de Guelma.

Ces valeurs sont consignées dans le tableau 11, leur répartition est illustrée dans la figure 14. Ces derniers montrent une variation saisonnière bien notée avec une évaporation minimale de l'ordre 35,42 mm, observée au mois de Janvier (la période hivernale). Cependant, l'évaporation maximale est marquée pendant la période sèche avec une valeur de 255,61 mm au mois de Juillet. L'évaporation moyenne annuelle est de l'ordre de 116,65mm.

Tableau 11 : Evaporation moyenne mensuelle en mm (1990-2013).

Station	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juit	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
Guelma	35,42	40,34	66,78	84,6	131,99	199,33	255,61	239,36	149,21	101,19	57,66	38,31

Source :O.N.M Guelma (2013).

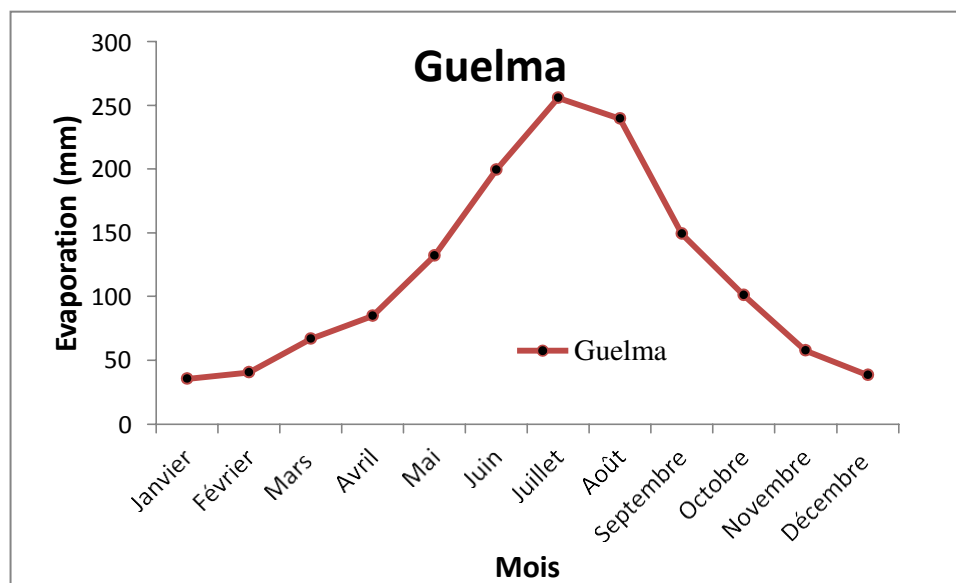


Figure 14 : Variation de l'évaporation moyenne mensuelle : Station Guelma (1990-2013).

III.3. Les précipitations :

Les précipitations désignent tout type d'eau qui tombe sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle), ainsi que quelques précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...). Elles constituent l'unique « entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux qui sont les bassins versants, comme elles constituent un paramètre hydro-climatologique d'une grande importance dans leur fonctionnement [20].

III.3.1. Précipitation moyenne mensuelle :

La répartition mensuelle des précipitations au cours de l'année influe aussitôt sur le régime des écoulements et les apports des nappes. Le tableau 12 et la figure 15 révèlent que le mois de Décembre est le plus pluvieux avec un maximum de 88,36 mm obtenu à la station de Guelma.

Tableau 12: Précipitation moyenne mensuelle.

Station	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Guelma	80,99	68,27	60,82	55,52	50,09	17,18	4,28	12,65	39,78	41,47	70,16	88,36

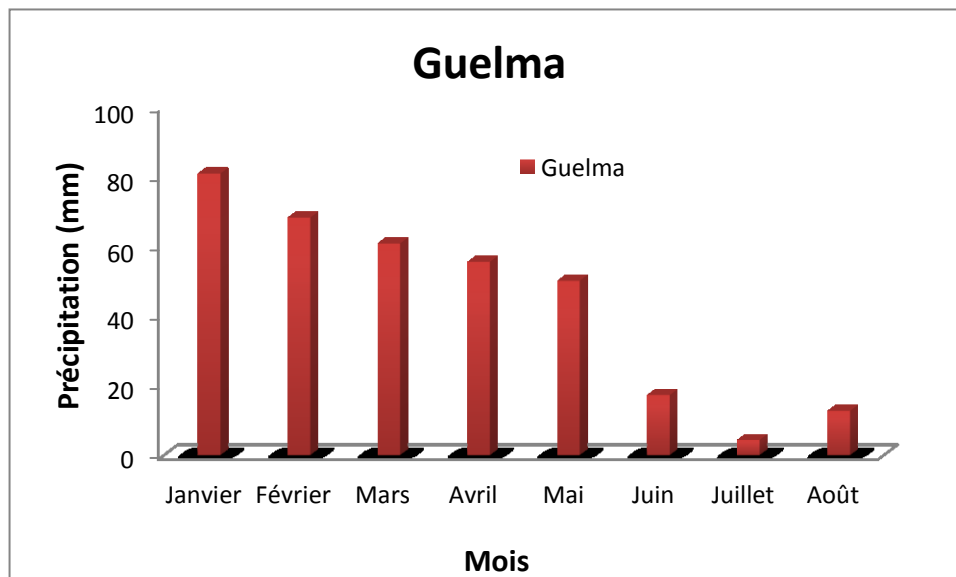


Figure 15 : Variation des précipitations moyennes mensuelles.

III.3.2. Précipitation moyenne annuelle :

L'analyse de la courbe des variations inter annuelles des précipitations de la station Guelma pendant la période 1990-2013 (Fig. 16), montre que les années 2004 et 2003 sont les plus pluvieuses avec un maximum atteint 955,8 mm/an obtenu à Guelma, alors que les années 2001 et 2008 sont considérées comme les plus sèches avec une valeur minimale de 380,6 mm/an, sachant que la moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 589,62 mm/an pour la station de Guelma.

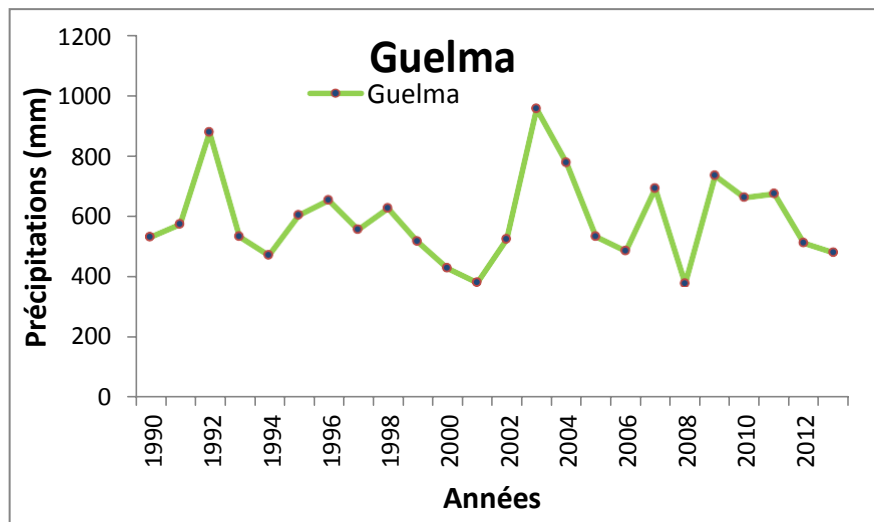


Figure 16: Variation interannuelle des précipitations pour la station Guelma (1990-2013).

Le coefficient pluviométrique représente le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne pour une station donnée. Plus ce coefficient est grand ($H > 1$) plus l'année correspondante est excédentaire [21]. Mathématiquement, il se traduit par l'équation :

$$H = \frac{H_i}{\bar{H}}$$

Avec :

H : Coefficient pluviométrique.

H_i : Pluviométrie de l'année donnée.

\bar{H} : Pluviométrie moyenne pour une période de n année.

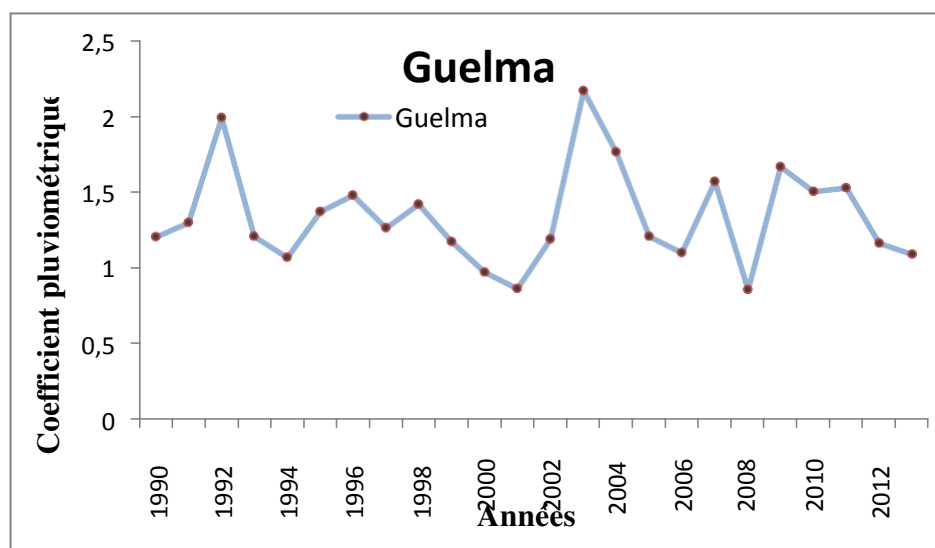


Figure 17 : Variation du coefficient pluviométrique - Stations de Guelma (1990-2013).

L'observation de la figure 17 a confirmé que les années 2001 et 2008 sont les plus déficitaires où le coefficient pluviométrique $H < 1$.

III.3.3. Répartition saisonnière des précipitations :

La subdivision des pluies de l'année pour chaque saison est faite suivant les saisons agricoles (Automne : (Sep, Oct, Nov), Hiver : (Déc, Jan Fév), Printemps : (Mar, Avr, Mai), Été : (Juin Juill, Aou). On observant le tableau 13 et la figure 18, nous voyons que les deux saisons printanière et hivernale sont les plus pluvieuses avec des précipitations de l'ordre de 404,04 mm soit 68,52 % des pluies annuelles. On note que la saison estivale est la plus sèche avec un minimum de 34,11 mm soit 5,78 %.

Tableau 13 : Répartition saisonnière des précipitations.

Saisons		Automne		Hiver		Printemps		Été	
Stations	Période	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Guelma	90/2013	151,41	25,67	237,61	40,29	166,43	28,22	34,11	5,78

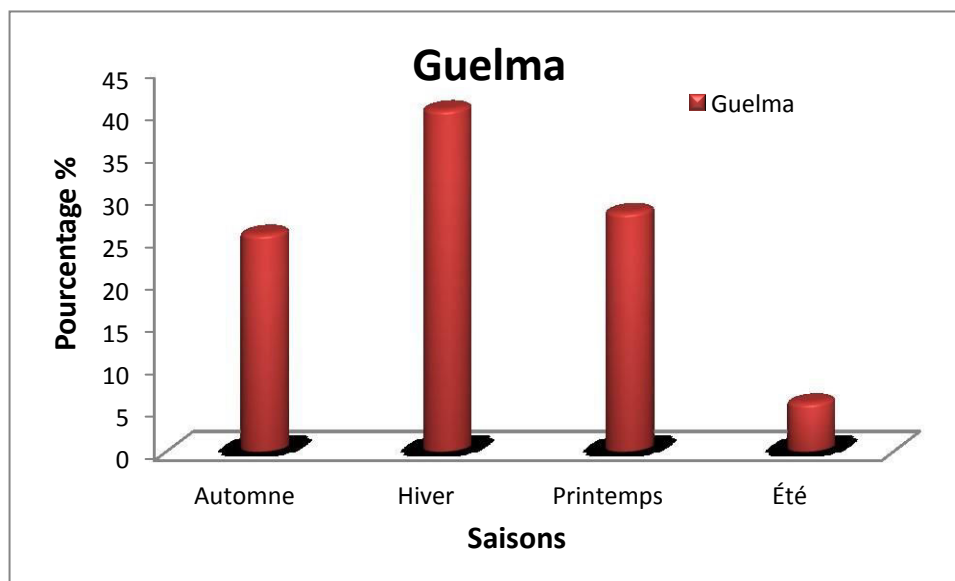


Figure 18: Répartition saisonnière des précipitations pour la station de Guelma.

III.4. Evapotranspiration :

L'évapotranspiration est une des composantes fondamentales du cycle hydrologique, elle représente la somme de l'évaporation directe qui s'effectue à partir des sols humides et des différents plans d'eau, et aussi de la transpiration des végétaux. On distingue :

- L'évapotranspiration réelle qui représente l'eau réellement perdue parcelle-ci sous forme de vapeur.
- l'évapotranspiration potentielle qui est l'eau susceptible d'être perdue dans les mêmes conditions quand elle n'est plus facteur limitant [22].

L'évaluation de ces paramètres est effectuée par des formules empiriques :

III.4.1. La formule de Turc (moyenne annuelle) :

Elle permet d'évaluer directement l'évapotranspiration réelle annuelle d'un bassin à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec :

P : précipitation moyenne mensuelle.

$L = 300 + 25T + 0.05T^3$.

T : température moyenne annuelle (°C). **ETR** : évapotranspiration réelle (mm).

Les résultats sont consignés dans le tableau 14 :

Tableau 14 : Calcul de l'ETR par la formule de Turc (annuel).

Station	P (mm)	T °C	L	ETR (mm/an)
Guelma	589,62	18,6	1086,74	539,54

III.4.2. la méthode de l'eau de C.W.Thornthwaite :

C'est une méthode du bilan hydrique du sol, dans laquelle on estime la réserve en eau facilement utilisable (RFU) exprimée en mm de hauteur d'eau. La quantité d'eau maximum stockée par le sol dépend, pour sa saturation, de la nature, de la composition lithologique et de l'épaisseur de la couche superficielle du terrain et du climat. Thornthwaite a admis que le sol est saturé quand il a absorbé une lame d'eau équivalente à 100 mm. Pour notre cas on prend une RFU de 100mm pour la station la station de Guelma.

Le calcul de l'ETR par cette méthode dite du bilan de Thornthwaite dépend de la valeur de cette (RFU). De ce fait, il existe deux cas [23].

- Si pour un mois, $P \geq \text{ETP}$ on pose que l'ETP = l'ETR, la quantité d'eau qui reste ($P - \text{ETR}$) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum 100 mm et on aura dans ce cas un excédent en eau (Ex) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace (I) vers la nappe, soit sous forme de ruissellement (R).
- Si $P < \text{ETP}$, la valeur de $\text{ETR} = P + \text{RFU}$ jusqu'à égalisation avec l'ETP.
- Si la RFU est nulle, on aura un déficit agricole (Da) ; $\text{Da} = \text{ETP} - \text{ETR}$ et l'ETR ne pourra affecter que la quantité d'eau.

Donc :

- **Si $P \geq \text{ETP} \Rightarrow \text{ETR} = \text{ETP}$**
- **Si $P < \text{ETP} \Rightarrow \text{ETR} = P + \text{RFU}$**

Tableau 15 : Bilan d'eau par la méthode C.W Thornthwaite à la station de Guelma (1990-2013).

Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	total
P(mm)	39,78	41,47	70,16	88,36	80,99	68,27	60,82	55,52	50,09	17,18	4,28	12,65	589,62
T (°C)	24,75	20,17	14,05	10,03	8,88	9,52	13,23	16,4	21,07	25,92	29,63	29,56	18,6
ETP(mm)	115,3	72,3	31,2	15	12,7	14,2	33,2	54,3	98,4	149,7	198,6	184,9	979,9
RFU (mm)	0	0	38,9	100	100	100	100	100	51,7	0	0	0	590,6
ETR (mm)	39,8	41,5	31,2	15	12,7	14,2	33,2	54,3	98,4	68,9	4,3	12,7	426,2
Déficit (mm)	75,5	30,8	0	0	0	0	0	0	0	80,8	194,3	172,3	553,8
Excédent (mm)	0	0	0	12,2	68,3	54	27,6	1,2	0	0	0	0	163,4

Le bilan hydrique de Thornthwaite (Tableau 15, figure 19) a montré que le déficit agricole (DA) se remarque à partir du mois de Juin et se poursuit au mois d'Octobre. La recharge de la RFU se reconstitue pendant le mois de Novembre et s'épuise au mois de Mai.

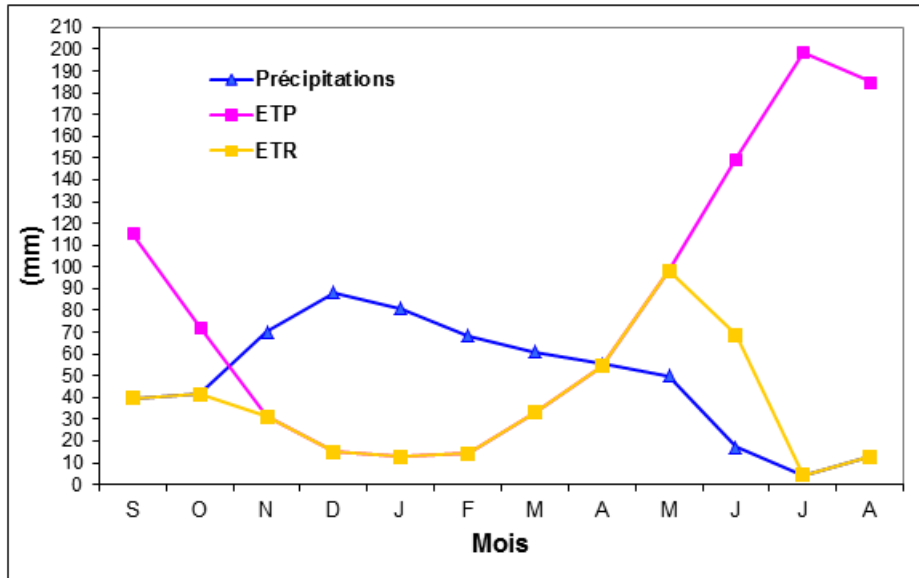


Figure 19: Bilan d'eau par la méthode de Cw.Thornthwaite (station : Guelma).

III.5. Estimation du ruissellement :

Le ruissellement peut être défini comme un phénomène physique d'écoulement non organisé de l'eau sur un bassin versant suite à des chutes de pluies. En 1961, Tixeront et Berkaloff ont donné une formule permettant de calculer une valeur approchée du ruissellement pour des précipitations ne dépassent pas les 600 mm :

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

Avec :

R : ruissellement.

P : précipitations.

ETP : Evapotranspirations potentielle calculée par la méthode de Thornthwaite.

La formule de Tixeront-Berkaloff modifiée par Romantchouken 1974 pour $P > 600$ mm, appliquée à la station de Guelma a donné les résultats trouvés dans le tableau 16.

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

Où : P : précipitation moyennes en mètre,

R : ruissellement en mètres cube.

Tableau 16 : Ruissellement par la formule de Tixeront-Berkaloff.

Stations	Tixeront-Berkaloff (mm/an)	Tixeront-Berkaloff modifié (mm/an)
Guelma	71,15	68,32

III.6. Estimation de l'infiltration :

Selon le bilan hydrologique, l'infiltration efficace peut être calculée par l'équation:

$$P = ETR + R + I$$

D'où : $I = P - ETR - R$

Avec :

I : infiltration (mm).

P : Précipitation annuelle moyenne (mm). ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

R : Ruissellement (mm).

Tableau 17: Bilan hydrologique.

Station	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
Guelma	589,62	979,9	426,2	68,32	95,1

D'après le bilan hydrologique (tableau 17), on note que :

- Pour une précipitation de 289,62 mm, on note une ETP très élevée de l'ordre de 979,9 mm et une ETR égale à 426,2 mm, contre des quantités d'eau de 68,32 mm ruisselées et 95,1 mm infiltrées.

III.7. Rythme climatique :

III.7.1. Diagramme pluviothermique :

Les travaux de Bagnoulset Gaussen constituent l'une des plus importantes tentatives visant à mettre en relation le couvert végétal et les données climatiques. Le bilan hydrique annuel étant considéré comme déterminant pour la végétation, il importe de connaître la longueur de la saison sèche.

Par définition sera biologiquement sec tout mois dont le total des précipitations P (mm) est égal ou inférieur au double de la température mensuelle moyenne exprimée en degré centigrade ($P \leq 2T$) [24].

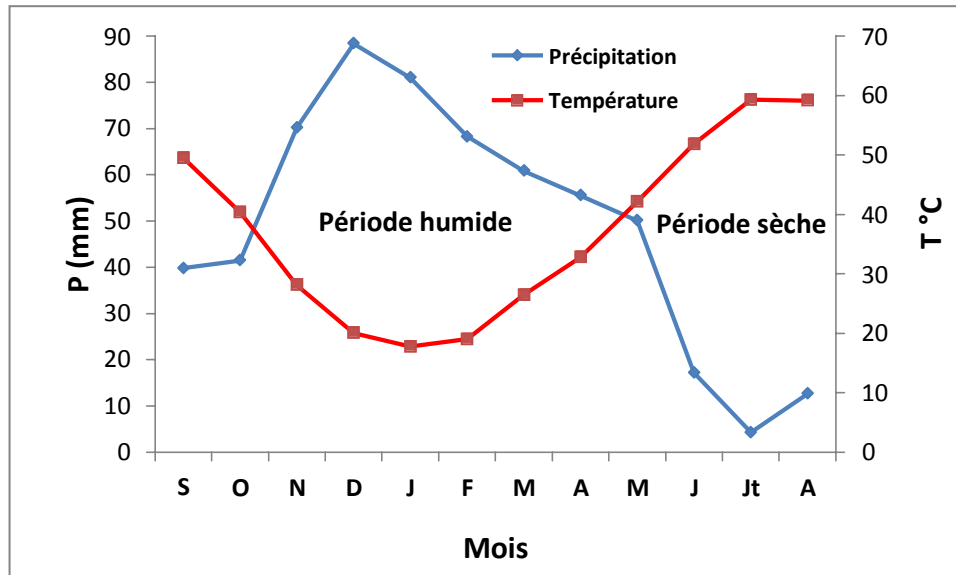


Figure 20 : Diagramme Ombrothermique - Station de Guelma (1990-2013).

La représentation graphique de ce diagramme (figure 20) montrent deux périodes, l'une chaude et sèche s'étale sur cinq mois, du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre et l'autre froide et humide s'étale sur sept mois, de la mi- Octobre jusqu'au mois d'Avril.

III.7.2. Indice de De. Martonne :

Pour définir le climat d'un bassin versant et évaluer son degré d'aridité, on fait appel à plusieurs indices, le plus utilisé est celui de De. Martonne [25]. établi en fonction des températures et des précipitations. Il est calculé par la formule suivante :

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

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

A : coefficient d'aridité.

Pour :

- $A < 5$: climat hyperaride.
- $5 < A < 7,5$: climat désertique.
- $7,5 < A < 10$: climat steppique.
- $10 < A < 20$: climat semi-aride.
- $20 < A < 30$: climat tempéré.

Station	Coefficient (A)
Guelma	20,61

Le calcul de l'indice de De Martonne indique de la zone d'étude appartient à un climat semi- aride caractérisé par une saison humide froide et une saison sèche chaude.

III.7.3. Climagramme d'EMBERGER :

Le quotient pluviothermique "Q₂" d'EMBERGER correspond à une expression synthétique subdivisele climat méditerranéen en cinq étages bioclimatiques, et capable de rendre compte de la sécheresse. Il est calculé à l'aide de la moyenne annuelle des précipitations (P en mm) et des températures. Pour cette dernière, elles sont prises en considération d'une part la moyenne des minimums du mois le plus froid "m", et d'autre part la moyenne des maximums du mois le plus chaud "M".

$$Q_2 = P.1000 \sqrt{\frac{(M + m).(M - m)}{2}}$$

D'où :

M : Température maximale du mois le plus chaud (°K). m : Température minimale du mois le plus froid (°K). P : Précipitation moyenne annuelle.

La région de Guelma présente un Q₂ = 64,99 ce qui correspond à l'étage bioclimatique semi- aride (Figure21).

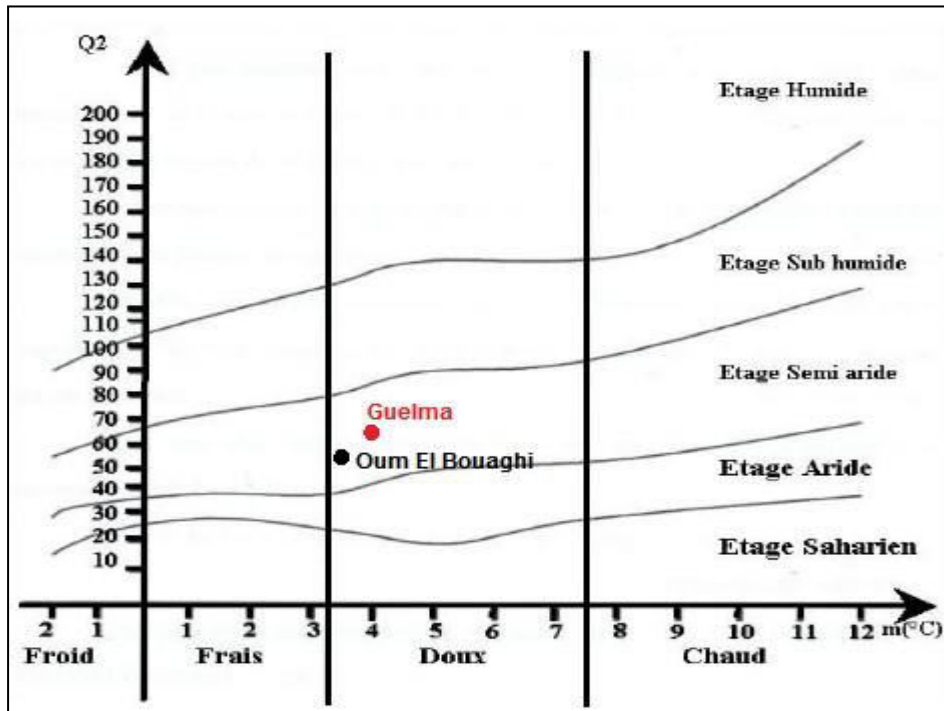


Figure 21 : Climagramme d'Emberger (Station : Guelma).

Conclusion :

La synthèse des données nous permet de conclure le suivant :

Le climat continental semi-aride de la région de Guelma est confirmé par le non homogénéité pluviométrique entre la saison sèche (faible précipitation) et la saison humide (forte précipitation) ; ce qui influe sur le bilan hydrique qui montre des valeurs très élevées de l'évapotranspiration réelle (72%, tandis que l'infiltration et le ruissellement représentent respectivement 16,12 %) et 14,63 % des précipitations enregistrées. La période de recharge s'effectue au mois de Novembre et commence à s'épuiser au mois de Mai.

Chapitre IV : Hydrochimie

IV.1. Introduction :

L'étude hydro chimique permet de connaître :

- Les critères physico-chimiques de la qualité des eaux superficielles pour l'irrigation ainsi que la relation géologie-chimie.
- L'origine des eaux souterraines, ainsi que leur potabilité et leur degré de pollution.

Cette étude est basée sur des analyses effectuées le long de l'oued Seybouse et ses principaux affluents. L'interprétation a pour but d'effectuer des comparaisons spatiotemporelles des éléments chimiques et de mettre en évidence les différents éléments pouvant jouer un rôle primordial dans leurs répartitions. Parmi les paramètres chimiques étudiés, on site :

Paramètres physico-chimiques mesurés in situ :

- L'oxygène dissous (O₂ dissous).
- La température (T°).
- Le potentiel d'Hydrogène (pH).
- La conductivité électrique (CE)
- Les éléments majeurs :
 - ❖ Les cations : Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺. Les anions: SO₄⁻², Cl⁻, HCO₃⁻
 - ❖ Les éléments nutritifs : NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻.

L'étude de l'évolution des différents éléments et paramètres chimiques et leurs origines est mise en évidence par des courbes, des histogrammes et des diagrammes.

IV.2. Méthodes d'analyses :

Avant d'entamer l'interprétation des résultats, nous essayons à travers un aperçu de donner les méthodes analytiques utilisées lors de la partie expérimentales de notre travail. Après mesure in situ de la conductivité, pH, température par un multi paramètre de terrain du type WTW, les échantillons prélevés sur 2 périodes (Fig. 22) sont placés dans des bouteilles en plastique et conservés à une température de 4°C.



Figure 22: Situation des points d'échantillonnage.

Les teneurs de calcium, sodium et potassium sont déterminées par spectrophotométrie d'émission de flamme JENWEY-PEP7. Les chlorures sont déterminés par volumétrie selon la méthode de Mohr, pour la dureté calcique totale elle est obtenue par Complexométrie [26].

La dureté magnésienne est déterminée par différence de la dureté calcique, cette dernière est obtenue par spectrophotométrie à flamme. Le dosage des bicarbonates est réalisé par titrimétrie, on a travaillé sur un volume précis d'échantillons (50 ml) sur lequel on a fait agir une solution de concentration connue d'acide sulfurique H_2SO_4 (1 /50) N, la réaction qui se produit est due à la neutralisation des ions de bicarbonate par les ions H^+ de l'acide sulfurique.

La méthode néphélométrique est utilisée pour la détermination de la teneur des sulfates avec un spectrophotomètre UV visible de marque BEKMAN DU 520 réglé à une longueur d'onde de 420 nm et étalonné avant chaque détermination de concentration des sulfates qui est reliée à la turbidité de la suspension ($BaSO_4$).

Le dosage des ortho phosphates, nitrite, nitrate et ammonium est réalisé par une méthode colorimétrique à l'aide d'un coffret test spectre quant la lecture est faite à l'aide d'un Spectrophotomètre WTW adapté. La balance ionique ne dépasse pas les 9%.

IV.3. Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ) :

Il s'agit des paramètres mesurés sur site, pouvant donner les premières indications sur la qualité des eaux :

➤ 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. Les valeurs de la température observées sont résumées dans le tableau ci-après. Les températures peuvent aller jusqu'à 29°C sous l'influence des conditions externes (Fig. 23) Ces variations sont directement liées au jour et à l'heure du prélèvement effectué entre 08h 30 et 17h. La température de l'eau est principalement fonction de celle ambiante. Elle se rapproche de la température minimale de l'air ambiant.

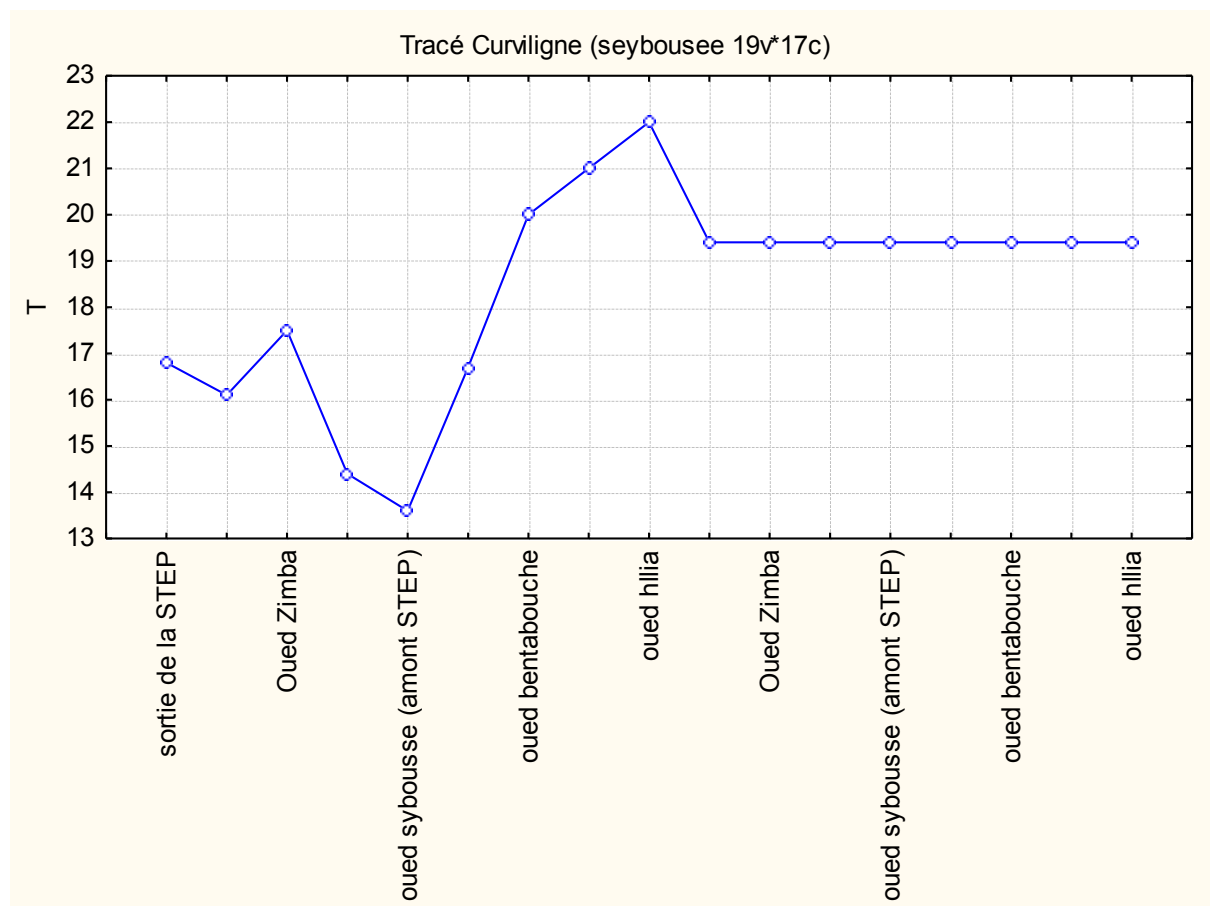


Figure 23 : Variation de la Température

➤ **La conductivité électrique :**

Elle est liée à la présence des espèces ioniques en solution. Les valeurs mesurées ont été corrigées par rapport à une température standard de 25°C. Les valeurs de conductivité dépassent largement la norme recommandée pour les eaux de boisson (400 $\mu\text{s}/\text{cm}$). La conductivité des eaux de surface est élevée (1613 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Au niveau d'Entrée de La STEP (S2), cette minéralisation serait due au lessivage des formations géologiques triasiques gypsifères dans la région. Cette conductivité atteint des faibles valeurs au cours de la période pluvieuse. Elle était de l'ordre de 645 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour les eaux de l'oued Medjaz Ammar (S8) pendant les lâchées de Barrage Hammam Debagh (Fig. 24).

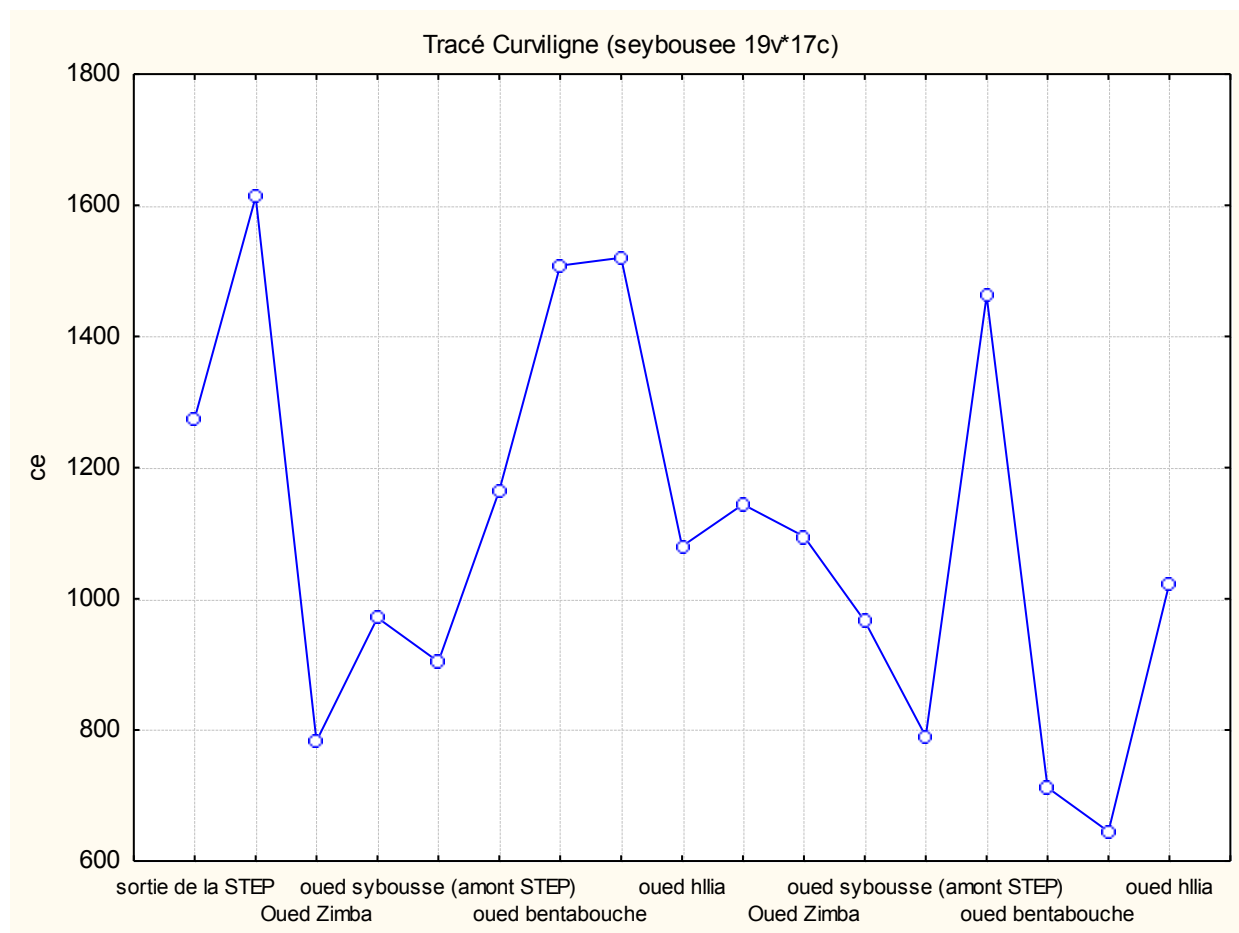


Figure 24 : Variation de la conductivité électrique.

➤ **Potentiel d'Hydrogène (pH) :**

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques dans les diagrammes Eh-pH. Les valeurs du pH sont dans la limite des normes de potabilité et elles sont dans l'intervalle des valeurs naturelles. Le PH

des eaux de l'Oued Seybouse et ses affluents fluctue entre 7.5 et 8.8, le pH de l'eau alcalin est favorable à la vie aquatique riche et diversifiée.

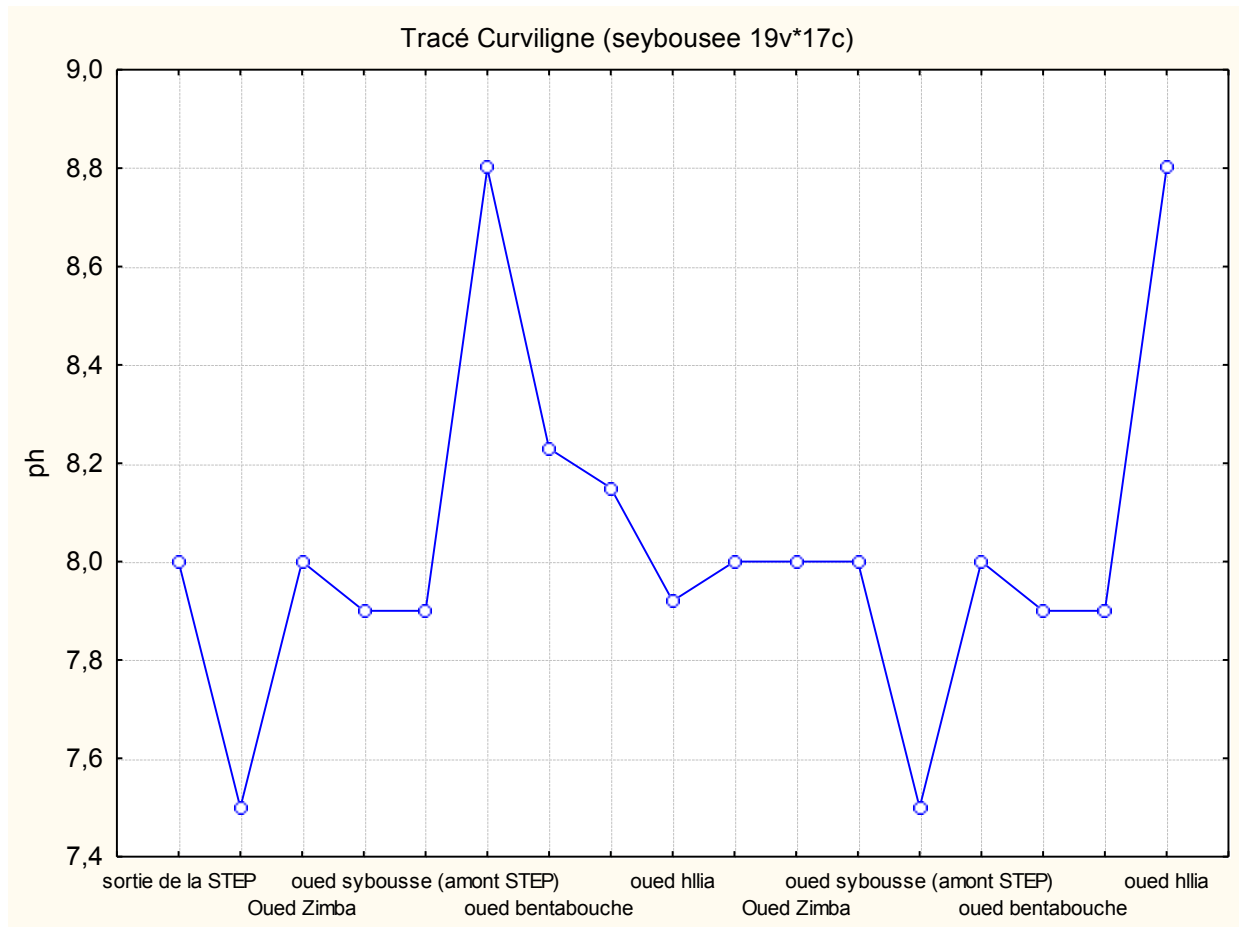


Figure 25 : Variation du pH.

➤ **Oxygène dissous (O₂) :**

L'oxygène est présent dans l'eau sous forme dissoute ou gazeuse. A une température et une pression données, il existe une quantité maximale d'oxygène sous forme dissoute. C'est la teneur en O₂ pour laquelle l'eau est saturée à 100%. Il faut savoir que la quantité d'oxygène en solution dans une eau régit les réactions d'oxydoréduction et présente une évolution identique à celle du Eh.

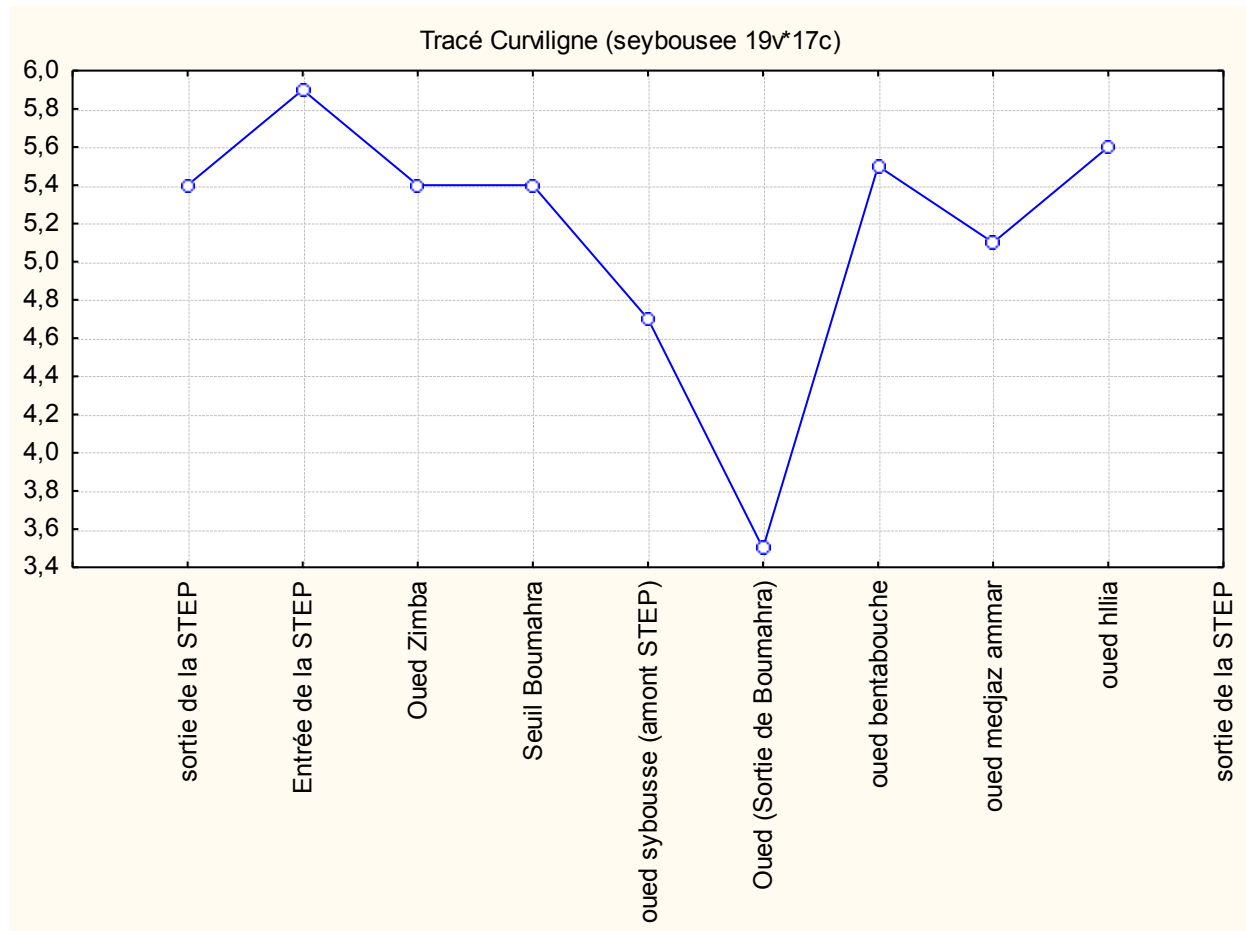


Figure 26 : Variation du Oxygène dissous

Le tableau 18 résume les différentes concentrations avec une précision des mesures qui est de $\pm 0,01$ mg/l. La teneur la plus élevée est observée au niveau des eaux d'Entrée de la STEP et Oued Hilia qui sont respectivement de l'ordre de 5.9 et 5.6 mg. l-1. Les valeurs les plus basses sont observées au niveau de l'oued (Sortie de Boumahra) avec une valeur de 3.5 mg. l-1. Les rejets industriels diminuent les teneurs en O₂ dissous.

Tableau 18: Variation de La température, pH, conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$), et oxygène dissous (mg/l).

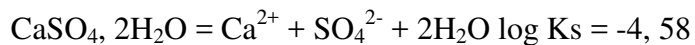
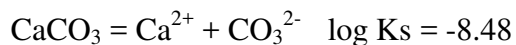
Echantillon	TC	PH	CE	Ox.dis	Echantillon	TC	PH	CE	Ox.dis
S1	16.8	8	1275	5.4	S5	19.4	8	790	
S1	19.4	8	1144		S6	16.7	8.8	1165	3.5
S2	16.1	7.5	1613	5.9	S6	19.4	8	1462	
S2	–				S7	20	8.23	1508	5.5
S3	17.5	8	783	5.4	S7	19.4	8	712	
S3	19.4	8	1095		S8	21	8.15	1520	5.1
S4	14.4	7.9	971	5.4	S8	19.4	8	645	
S4	19.4	8	966		S9	22	7.92	1080	5.6
S5	13.6	7.9	904	4.7	S9	19.4	8	1024	

IV.4. Les éléments majeurs :

➤ Calcium (Ca^{2+}) :

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles :

Soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4).



Les teneurs sont très variables, elles varient d'une valeur minimale de 66.4 mg/l au point S7 (oued Bentabouche) à une valeur maximale de 228 mg/l au niveau des eaux d'Oued Bentabouche (S7).

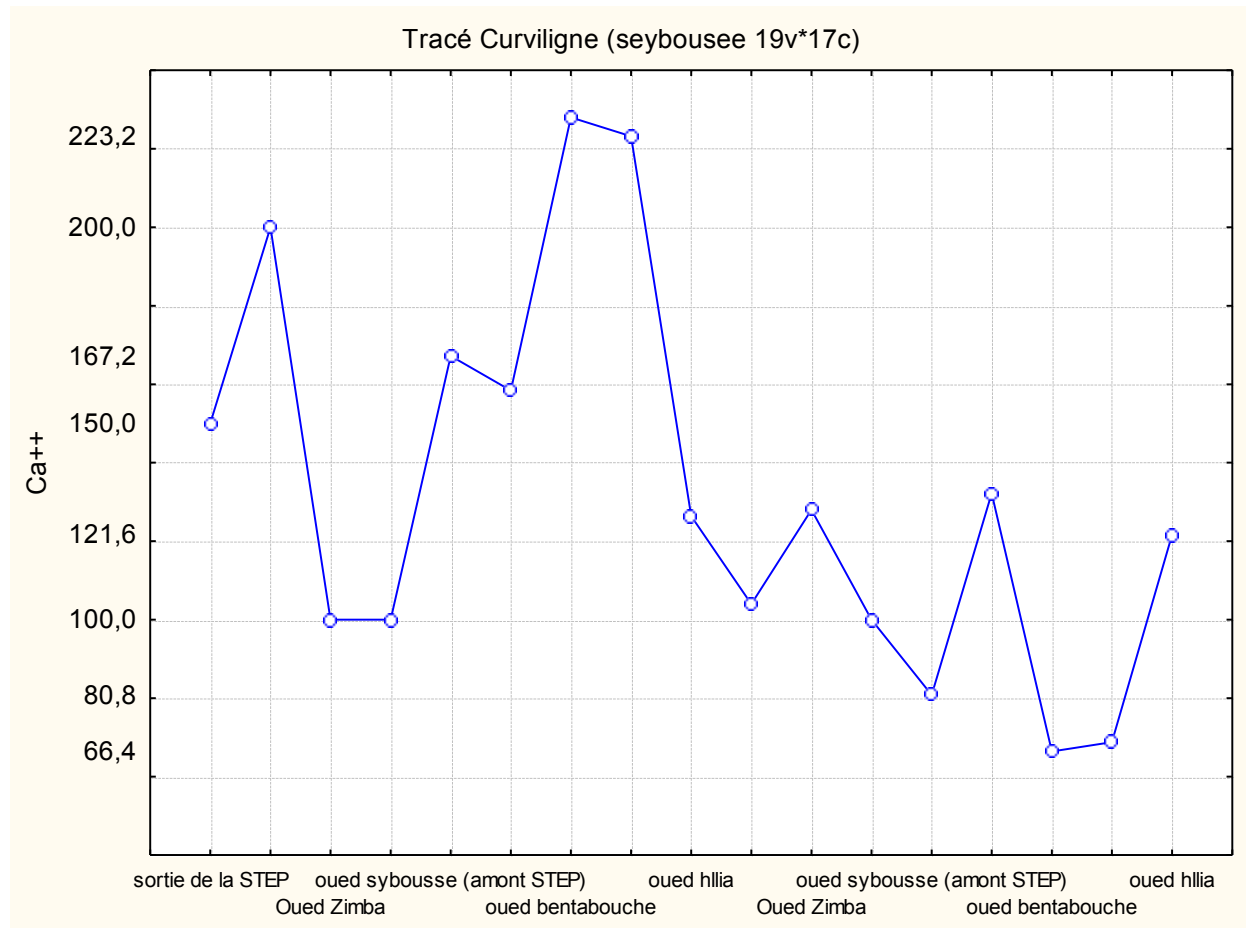


Figure 27 : Variation des teneurs en calcium

➤ **Magnésium (Mg²⁺) :**

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).

Magnetite: $\text{MgCO}_3 = \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$ $\log K_s = 2,98$.

Dolomite: $\text{Ca Mg (CO}_3)_2 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-}$ $\log K_s = -17,09$.

La figure 29 montre que la plupart des points d'eau de l'oued Seybouse présentent des valeurs importantes allant jusqu'à 43.31 mg/l enregistrés au point S9 (Oued Hllia). Les eaux de l'oued Seybouse et ses affluents sont influencées par la dissolution des formations dolomitiques dans la région.

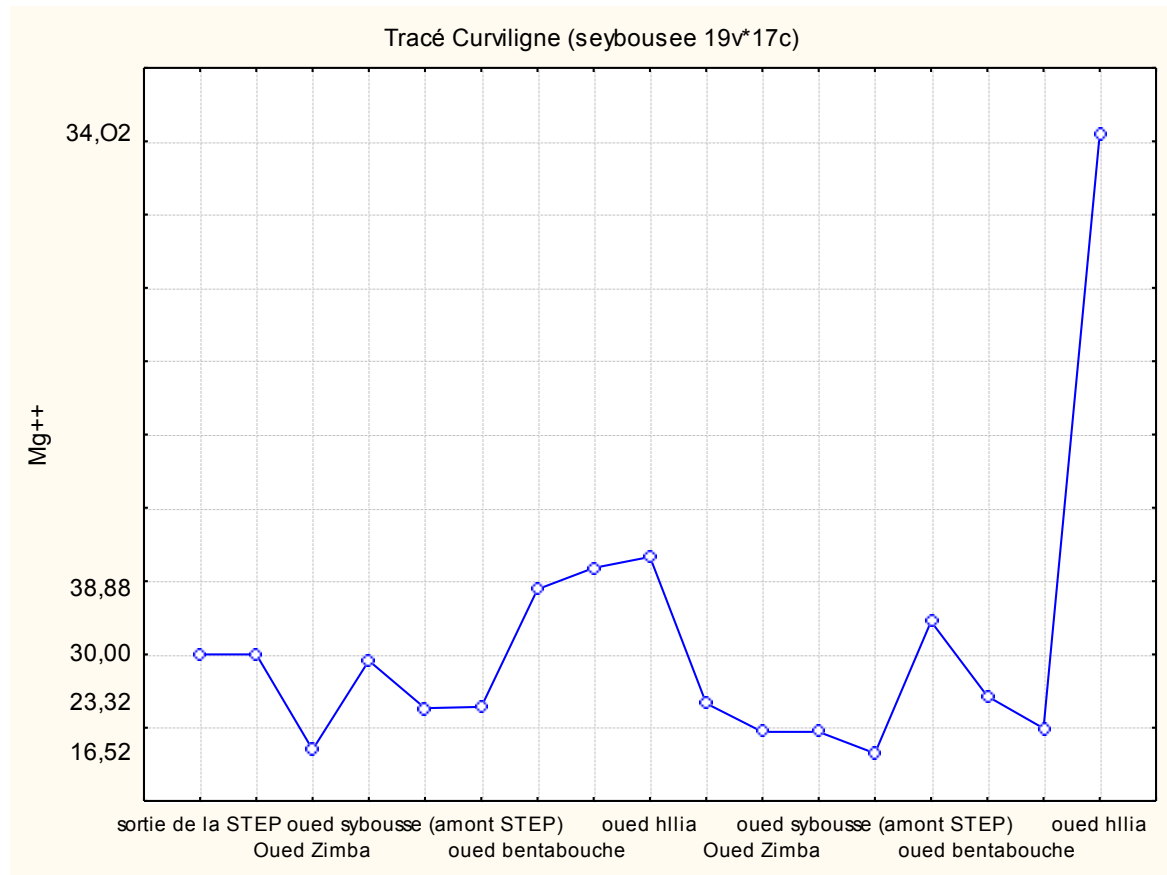


Figure 28: Variation des teneurs en Magnésium

➤ **Chlorure (Cl⁻) et Sodium (Na⁺) :**

L'origine de ces éléments est liée principalement à la dissolution des formations évaporitiques (salifères) et à l'effet de la salinité marine. Dans les eaux de l'oued Seybouse, l'existence de ces deux éléments est liée à la dissolution des formations évaporitiques. Les teneurs du sodium et du chlorure présentent en général des valeurs variables parfois supérieures aux normes de potabilité avec une teneur variant entre 94.5 et 280 mg/l (Station S6 Sortie De Boumahra) pour les chlorures et 49 à 120 mg/l pour le sodium, ces chiffres indiquant l'existence de forts apports salifères à partir des formations géologiques triasiques (Fig. 29, 30).

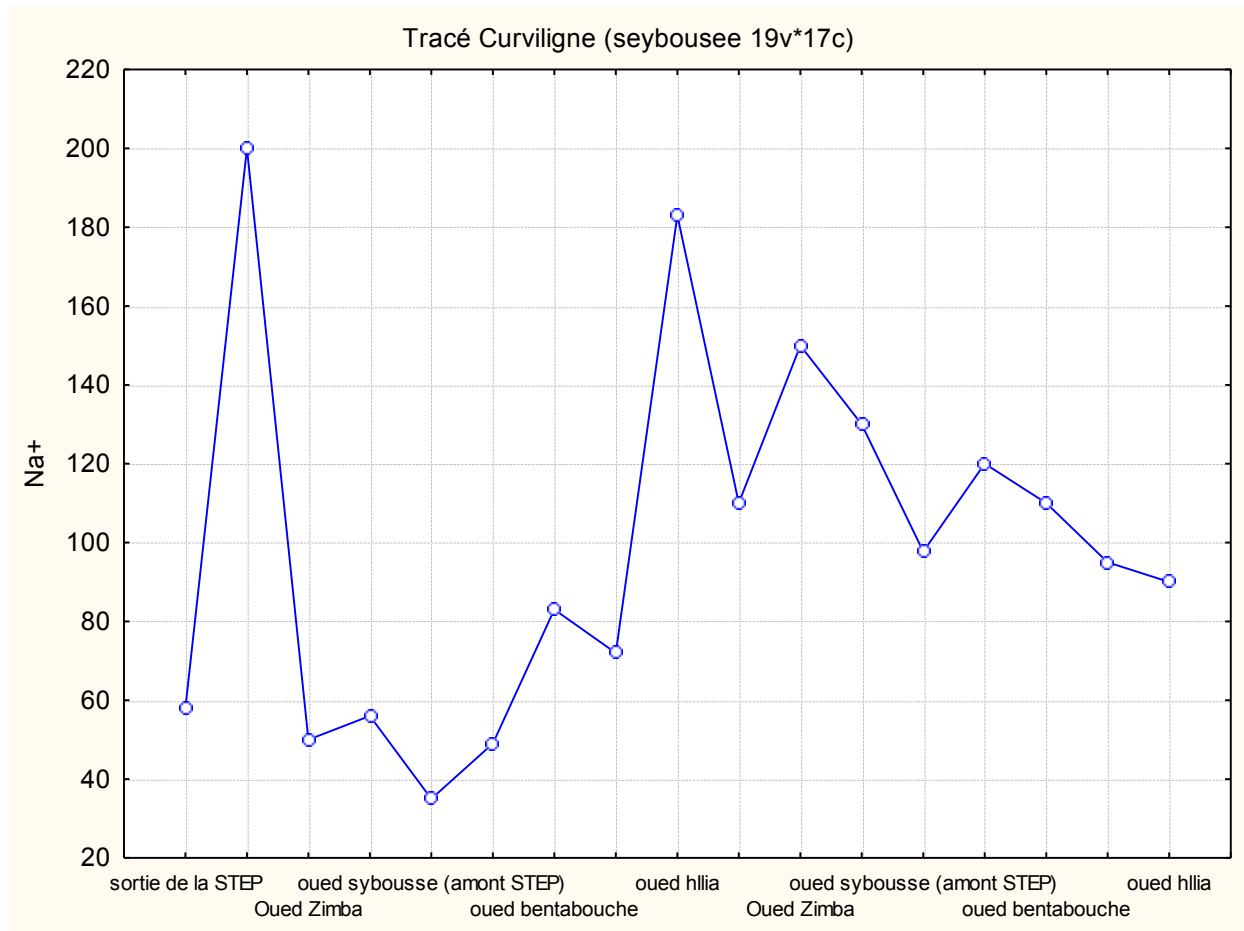


Figure 29 : Variation des teneurs en chlorure (mg/l).

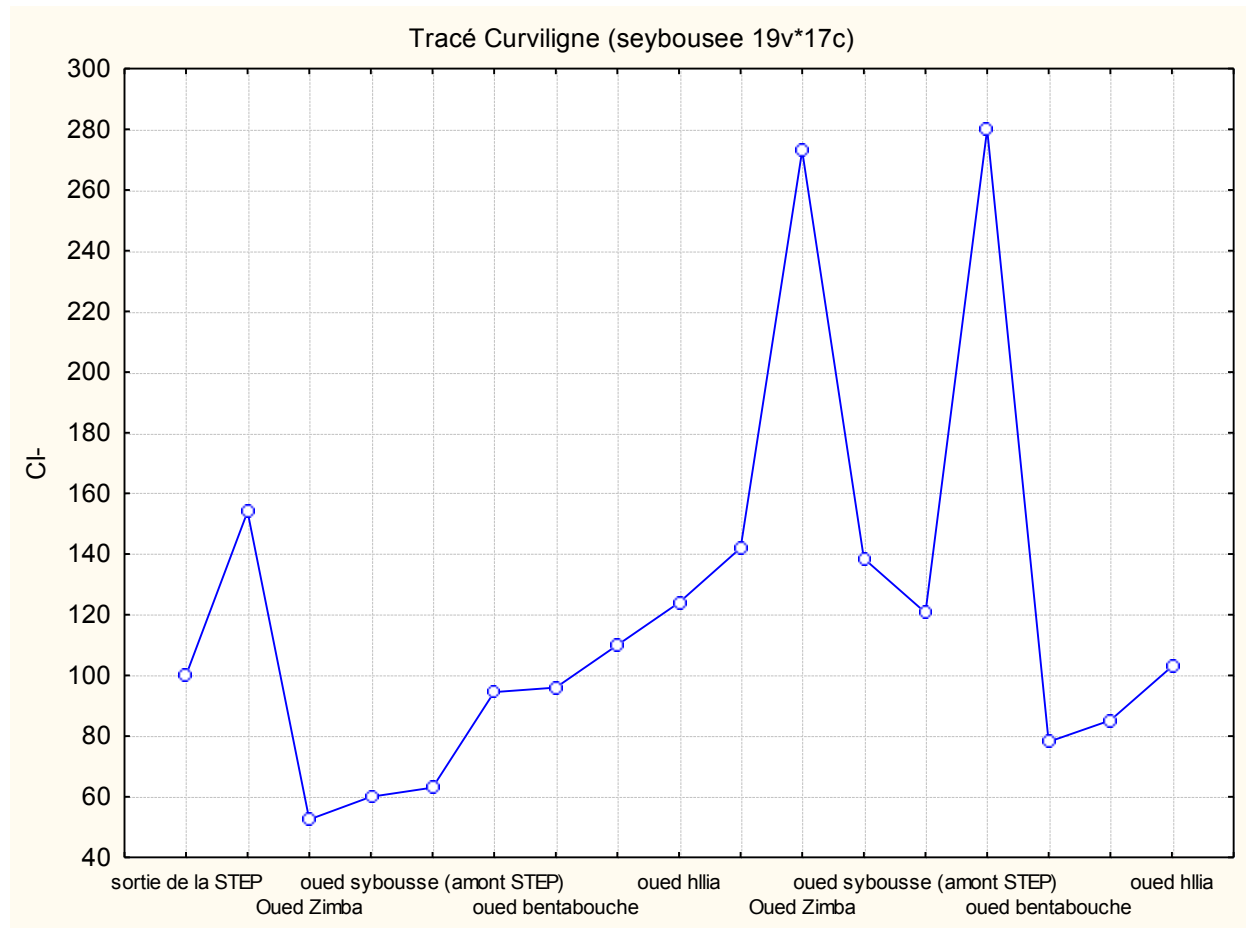


Figure 30 : Variation des teneurs en sodium (mg/l).

➤ **Potassium (K^+) :**

En général le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), ces formations métamorphiques ne sont pas présentes dans notre zone d'étude, comme il peut provenir des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK). Les concentrations observées ne dépassent pas en général la norme, comparativement aux valeurs naturelles de cet éléments et celles enregistrées lors de nos campagnes d'analyses.

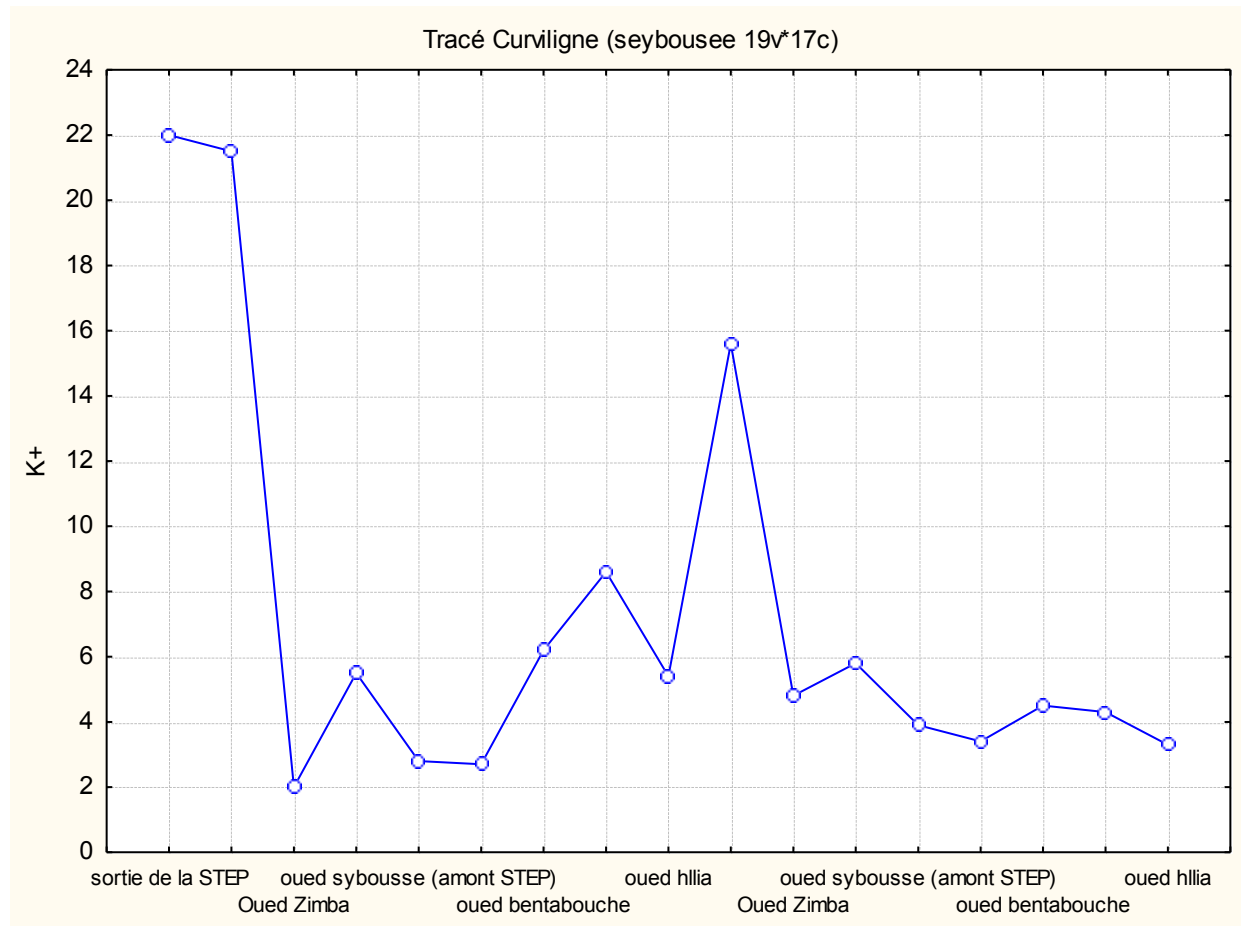


Figure 31 : Variation des teneurs en Potassium (mg/l).

➤ **Bicarbonates (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. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :



Les valeurs moyennes obtenues sont proches des valeurs naturelles. Cependant des Variations sont enregistrées autour des valeurs moyennes ce qui indique une hétérogénéité des origines des bicarbonates Les teneurs sont très variables, elles varient d'une valeur minimale de 240 mg/l au point S8 (Oued Medjez Ammar) et un maximal de 568.52 mg/l au point S5 au niveau de Entrée De La STEP. La présence de cet élément dans les eaux de l'oued Seybouse, elle est liée à la dissolution des formations calcaires existant dans la région de Guelma.

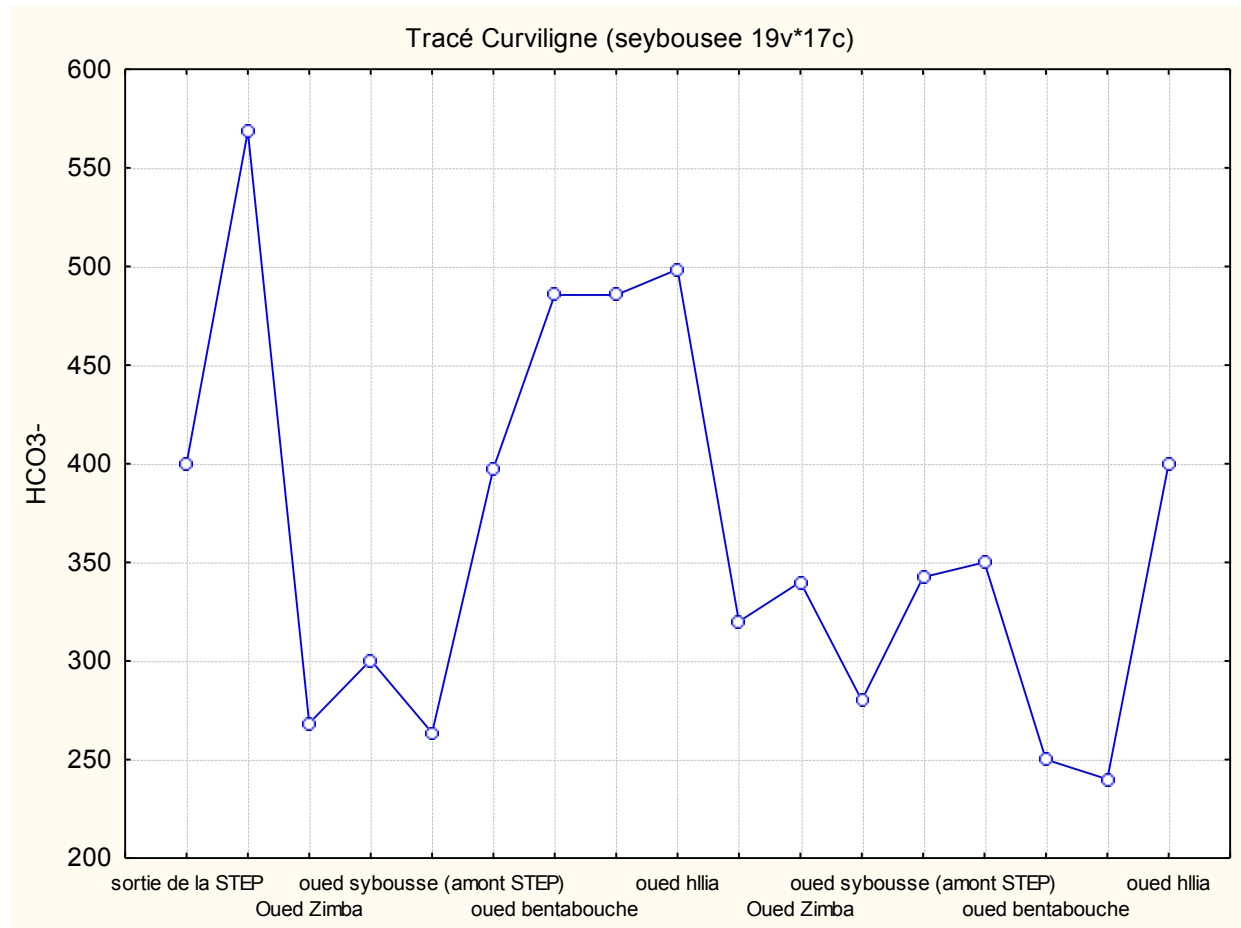


Figure 32 : Variation des teneurs en Bicarbonates (mg/l).

➤ **Sulfates (SO₄²⁻) :**

La présence des ions sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses selon la relation (2). Les sulfates présents à des faibles concentrations dans les eaux de surface, avec une valeur moyenne de l'ordre de 199.62 mg/l, cet élément est en dessous des normes (250 mg/l). La valeur maximale est de 350 mg/l, elle est observée au niveau de S2 situé à l'oued Seybouse dans la plaine de Boumahara.

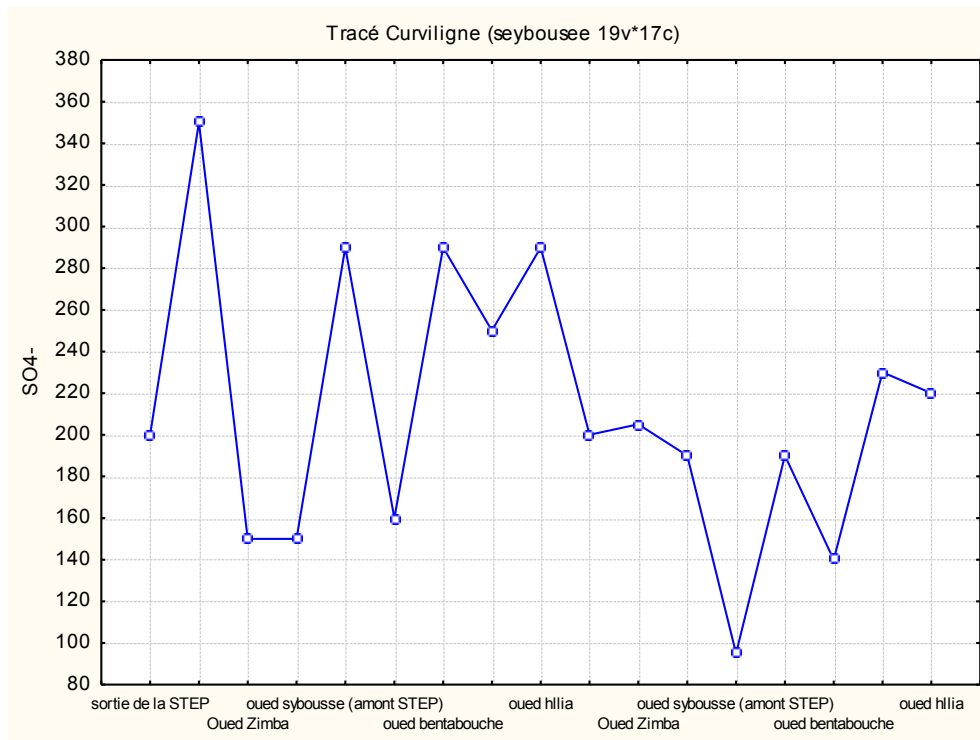


Figure 33 : Variation des teneurs en sulfates (mg/l).

IV.5. Les nutriments :

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 2 formes principales :

- les nitrites NO_2^- ;
- les nitrates NO_3^- ;

Les nitrites est oxydables. Les nitrates constituent la forme oxydée finale.

L'azote est présent tout le long du cours d'eau sous sa forme minérale et cela sous les deux formes chimiques (nitrates, nitrite et ammonium) :

➤ **Les Nitrates NO_3^- :**

Ils représentent la forme la plus oxygénée de l'azote. C'est une forme très soluble. Sa présence est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques. Sous cette forme, l'azote est un sel nutritif utilisable par la majorité des végétaux. Les concentrations moyennes en nitrates, au niveau des eaux de l'oued Seybouse sont inférieures à la norme des eaux de surface. De ce fait, les eaux de l'oued Seybouse et de ses affluents ne peuvent être la source de pollution des eaux de la nappe.

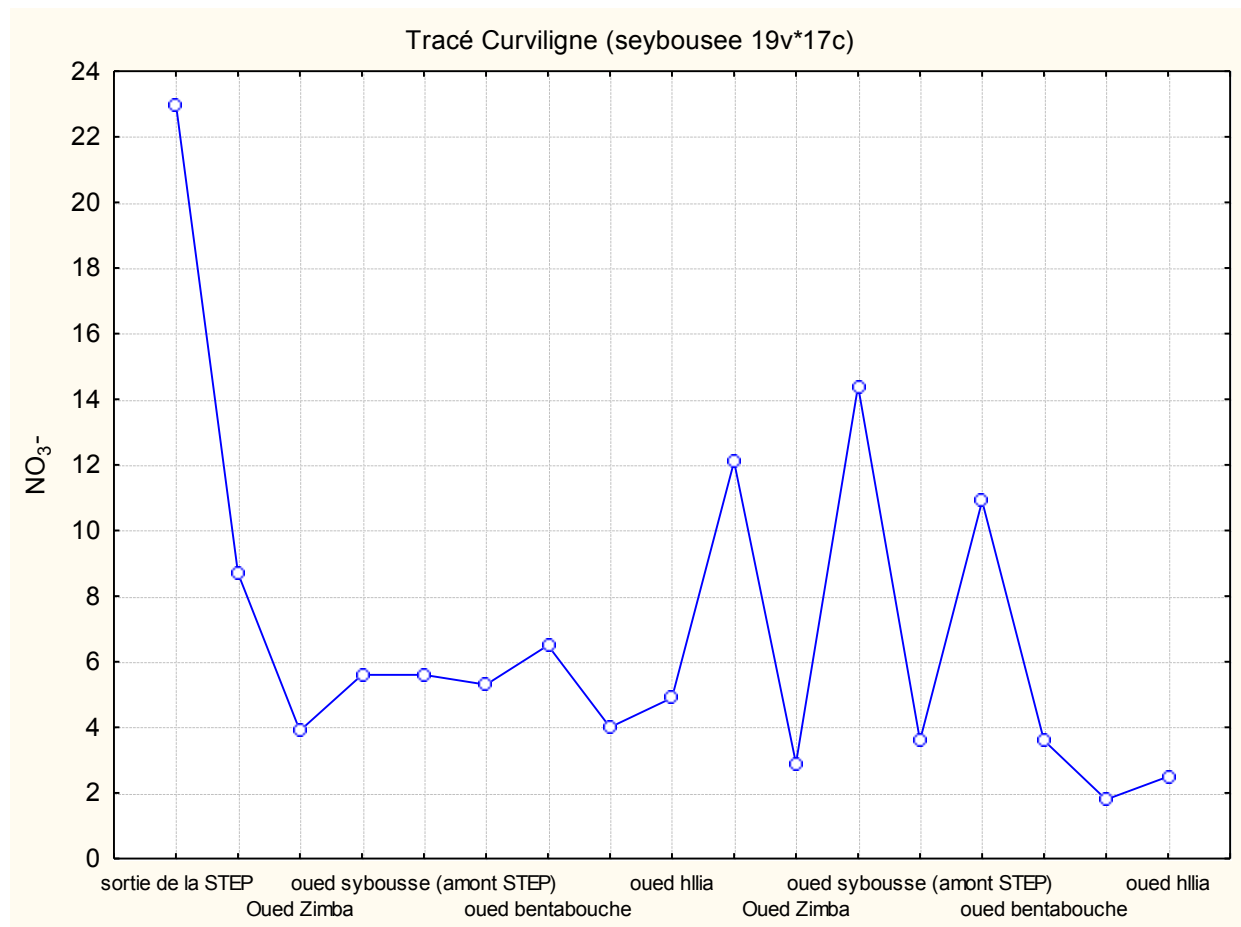


Figure 34 : Variation des teneurs en nitrate (mg/l).

➤ **Les Nitrites NO_2^- :**

Les nitrites ou l'azote nitreux, représentent une forme moins oxygénée et moins stable représentant ainsi la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium. Il s'agit d'une forme

toxique. La valeur la plus élevée est observée au niveau de La Sortie De La STEP S1 (2.25 mg/l).

Les valeurs élevées sont dues à l'effet de l'oxydation de la forme ammonium. Dans l'ensemble de la région, la valeur moyenne est de l'ordre de (0,16mg/l).

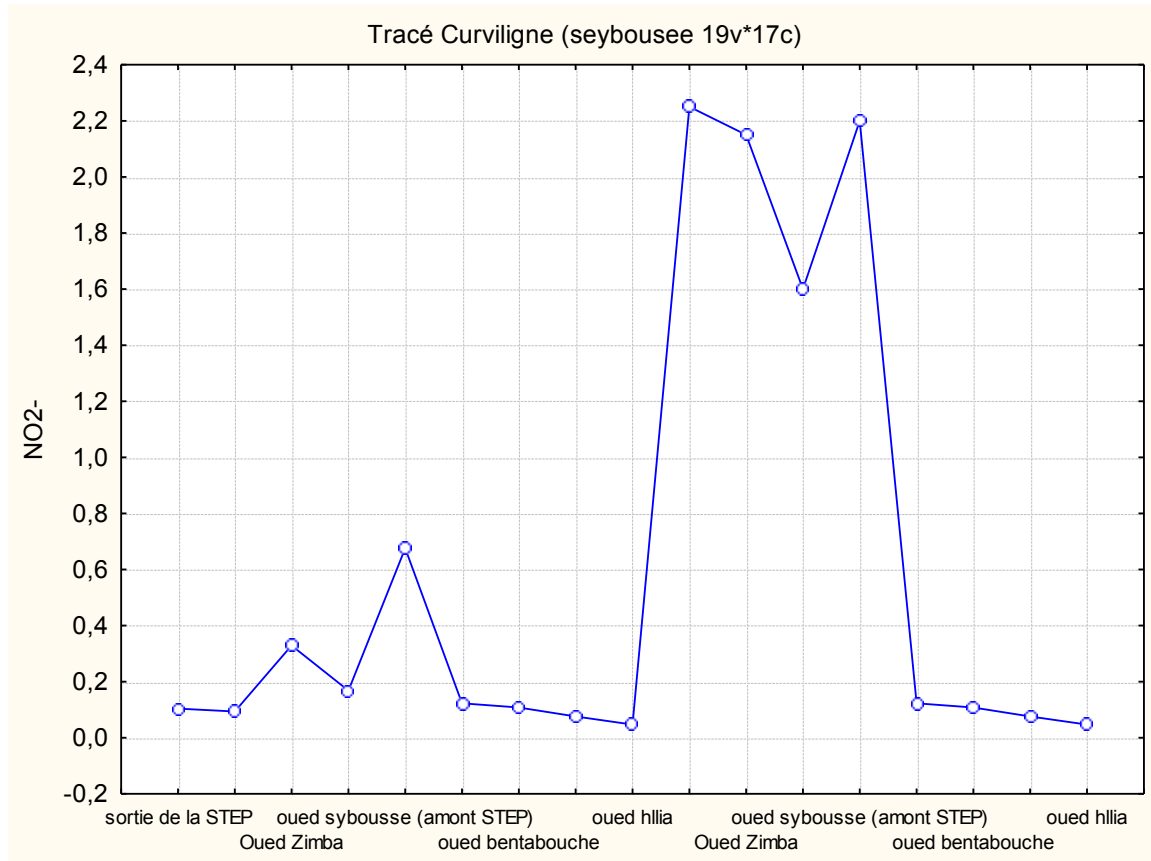


Figure 35 : Variation des teneurs en nitrite (mg/l).

➤ **Les orthophosphate (PO_4^{3-}) :**

L'origine de l'existence des phosphates dans les eaux serait liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais chimiques (NPK). Dans les eaux de surface sa teneur est variable et ne dépasse pas la norme des eaux superficielles (15 mg/l) (Fig. 36).

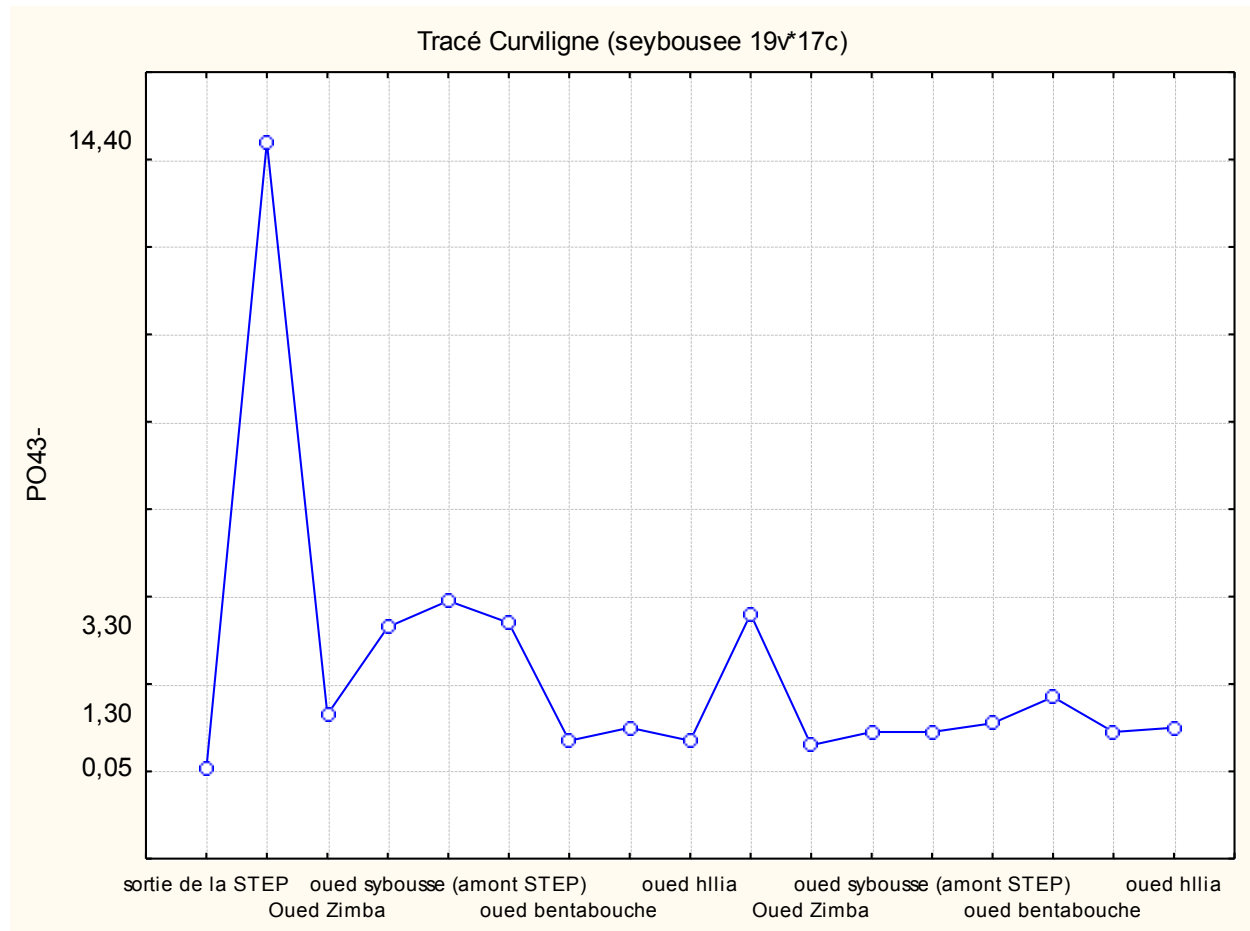


Figure 36 : Variation des teneurs en orthophosphate (mg/l).

IV.6. Analyse statistiques des données physico-chimiques :

Afin de décrire la variation des différents éléments chimiques, nous avons procédé à une analyse en composante principale (A.C.P). L'objet principal de l'analyse factorielle est de faire figurer des points dans un espace euclidien de faible dimension par rapport à la dimension d'origine.

Le but de la représentation graphique est de suggérer, éclairer, ce que le calcul numérique ne permet pas de saisir. On fera donc des représentations graphiques unidimensionnelles ou bidimensionnelles selon les cas des figures, car on ne peut saisir des représentations de plus de trois dimensions (la dimension 3 pour la visualisation d'un nuage de points n'est pas aisée ; on se contentera des dimensions d'ordre inférieur) [27].

Une A.C.P a été pratiquée sur 17 individus (analyses) et 17 paramètres. Le tableau 19 donne les valeurs propres et l'inertie, les deux premier facteurs fournissent une inertie expliquée de 48.75 % qui semble assez bonne compte tenu de l'inertie moyenne. Toutefois le

pourcentage cumulé tend lentement vers 100% ce qui traduit la complexité des influences qui s'exerce sur le chimisme des eaux.

Tableau 19 : Inertie dans les 4 premières composantes principales.

Axes vectoriel	Valeur propre	Pourcentage total de la variance	Cumul des valeurs propres	Pourcentage cumulé
1	4.641849	35.70653	4.64185	35.70653
2	2.490675	19.15904	7.13252	54.86557
3	1.485114	11.42395	8.61764	66.28952
4	1.398851	10.76039	10.01649	77.04991

L'examen de la matrice de corrélation des 17 échantillons (Tableau 20) montre que les coefficients de corrélations les plus significatifs sont ceux de la conductivité électrique avec les bicarbonates ($r = 0.81$), le sodium ($r = 0.26$) et les sulfates ($r = 0.55$)

Tableau 20 : Matrice de corrélation.

	Ce	Ph	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	CL ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻³	Mn
Ce	1,00												
Ph	0,10	1,00											
Ca ⁺⁺	0,84	0,19	1,00										
Mg ⁺⁺	0,23	0,57	0,21	1,00									
Na ⁺⁺	0,26	-0,39	-0,02	0,04	1,00								
K ⁺	0,52	-0,32	0,32	-0,05	0,29	1,00							
HCO ₃ ⁻	0,81	0,07	0,76	0,39	0,43	0,47	1,00						
SO ₄ ⁻	0,55	-0,07	0,68	0,26	0,40	0,37	0,62	1,00					
CL ⁻	0,41	-0,11	0,07	-0,03	0,57	0,07	0,17	0,07	1,00				
NO ₃ ⁻	0,36	-0,11	0,13	-0,15	0,00	0,68	0,10	0,04	0,15	1,00			
NO ₂ ⁻	-0,23	-0,30	-0,32	-0,39	0,18	0,00	-0,31	-0,33	0,37	0,07	1,00		
PO ₄ ⁻³	0,37	-0,33	0,31	-0,09	0,38	0,51	0,40	0,48	0,01	0,03	-0,11	1,00	
Mn	0,59	-0,06	0,68	0,21	0,11	0,34	0,67	0,42	-0,05	-0,11	-0,22	0,43	1,00

Les tables de Bravais Pearson donnent pour un nombre d'échantillon $n = 17$ et un nombre de variable $p = 17$, un coefficient de corrélation (r théorique $= 0.3494$) pour un seuil $\alpha = 0.05$. Cela nous permet donc de dégager les couples suivants : HCO₃⁻-Na⁺⁺ ($r = 0.43$), Na⁺⁺-SO₄²⁻ ($r = 0.40$), NO₃⁻-NO₂⁻ ($r = 0.07$),

La conductivité électrique qui traduit la minéralisation est bien corrélée avec le facteur 1 (Tableau 21) à l'exception de l'ammonium, et l'ortho phosphates, les éléments majeurs

présentent une bonne corrélation avec le facteur 1, ce qui nous permet de considérer ce facteur comme facteur de minéralisation. Dans le plan factoriel (I-II) (Figure 40), on note une opposition entre l'ensemble des éléments chimiques constituant la minéralisation des eaux au à l'ammonium et l'ortho phosphate. Les variables donnant les meilleures contributions sur l'axe factoriel 2 sont les Cl^- et la NO_3^- (Tableau), donc le facteur 1 peut être considéré comme facteur caractérisant la pollution des eaux de la Seybouse et ses affluents.

Tableau 21: Corrélation entre variable et poids factoriels.

Variable	Fact 1	Fact 2	Fact 3	Fact 4
CE	-0,896	0,016	0,051	-0,315
PH	0,035	0,777	0,160	-0,419
Ca ⁺⁺	-0,833	0,287	-0,106	0,079
Mg ⁺⁺	-0,297	0,640	0,346	-0,164
Na ⁺	-0,413	-0,542	0,577	0,170
K ⁺	-0,627	-0,448	-0,440	-0,210
HCO ₃ ⁻	-0,904	0,124	0,147	-0,010
SO ₄ ⁻	-0,773	0,060	0,063	0,220
Cl ⁻	-0,223	-0,463	0,674	-0,385
NO ₃ ⁻	-0,243	-0,389	-0,477	-0,693
NO ₂ ⁻	-0,298	-0,619	0,216	-0,151
PO ₄ ⁻³	-0,588	-0,307	-0,172	0,478
Mn	-0,722	0,169	-0,093	0,296

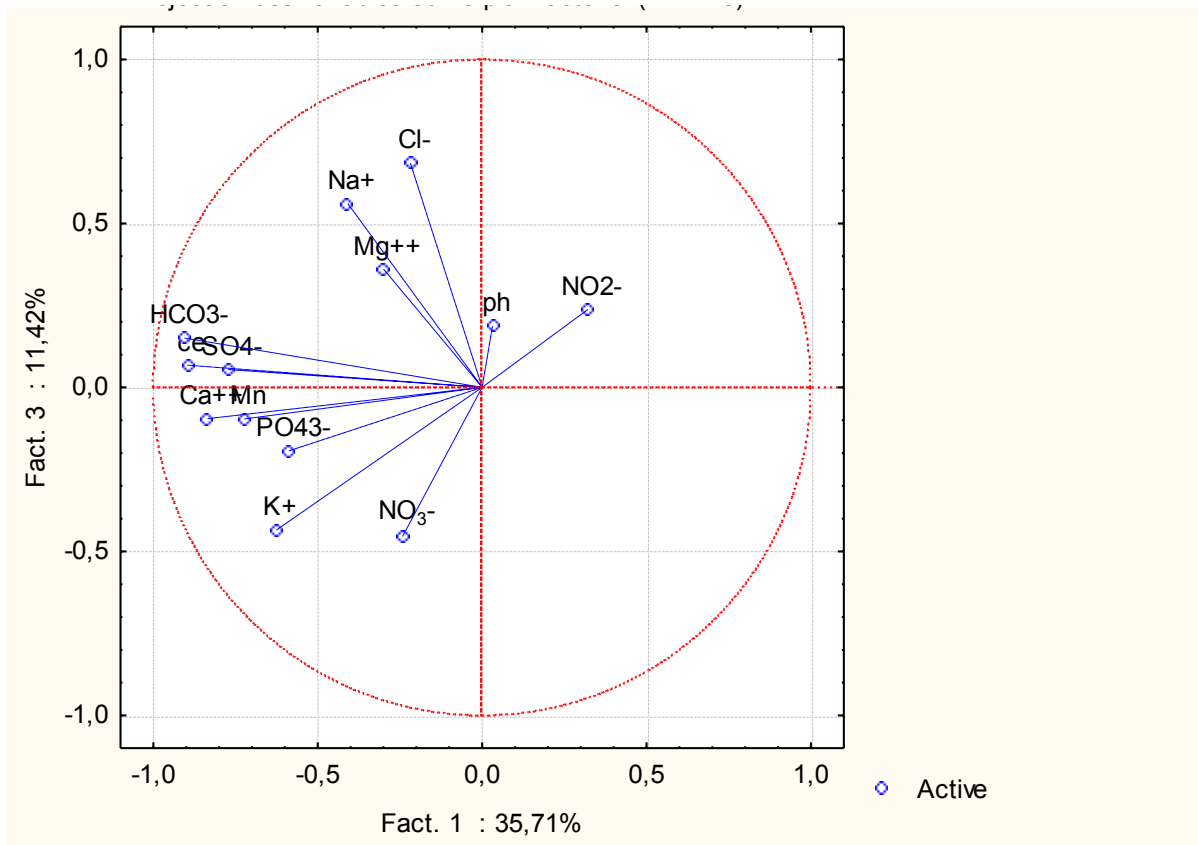


Figure 38: Projection des variables sur le plan factoriel (1-3).

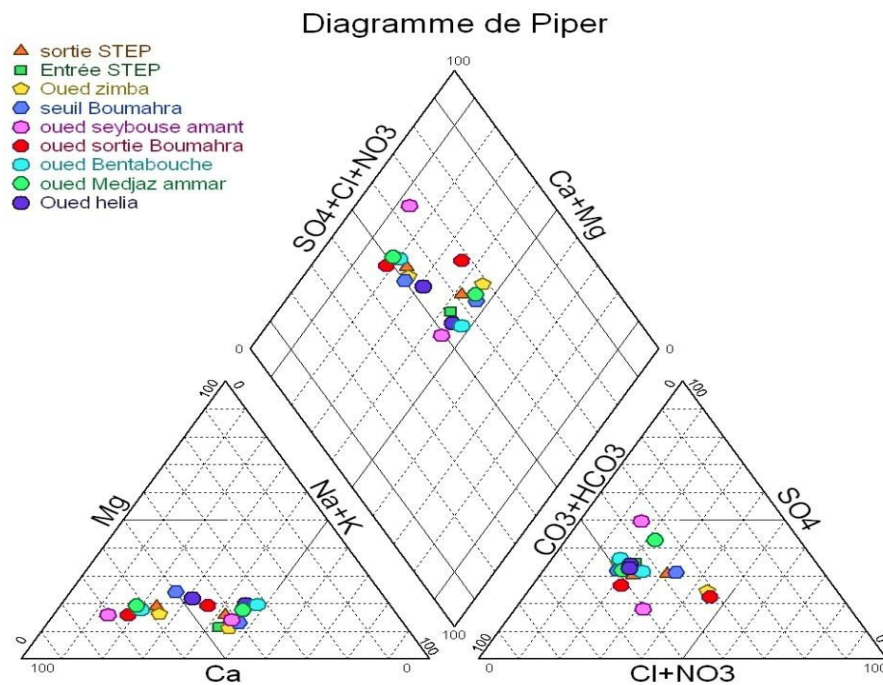


Figure 39: Diagramme de Piper.

IV.7. Aptitude des eaux à l'irrigation :

Le rapport d'adsorption du sodium (**SAR**) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium. Le SAR est défini par l'équation suivante :

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Les concentrations de Ca^{++} , Mg^{++} et Na^+ sont en méq/l.

Richards [28]. a élaboré une classification en se basant sur les deux paramètres à savoir (SAR et conductivité électrique). Les classes de potabilité des eaux (C1S1,...C4S4) correspondent, dans le diagramme de Richards au (Fig. 40) SAR (en ordonnées pour la lettre S) et à la conductivité (en abscisses pour la lettre C).

Ainsi la classe C1S1 (coin bas à gauche) est considérée comme excellente car elle correspond à des valeurs minimales du SAR et de la conductivité ; en revanche, la classe C4S4 (coin haut à droite) est mauvaise, car les valeurs du SAR et de la conductivité sont à leur maximum.

3 classes apparaissent – admissible, médiocre et mauvaise – chacune présentant ses propres caractéristiques.

- Admissible (C3S1- C3S2).

En général, il s'agit d'une eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. Cependant, l'évolution de la salinité doit être contrôlée.

- Médiocre (C4S2).

L'eau est fortement minéralisée et est susceptible de convenir à l'irrigation de certaines espèces (concombre...) bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

- Mauvaise (C4S3 – C4S4).

Cette eau ne convient généralement pas à l'irrigation, mais peut être utilisée sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, plantes très tolérantes au sel (choux, betterave...).

Les eaux de l'Oued Seybouse et ses affluents appartiennent aux classes C3S1 donc conviennent à l'irrigation cependant un contrôle de l'évolution de la salinité est nécessaire. Si l'eau d'irrigation est chargée en sodium, le nombre d'ions Na^+ combinés avec le sol augmente. On assiste à une dégradation de structure, avec un gonflement des argiles à l'origine de l'imperméabilité du milieu. Le processus de dessalement et de drainage risque alors d'être complètement stoppé. Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium.

La classification de Wilcox (Fig. 41) fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau. Cette classification définit cinq classes d'eau : excellente, bonne, admissible, médiocre, mauvaise. Les eaux de la Seybouse appartiennent aux classes bonne et admissible.

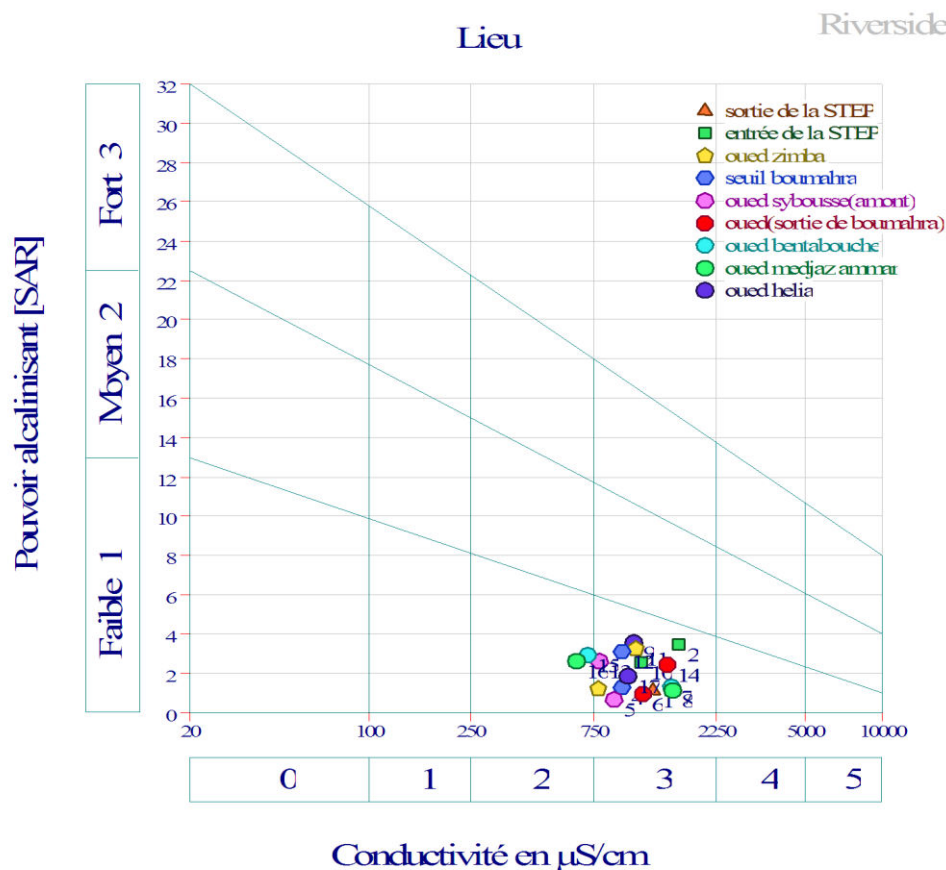


Figure 40: Diagramme de Richards.

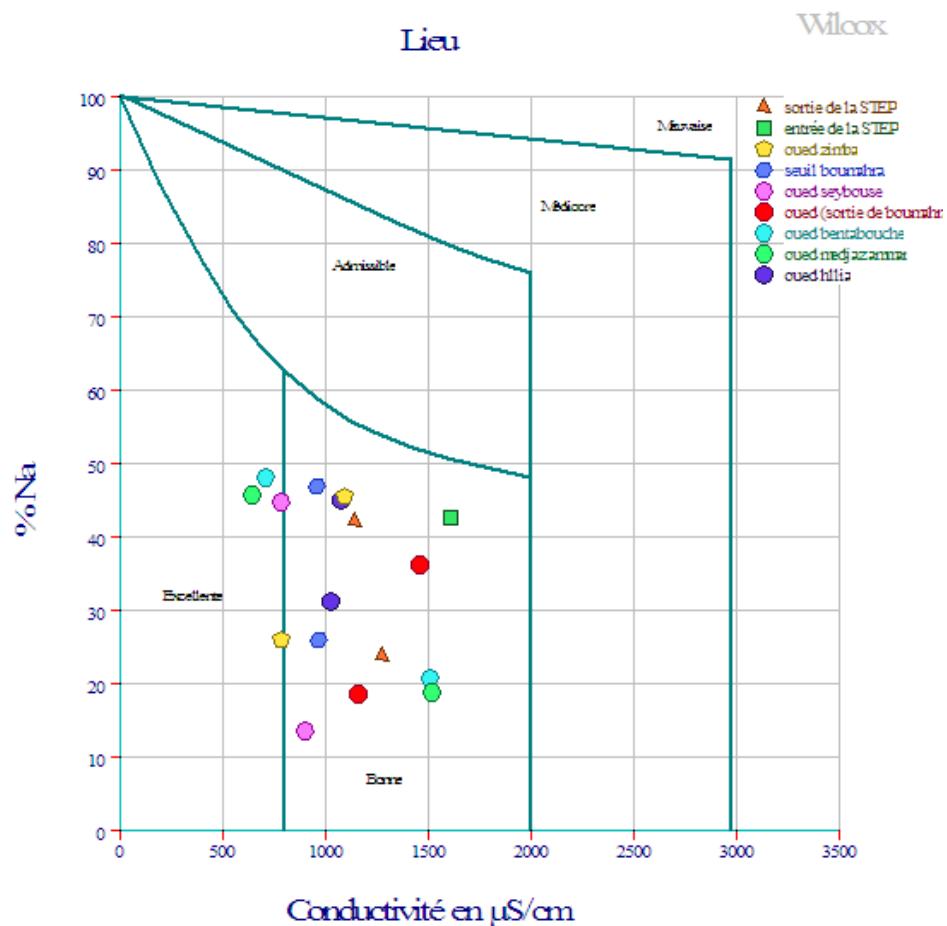


Figure 41 : Diagramme de Wilcox.

Conclusion :

Dans cette partie, nous nous sommes intéressés à l'étude de l'hydrochimie des eaux de l'Oued Seybouse superficielle. Les résultats obtenus dans cette étude sont :

-Une prédominance du faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne.

- De point de vue statistique, les sulfates, bicarbonates et calcium présentent une bonne corrélation avec la conductivité électrique d'une part et entre le chlorure, nitrate et la conductivité électrique d'autre part, confirmant la pollution des eaux de l'Oued.

- L'analyse en composante principale nous a permis de déterminer trois facteurs influençant le chimisme des eaux de l'aquifère superficiel, à savoir un facteur F_1 de minéralisation, un facteur F_2 caractérisant la pollution des eaux.

- La comparaison des indices de saturation obtenus par modélisation géochimique appliquée sur 13 éléments, nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

- ❖ une sursaturation vis-à-vis de la calcite et de l'aragonite, donc une précipitation de ces éléments chimiques dans l'eau.
- ❖ Les minéraux évaporitiques sont toujours à l'état de sous saturation, d'où une tendance à la dissolution de ces minéraux.
- ❖ L'étude de l'aptitude des eaux à l'irrigation a montré la bonne qualité des eaux. Cependant un contrôle de la salinité et d'autres éléments chimiques (bore, métaux lourds...) est nécessaire.

CONCLUSION GÉNÉRALE

La région d'étude est privilégiée par sa situation de carrefour entre le pôle littoral industriel au Nord et les régions intérieures au Sud, elle présente un aspect socio-économique bien développé. A vocation particulièrement agricole, le bassin de Guelma est un territoire fortement anthropisé, surtout après l'accélération du processus de croissance semi-industrielle et démographique, ces dernières années.

Du point de vue géologique, le bassin de Guelma fait partie de la zone tellienne de la chaîne alpine. Cette dépression se caractérise par le dépôt de miocène moyen et le miocène supérieur représentés par des sédiments lagunaires, lacustres et fluviaux continentaux. Ces formations sont constituées essentiellement d'alluvions (graviers, limons, conglomérats, travertins,...), perméables, et offre par conséquent un intérêt hydrogéologique. Le régime d'écoulement au niveau de l'oued Seybouse, qui traverse la plaine de Guelma d'Ouest en Sud-est, est de type méditerranéen pluvial, caractérisé par l'abondance pluviale à très forts débits hivernaux, donc des fortes crues, d'une part, et d'autre part, par une saison sèche fortement prononcée, donc des étiages. La principale particularité des cours d'eau de cette région consiste dans l'irrégularité de leur débit, qui dépend directement des précipitations et des lâchées de barrage de Hammam Debagh pour l'oued Seybouse.

La région de Guelma est soumise à un climat méditerranéen, subhumide, assez favorable à l'agriculture et l'élevage. La moyenne des bilans de précipitations, enregistrée à la station de Guelma, sur une période de vingt-trois ans, est de l'ordre de 589,62 mm/an, la température moyenne est de 18.6 °C. Le C.W Thornthwaite donne une évapotranspiration réelle de l'ordre de 426,2 mm/an, présentant 75 %, signifiant ainsi l'existence d'un surplus, par référence aux précipitations annuelles. Le ruissellement calculé par la formule de Tixeront-Berkaloff est de l'ordre de 68.32 mm/ an (11,58 %), d'où l'infiltration est égale à 95,10 mm/an, présentant uniquement 16,12 % des précipitations.

A la lumière des résultats obtenus au niveau des paramètres physicochimiques mesurés au niveau des eaux superficielles de l'oued Seybouse et ses principaux affluents, on constate une dégradation de la qualité de l'eau particulièrement au niveau des zones soumises aux rejets d'eaux usées provenant des communes de Medjezamar, Heliopolis, Belkheir et Boumahra respectivement au niveau des stations S3, S6, S8 et S9. Néanmoins cette contamination a tendance à diminuer aux stations situées loin des rejets urbains. Cette diminution pourrait être liée au phénomène d'autoépuration naturel et d'épuration réalisé par la STEP de Guelma.

Cependant, le dépassement de certains paramètres physicochimiques, les normes en vigueur, peut s'expliquer également par la mise en place du barrage Hammam Debagh qui a diminué les capacités de l'oued à évacuer les polluants émanant de la haute Seybouse vers l'aval car la dynamique fluviale est devenue très faible et, contribue par conséquent à détérioration de la qualité des eaux dans la moyenne et la basse Seybouse.

L'étude hydro-chimique montre que les eaux de la région sont légèrement entartrées, avec un pH qui varie de 7,5 à 8,8, pour une moyenne de 8,2, ces eaux sont dans l'ensemble fortement minéralisées. Les eaux de surface de l'oued montrent une prédominance de faciès chlorurés sodiques et sulfatés sodiques. On note dans l'ensemble que ces eaux sont sursaturées en dolomite, suivie de la calcite et de l'aragonite.

La minéralisation des eaux de surface de la région est gouvernée par trois phénomènes dont le pluviolessivage des sols, ensuite les apports liés aux activités anthropiques et surtout l'hydrolyse acide des minéraux silicatés de la roche tels que l'anorthite dans les plagioclases et la décomposition des minéraux ferromagnésiens comme la biotite et l'amphibole.

L'aptitude des eaux, d'oued Seybouse, à l'irrigation est rassurante d'après les résultats de la conductivité obtenus in situ et par les diagrammes de Riverside-Wilcox. Le dosage de dix éléments métalliques traces par la technique de spectrométrie d'émission atomique couplée au plasma induit (ICP-AES) a permis d'obtenir des valeurs au-delà de la limite de détection de l'appareil pour l'ensemble des éléments dans les douze échantillons d'eau analysés. Les concentrations de métaux, dans les eaux de surface d'oued Seybouse et de ces principaux affluents, sont généralement comparables ou inférieures à celles documentées pour d'autres travaux comme ceux de Mouassa, (2006) et Mouchara, (2009) effectués dans des secteurs fluviaux urbanisés ou comme ceux de Debièche, (2002) et Talbi, (2008) dans des secteurs fluviaux urbanisés et industrialisés, et ne suscitent donc aucune préoccupation écologique, bien que le cours d'eau d'oued Seybouse fait le ménage des zones traversées.

La forte teneur en certains métaux lourds au niveau de quelques stations (Fe, Mn, Al, Ni, Cu), leurs origines naturelles l'emporte sur l'origine anthropique.

La dégradation de la qualité des eaux de surface et souterraines constitue l'un des principaux impacts environnementaux causée par l'emploi de ces produits qui soulèvent ainsi des inquiétudes puisqu'elle est à l'origine d'une perte continue des ressources hydriques.

Il y a lieu à noter, également, que depuis la mise en service de la station d'épuration de Guelma en 2008, le procédé de traitement des eaux usées collectées par les deux principaux émissaires de cette agglomération, oued Sekhoune et oued Maiz, à contribuer d'une manière significative à l'amélioration de la qualité physicochimique des eaux de la Seybouse.

En fin en perspective nous proposons pour limiter la pollution des eaux superficielles de la Seybouse de :

- Lutter contre l'installation des décharges non contrôlées est impérative. Les ordures ménagères doivent être triées et placées dans des stations de traitement.
- Installer des petites stations d'épuration urbaines ou industrielles a l'aval des points de rejets.
- Faire des analyses périodiques des eaux souterraines qui peuvent être contaminées des pesticides utilisées dans les périmètres irrigués de la région.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Hadjar, A., 1999** : Pollution des eaux de surface prévention-lutte. Rapport de la Journée d'études sur l'irrigation. I.T.M.A, 4 Mai, Guelma
- [2] **Nichane M., Khelil M. A. 2014**: Changements climatiques et ressources en eau en Algérie: vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation 1-7 Revue des Bio ressources Vol 4 N° 2 Décembre 2014.
- [3] **Gaud B. 1988** :Etude de la nappe alluviale de la plaine de Guelma, rapport inédit, DMRH, Annaba. 85p.
- [4] **Boukrouh F. (2005)** : Etude géologique des dépôts évaporitiques du bassin de Guelma. Mémoire de magister, Univ. Mentouri. Constantine. Algérie.107p
- [5] **ANDI 2013** : Agence Nationale de Développement de l'Investissement de la wilaya de Guelma.
- [6] **Bechiri N. 2011** :Evolution du chimisme des eaux de surface et Souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Nord-Est Algérien). Mémoire de magistère, Université Annaba; 97p.
- [7] **Ghachi. A. 1982** :Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie: le bassin de la Seybouse. Office des publications universitaires - 508p.
- [8] **ABHCSM, 2005**. Pollution des eaux superficielles dans le bassin Hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellegue 1998-2003, Agence des Bassins Hydrographiques Constantinois-Seybousse-Mellegue, Cahier de l'agence N° 9, Algérie.
- [9] **Zouaidia H. 2006** :Bilan des incendies de forêts dans l'Est Algérien : Cas de Mila, Constantine, Guelma et Souk-Ahres. Mémoire de Magister, Université de Constantine, Algérie. 135 p
- [10] **Medjelekh D. 1996** : Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment. Cas de l'habitation de l'époque coloniale a Guelma. Mémoire de Magister, Université de Constantine, Algérie, 303p.
- [11] **DSA, 2012**. Statistiques agricoles de la wilaya de Guelma, Direction des Services Agricoles, Algérie,
- [12] **Kali S. 2011**:Eléments d'analyse de la filière lait dans la wilaya de Guelma (Algérie). Livestock Research for Rural Development 23(5), 1-10 p.
- [13] **Bellara .S et al .1999** :Application de la méthode drastique dans la plaine alluviale Guelma- Bouchegouf-Annaba. Mémoire d'ingénieur, Université d' Annaba- 60 p.
- [14] **Erhard C. A., Margat, J. 1979**: Introduction à l'économie générale de l'eau. BRGM, Orléans, France.46p.
- [15] **DHW. 2013** : Direction de l'hydraulique de la wilaya de Guelma.

- [16] **Mouchara N, 2009.** Impacts des lâchées de barrage Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (Nord-Est algérien). Mémoire de Magister, Université de Annaba, Algérie
- [17] **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, Univ. Annaba. 256p.
- [18] **Djabri L. et al .2004 :**Impact du barrage Bouhamdane sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse (N.E Algérien). Watmed 2. Marrakech. Maroc. 10p.
- [19] **Louamri A. 2013 :**Le bassin-versant de la Seybouse (Algérie orientale): hydrologie et aménagement des eaux. Thèse de doctorat, Université. Constantine. Algérie. 300p.
- [20] **Bounouira H. 2007 :**Etude des Qualités Chimiques et Géochimiques du bassin versant du Bouregreg. Thèse doctorale, Université IBN TOFAIL, Kenitra, 295p.
- [21] **Maoui A. 2007 :**Evolution et origine du chimisme des eaux de l'aquifère superficiel de Zaâfrane : région de la steppe Sud Algéroise .Etude de la variation spatiale de la salinité et ses risques sur les sols et la végétation. Thèse de doctorat, Université d' Annaba. 298p.
- [22] **Bouchet R.J. 1963 :**Evapotranspiration réelle et potentielle. Signification climatique. Tnt. Assoc. Sci. Hydrol, Proc. Berkeley, Calif. Symp..Publ. 62: 134 142.
- [23] **Debiche T. H.2002 :**Evolution de la qualité des eaux (salinité et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle .Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord – Est Algérien. Thèse de doctorat, Université de Franche Comte . 235 p.
- [24] **Bagnouls F., Gaussen H. 1953 :**Saison sèche et indice thermique xéothermique. Doc. Carte product.Végét ,sér . Généralités, 3(1), 47 p.
- [25] **De Martonne E. 1923 :**Aréisme et indice d'aridité .Compte rendus de l'académie des sciences, Paris.
- [26] **Rodier J. 1996 :**Analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires et de mer. Ed, DUNOD.1996. Paris. 1383p.
- [27] **Ramousse.R.(2002)**-Cours de statistiques disponible sur internet.
- [28] **Richards LA, 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, USDA Handbook.