

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 45 قالمة
Université 8 mai 45 Guelma

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE
ET DE L'UNIVERS

DÉPARTEMENT : ECOLOGIE ET GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT



THESE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT

Spécialité : Sciences Biologiques

INTITULÉ

**Caractérisation hydrochimique et évaluation des
indicateurs de pollution dans l'environnement : cas
de l'oued Seybouse et ses affluents dans le sous-
bassin de Guelma (Nord-Est Algérien)**

Présenté par : Mr. GUETTAF Mohamed

Membres de jury :

Directeur de thèse : Mr. MAOUI. A. (Pr) Université de Guelma.
Président : Mr. HOUHAMDI. M. (Pr) Université de Guelma.
Examineurs : Mr. DERRADJI. E.F. (Pr) Université d'Annaba.
Mr. BENHAMZA.M (MCA) Université d'Annaba.
Mr. KACHIS. (MCA) Université de Guelma.
Mr. BENSACI. E (MCA) Université de Msila.

Année 2014/ 2015

Remerciements

Avant de présenter ce travail, tout d'abord, nous tenons à remercier notre grand seigneur Dieu tout puissant pour nous avoir donné la foi en Lui, d'avoir éclairé notre route et de nous avoir guidé dans le meilleur et le bon chemin.

Tout d'abord, je tiens à remercier Monsieur **MAOUI Amar**, mon encadreur, qui m'a encouragé, pour ses conseils avisés et son suivi de près de cette thèse. Je tiens à lui exprimer ma profonde gratitude pour sa disponibilité pour répondre à mes interrogations et mes incertitudes, pour le temps consacré aux corrections du manuscrit (même durant ses vacances!), pour ses idées scientifiques enrichissantes, sa gentillesse et sa bonne humeur.

A notre Maître et président du jury: Professeur **Moussa HOUHAMDI**: C'est un grand honneur que vous nous accorder en acceptant de bien vouloir présider ce jury malgré vos multiples occupations. Vous avez cultivé en nous le sens de travail bien fait et la rigueur dans la démarche scientifique. C'est ici l'occasion de vous rendre cet hommage, de vous dire combien de fois nous avons été séduits par votre rigueur scientifique, ainsi que vos qualités humaines qui font de vous un homme hors du commun. Je tiens à vous remercier pour votre disponibilité constante et pour vos conseils si précieux.

Veillez accepter cher maître l'expression de notre sincère administration et notre profonde reconnaissance.

Mes vifs remerciements s'adressent également à **Monsieur DERRADJI El Fadel**, Professeur à l'université Badji Mokhtar de Annaba, pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Monsieur **Moussa BENHAMZA**, maître de conférences à l'université d'Annaba, accepté d'examiner notre travail. Nous tenons à lui exprimer ici toute notre gratitude.

Mon grand remerciement s'adresse à Monsieur **Slimane KACHI**, maître de conférences à l'université 8 mai 45 de Guelma qui a accepté de juger et critiquer ce travail.

Je remercie, également, Monsieur **Ettayeb BENSACI**, maître de conférences à l'université de Msila, d'avoir accepté d'examiner ce travail et faire partie de ce jury.

A Mr **Lahcen BENAABIDATE** professeur à la faculté des sciences de Fès Maroc : je ne trouve pas de mots pour exprimer mes sentiments à votre égard, je vous dirai simplement merci pour tout ce que vous avez fait pour moi à la réalisation de ce travail.

Mes remerciements vont également au laboratoire qui m'a reçue, et où j'ai pu m'initier à différentes techniques analytiques. Au laboratoire de chimie à l'école Militaire de Borj El Bahri Alger : à Mr **LAMOURI Saad** professeur colonel, à Monsieur **Zaher IHDENE** lieutenant colonel, auprès d'eux j'ai acquis les techniques de la chromatographie.

المخلص

على غرار كامل المناطق التي تقع في الشمال الشرقي للجزائر، فإن المنطقة التي أجريت فيها الدراسة تزخر بثروة مائية سطحية معتبرة، و التي يجب ايلاء اهتمام خاص بها. يعتبر وادي السيوس 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 يفدر تدفق المياه لهذا الوادي عند محطة التسجيل ببوضروة (بوشقوف) بحوالي 408 مليون م³ سنويا.

بالتوازي مع النمو السكاني السريع، وكذلك النهوض في زمن قياسي بقطاعي الزراعة و الصناعة خلال العقود الأخيرة. فإن وادي السيوس 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 فإن التشخيص على نوعية المياه و الرواسب كان أمرا ضروريا و لابد منه لتحديد واقتراح حلول للمشاكل المحتملة المتعلقة بالموارد المائية.

لهذا الغرض، تم اخذ عينات من المياه والرواسب من اثني عشرة محطة في موسم الأمطار وموسم الجفاف، كما انه تم تحليل مخبري متعدد التخصصات وشمل العوامل الفيزيوكيماوية (T°, pH, C.E, MES, O₂, DBO₅, DCO, Cl⁻, PO₄³⁻, NH₄⁺ et NO₃⁻) و كذلك تقييم التلوث عن طريق المعادن الثقيلة مثل، (Fe, Pb, Cu, Zn, ..)، الزيوت و الدهون و بقايا المبيدات.

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. على عكس مياه الوادي، فإن نتائج التحاليل بينت بان الرواسب هي أكثر تلوثا بمختلف المواد الكيميائية السامة و الغير قابلة للتحلل بيولوجيا على غرار (بقايا المبيدات، الأسمدة، المضادات الحيوية البيطرية، المنظفات، المواد الصيدلانية، و الزيوت العطرية) مما يعكس الاستعمال الغير الرشيد لمثل هذه المواد من طرف قطاعي الصناعة و الفلاحة على وجه الخصوص. مما يمكن أن تؤدي إلى عواقب وخيمة على النظم الايكولوجية المائية و كذلك على صحة الإنسان.

الكلمات المفتاح : التلوث، المياه السطحية، السيوس، الزيوت و الدهون، العوامل الفيزيوكيماوية، المبيدات، المعادن الثقيلة.

RÉSUMÉ

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 (Boucheougouf).

Parallèlement à l'essor démographique rapide, le développement record des secteurs agricole 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-Boucheougouf.

En outre, un diagnostic sur la qualité de l'eau et des sédiments 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 et de sédiments ont été effectués au niveau de douze stations en période humide et en période sèche. Ainsi, une analyse multidisciplinaire a concerné en particulier, les paramètres physicochimiques (T°, pH, C.E, MES, O₂, DBO₅, DCO, Cl⁻, PO₄³⁻, NH₄⁺ et NO₃⁻), l'évaluation de la contamination par les éléments traces (Fe, Pb, Cu, Zn, ..), les huiles et les graisses et les résidus de pesticides.

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 et aussi les concentrations trop faibles voir nulles en huiles et graisses 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.

Contrairement, aux eaux, les sédiments sont fortement contaminés par de multiples substances chimiques toxiques et bioindégradables (des résidus de pesticides, engrais, antibiotiques vétérinaires, détergents, produits pharmaceutiques, des huiles essentielles...). Cela reflète, sans doute, l'utilisation irrationnelle de ces produits par, le secteur agricole et industriel notamment, et qui peuvent alors engendrer de graves conséquences pour les écosystèmes aquatiques et la santé humaine.

Mots clés : Contamination, Eaux de surface, Seybouse, huiles et graisses, Paramètres physico-chimiques, pesticides, métaux lourds.

ABSTRACT

Like all regions of Northeastern Algeria, the study area has considerable surface water wealth, to which particular attention must be reserved. The Seybouse wadi, which is fed by a network of rivers, is one of the most important rivers of this region, it drains the Guelma's basin West-East direction substantially over nearly 45 km with a total estimated intake to 408 hm³ / year to Boudraoua station (Boucheougouf).

In parallel with the rapid population growth, the record development of agriculture and industry knows that the study area in recent decades, the Seybouse Wadi, became the seat of important illegal dumping and polluting discharges,

This study, in first, aims to make a hydrochemical characterization of surface waters of the wadi, due to their largely operating in irrigation with an average area of 12 000 hectares covering the perimeter of the Guelma-Boucheougouf plain.

In addition, a diagnosis on the quality of water and sediment has been indispensable to identify and propose solutions to potential problems related to the water resource.

For this purpose, samples of water and sediment samples were performed at twelve stations in the wet season and dry season. Thus, a multidisciplinary analysis concerned in particular the physicochemical parameters (T° , pH, C.E, MES, O₂, DBO₅ DCO, Cl⁻, PO₄³⁻, NH₄⁺ et NO₃⁻), the evaluation of contamination with trace elements (Fe, Pb, Cu, Zn, ..), oils and fats, and pesticide residues.

The analysis results show that the waters of this wadi are characterized by high natural mineralization and concentrations substantially higher than the standards recommended by WHO and Algerian standards off different settings and also very low concentrations or no oil and fats testifying in general that the waters of this river are of good quality.

The concentrations of the metal elements are not worrisome, and the degree of metal contamination varies from one site to another according to the separation distance from the source of pollution.

In contrast, waters, sediments are highly contaminated with many toxic chemicals biologically non-degradable (Pesticide residues, fertilizers, veterinary antibiotics, detergents, pharmaceuticals, essential oils...). This reflects, no doubt, the irrational use of these products by, the agricultural and industrial sector in particular, which can then lead to serious consequences for aquatic ecosystems and human health.

Keywords: Contamination, Surface water, Seybouse, oils and fats, physico-chemical pesticides, heavy metals.

LISTE DES FIGURES

N°		Page
Figure 01	Situation géographique de la zone d'étude	4
Figure 02	Esquisse géologique de la région d'étude (in Mouchara, 2009)	7
Figure 03	Les zones hydrogéologiques du bassin versant de la Seybouse à partir de Guelma (d'après Ghachi, 1982).	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 millions ; Source: DSMW-FAO-UNESCO	14
Figure 06	Coupe Hydrogéologique N-S dans la plaine de Guelma (d'après B. Gaud, 1974)	18
Figure 07	Situation de stations hydrométrique sur le bassin versant de la Seybouse (Source :Mouchara, 2009).	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	30
Figure 13	Températures moyennes interannuelles à la station de Guelma (1990-2013)	30
Figure 14	Variation de l'évaporation moyenne mensuelle—Station : Guelma (1990-2013)	31
Figure 15	Variation des précipitations moyennes mensuelles	32
Figure 16	Variation interannuelle des précipitations pour la station Guelma (1990-2013)	33

Figure 17	Variation du coefficient pluviométrique - Stations de Guelma (1990-2013)	33
Figure 18	Répartition saisonnière des précipitations pour la station de Guelma	34
Figure 19	Bilan d'eau par la méthode de Cw. Thornthwaite (station : Guelma)	37
Figure 20	Diagramme Ombrothermique - Station de Guelma (1990-2013)	39
Figure 21	Climagramme d'Emberger (Station : Guelma)	41
Figure 22	Situation des points d'échantillonnage	43
Figure 23	Variation de la Température	45
Figure 24	Variation de la conductivité électrique	46
Figure 25	Variation du pH	46
Figure 26	Variation du Eh	47
Figure 27	Variation de l'oxygène dissous	48
Figure 28	Variation des teneurs en calcium et magnésium (mg/l)	50
Figure 29	Variation des teneurs en chlorure (mg/l)	51
Figure 30	Variation des teneurs en sodium (mg/l)	51
Figure 31	Variation des teneurs en Bicarbonates (mg/l)	52
Figure 32	Variation des teneurs en sulfates (mg/l)	53
Figure 33	Variation des teneurs en nitrate (mg/l)	54
Figure 34	Variation des teneurs en nitrite (mg/l)	55
Figure 35	Variation des teneurs en ammonium (mg/l)	55
Figure 36	Variation des teneurs en orthophosphate (mg/l)	56
Figure 37	Variation du rapport DCO/DBO ₅	57
Figure 38	Variation de la DCO et la DBO ₅ (mg/l)	57
Figure 39	Variation des MES (mg/l)	58
Figure 40	Projection des variables sur le plan factoriel (1-2)	61
Figure 41	Projection des variables sur le plan factoriel (1-3)	61
Figure 42	Digramme de Piper	62
Figure 43	Variation de l'indice de saturation de la dolomite	66
Figure 44	Variation de l'indice de saturation de la calcite	66
Figure 45	Variation de l'indice de saturation de l'Aragonite	67
Figure 46	Variation de l'indice de saturation du gypse	67
Figure 47	Diagramme de Richards	70
Figure 48	Diagramme de Wilcox	70

Figure 49	Représentation schématique des différents types de rejets et de pollutions (Edwards et al., 2000 in Chaguer, 2013).	73
Figure 50	Exemple de cycle des métaux traces dans les milieux aquatiques (Weilenmann et al., 1989 ; Ramarosan, 2008)	84
Figure 51	Carte des sites d'échantillonnages	86
Figure 52	Variation spatiale du Fer dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013	92
Figure 53	Variation spatiale du Cuivre dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013	93
Figure 54	Variation spatiale d'aluminium dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013	94
Figure 55	Variation spatiale d'arsenic dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013	96
Figure 56	Variation spatiale du Chrome dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013	97
Figure 57	Variation spatiale du Manganèse dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013	98
Figure 58	Variation spatiale du Nickel dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013	100
Figure 59	Variation spatiale du Zinc dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013	102
Figure 60	Variation spatiale du Plomb dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013	103
Figure 61	Variation spatiale du Cadmium dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013	105
Figure 62	Analyseur de la teneur en huile HORIBA OCMA-310	108
Figure 63	Schéma représentant le processus de mesure	109
Figure 64	Evolution des teneurs en huiles et graisses dans les eaux de surface	110
Figure 65	Schéma d'un couplage appareil de couplage	123
Figure 66	Profil chromatographique de la station S1	127
Figure 67	Exemple d'un spectre de masse correspondant d'un composé chimique sur le chromatogramme de la station S1 dont le temps de rétention égale à 35.77 minute	128

Figure 68	Listes de substances fournies par la bibliothèque NIST T 2005	128
Figure 69	Profil chromatographique de la station S2	129
Figure 70	Profil chromatographique de la station S3	129
Figure 71	Profil chromatographique de la station S4	130
Figure 72	Profil chromatographique de la station S5	130
Figure 73	Profil chromatographique de la station S6	131
Figure 74	Profil chromatographique de la station S7	131
Figure 75	Profil chromatographique de la station S8	132
Figure 76	Profil chromatographique de la station S9	132
Figure 77	Profil chromatographique de la station S10	133
Figure 78	Profil chromatographique de la station S11	133
Figure 79	Profil chromatographique de la station S12	134

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 de 1988/1989 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	29
Tableau 10 Températures moyennes mensuelles en °C (1990-2013)	29
Tableau 11 Evaporation moyenne mensuelle en mm (1990-2013)	31
Tableau 12 Précipitation moyenne mensuelle	32
Tableau 13 Répartition saisonnière des précipitations	34
Tableau 14 Calcul de l'ETR par la formule de Turc (annuel).	35
Tableau 15 Bilan d'eau par la méthode C.W Thornthwaite à la station de Guelma (1990- 2013)	36
Tableau 16 Ruissellement par la formule de Tixeront-Berkaloff	38
Tableau 17 Bilan hydrologique	38
Tableau 18 Variation de La température, pH ,conductivité électrique (μ s/cm) ,EH (mV) et oxygène dissous (mg/l)	49
Tableau 19 Inertie dans les 5 premières composantes principales	59
Tableau 20 Matrice de corrélation	59
Tableau 21 Corrélation entre variable et poids factoriels	60
Tableau 22 Statistiques des indices de saturations	65
Tableau 23 Rejets des eaux usées domestiques : Cas d'assainissement de la wilaya de Guelma (DHW Guelma , 2007)	75

Tableau 24	Actualisation des installations classées de Guelma et les milieux récepteurs de leurs rejets (Direction de l'Environnement Guelma, 2014).	76
Tableau 25	Résultats d'analyses des rejets d'effluents liquides industriels complexe de porcelaine Guelma (Mai 2008) (Source direction de l'environnement Guelma)	77
Tableau 26	Caractéristiques physico-chimiques de la boue de filtration (SSS, Mars 2014)	78
Tableau 27	Caractéristiques physico-chimiques du gâteau issu de la déshydratation par filtre presse	79
Tableau 28	Types et quantités de fertilisants utilisés dans la wilaya de Guelma durant la campagne (2005 – 2006)	80
Tableau 29	Identification des engrais utilisés dans la zone d'étude (2004 / 2006)	80
Tableau 30	Utilisation courante des métaux dans l'industrie	82
Tableau 31	Coordonnées des sites de prélèvements le long du cours principale de l'Inaouène et certains affluents	85
Tableau 32	Les limites de détection et de quantification des éléments traces	89
Tableau 33	Justesse et répétitivité des mesures de SLRS-4 par ICP	90
Tableau 34	Ordre d'enrichissement des stations d'étude pour chaque métal dans l'eau	106

LISTE DES ABRÉVIATIONS

- ABHCSM** : Agence des Bassins Hydrologiques Constantinois-Seybouse-Mellegue.
- ACP**: Analyse de la Composante Principale.
- AEP** : Alimentation en Eau Potable.
- ANDI** : Agence Nationale de Développement de l'Investissement.
- CAS** : Chemical Abstracts Service : Numéro d'enregistrement.
- CMD** : Coefficient Mensuels de Débits.
- CNRST**: Centre National des Recherches Scientifique et Technique.
- CPG** : Chromatographie en Phase Gazeuse.
- CPG/SM**: Chromatographie en phase gazeuse couplée à un Spectromètre de Masse.
- DBO₅**: Demande Biochimique en Oxygène en cinq jours.
- DCO** : Demande Chimique en Oxygène.
- DHW**: Direction de l'Hydraulique de la Wilaya.
- DSA** : Direction des Services Agricoles.
- EI** : Impact Electronique.
- EMAG** : Esters Méthyliques d'Acides Gras.
- ENA** : Entreprise Nationale Algérienne.
- ETM** : Eléments Métalliques Traces.
- FAO** : Food and Agriculture Organization.
- ha** : hectare.
- Hm³**: Hectomètre cube.
- ICP-AES** : Spectrométrie d'Emission Atomique Couplé à un Plasma Induit.
- ISO** : Organisation Internationale de Normalisation.
- JORA**: Journal Officiel de la République Algérienne.
- LLE** : Extraction Liquide Liquide.
- MES** : Matière En Suspension.
- MO** : Matière Organique.
- NIST**: National Institute of Standards and Technology((Institut National des Normes et de technologies).
- NQE** : Norme de Qualité Environnementale.
- OAIC** : Office Algérien interprofessionnel des céréales.
- SAT** : Surface Agricole Totale.
- SBME** : l'extraction sur bureau d'agitation.
- SFE** : Extraction par Fluide super critique.

SIM : Specific Ion Mode (Mode Ion Spécifique).

SPE : Extraction sur Phase solide.

SPME : la micro-extraction sur phase solide

SSS : Station de Surveillance de Skikda.

STEP : Station d'Epuraton

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

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Table des matières	
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
Chapitre II : Ressources hydriques	
II.1. Ressources hydriques	16
II.1.1. Les eaux de surface	16
II.1.2. Les eaux souterraines	17
II.1.3. Ressources en eau non conventionnelle	19
II.2. Etude des débits	19
II.2.1. Débits moyens mensuels	20
II.2.2. Débits moyens annuels	22
II.2.3. La variation de l'écoulement en fonction des précipitations	24
II.3. Type de régime	26
Conclusion	28

Chapitre III: Hydroclimatologie

III. Hydroclimatologie	29
III.1. La température	29
III.2. L'évaporation	30
III.3. Les précipitations	31
III.3.1. Précipitation moyenne mensuelle	32
III.3.2. Précipitation moyenne annuelle	32
III.3.3. Répartition saisonnière des précipitations	34
III.4. Evapotranspiration	34
a. La formule de Turc (moyenne annuelle)	35
b- la méthode de l'eau de C.W.Thornthwaite	35
III.5. Estimation du ruissellement	37
III.6. Estimation de l'infiltration	38
III.7. Rythme climatique	38
a. Diagramme pluviothermique	38
b- Indice de De. Martonne	39
c- Climagramme d'EMBERGER	40
Conclusion	41

Chapitre IV : Hydrochimie

IV.1. Introduction	42
IV.2. Méthodes d'analyses	42
IV.3. Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ)	44
✚ Température (T)	44
✚ La conductivité électrique	45
✚ Potentiel d'Hydrogène (pH)	46
✚ Potentiel d'oxydoréduction (Eh)	47
✚ Oxygène dissous (O ₂)	47
IV.4. Les éléments majeurs	50
✚ Calcium (Ca ²⁺)	50
✚ Magnésium (Mg ²⁺)	50
✚ Chlorure (Cl ⁻) et Sodium (Na ⁺)	51
✚ Potassium (K ⁺)	52
✚ Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	52
✚ Sulfates (SO ₄ ²⁻)	53

IV.5. Les nutriments	53
✚ Les Nitrates NO_3^-	54
✚ Les Nitrites NO_2^-	54
✚ L'Ammonium (NH_4^+)	55
✚ Les orthophosphate (PO_4^{3-})	56
✚ La DBO_5 et la DCO	56
✚ Les MES	57
IV.6. Analyse statistiques des données physico-chimiques	58
IV.7. Thermodynamique	62
* Notion d'indice de saturation	63
* La constante d'équilibre K_{eq}	64
IV.7. Aptitude des eaux à l'irrigation	68
Conclusion	71
Chapitre V : Étude de la pollution	
V.1. Introduction	72
V.2. Origine des polluants	72
V.3. Types de polluants	73
V.3.1. Pollution domestique et eaux usées	73
V.3.2. Pollution industrielle (installations classées)	74
V.3.2.1. Caractéristiques des effluents liquides du complexe de porcelaine Guelma	77
V.3.2.2. Caractéristiques des eaux usées industrielles de la sucrerie raffinerie de Guelma	78
V.3.3. Pollution d'origine agricole	79
V.3.4. Pollution métallique	80
V.3.4.1. Rappels généraux sur les métaux lourds	80
V.3.4.2. Spéciation des métaux dans le milieu aquatique	82
V.3.4.3. Les effets biochimiques des métaux lourds	83
V.4. Matériel et méthodes	85
V.4.1. Echantillonnage	85
V.4.2. Principe de l'ICP	87
V.4.3. Les interférences	87
V.4.4. Préparation des échantillons, des solutions étalons et des blancs	88

V.4.5. Limites de détection et de quantification	88
V.4.6. Validité des analyses	90
V.4.6.1. Justesse	90
V.4.6.2. Etalon interne	91
V.5. Résultats et discussion des études géochimique des éléments métalliques analysés	91
❖ Le fer	91
❖ Le cuivre	92
❖ L'aluminium	93
❖ L'arsenic	94
❖ Le chrome (Cr)	96
❖ Le manganèse (Mn)	98
❖ Le nickel (Ni)	99
❖ Le zinc (Zn)	101
❖ Le plomb (Pb)	102
❖ Le cadmium (Cd)	104
V.6. Dosage des huiles et graisses totales dans l'eau de surface	107
V.6.1. Généralités	107
V.6.2. Appareillage	107
V.6.3. Mode opératoire	109
V.6.4. Résultats et discussion	110
Conclusion	111
Chapitre VI : Recherche et identification des pesticides	
VI.1. Introduction	113
VI.2. Définition des pesticides	113
VI.3. Classification des pesticides	114
VI.3.1. Selon leur utilisation	114
VI.3.1.1. Les pesticides à usage agricole	114
VI.3.1.2. Les pesticides à usage non agricole ou biocides	114
VI.3.2. Selon leurs familles chimiques	115
VI.3.2.1. Les organochlorés	115
VI.3.2.2. Les organophosphorés	115
VI.3.2.3. Les carbamates	116

VI.3.2.4 Les triazines	116
VI.4. Devenir des pesticides dans l'environnement	116
VI.4.1. Phénomènes de transfert	117
VI.4.2. Phénomènes de dégradation	117
VI.5. Toxicité des pesticides	118
VI.6. Matériel et méthodes	118
VI.6.1. Utilisations des produits phytosanitaires dans la région d'étude	118
VI.6.2. Echantillonnage	119
VI.6.3. Technique de prélèvement	119
VI.6.4. Préparation de l'échantillon et analyse chromatographique	120
VI.6.5. Stockage et pré traitement	120
VI.6.6. Extraction	120
VI.6.7. Evaporation	121
VI.6.8. Principe de fonctionnement de CPG/SM	122
VI.6.9. Appareillage	123
VI.7. Résultats	124
VI.8. Discussion	134
Conclusion	136
Conclusion générale	137
Perspectives	141
Références Bibliographiques	142
Annexes	

INTRODUCTION GÉNÉRALE

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.

En Algérie, et d'après le rapport sur la gestion de la qualité de l'eau et des interventions possibles du (Mediterranean Environment Technical Assistance Programme), les ressources en eau de surface provenant des précipitations annuelles, sont estimées à 12 400 millions de m³, les ressources renouvelables en eau sont actuellement de l'ordre de 665 m³/an par habitant. On estime qu'environ 95 % des ressources en eau de surface se trouve au Nord tandis que seulement 5% des ressources sont au Sud.

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

Vue ces considérations, et lorsque les ressources sont limitées, en plus de la sécheresse qui touche l'ensemble du pays d'une manière circonstancielle, cette nécessité devient urgente. Dans ce contexte, il peut être utile de rappeler que "la mesure quantitative et qualitative des éléments du cycle hydrologique et la mesure des autres caractéristiques de l'environnement qui influent sur l'eau, constituent une base essentielle pour une gestion efficace de l'eau" (Déclaration de Dublin, 1992).

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 (Nichane et al., 2014).

En outre, les études entamées depuis plusieurs décennies sur la qualité des eaux superficielles, en Algérie, ont pu mettre en évidence une dégradation accrue dans des bassins d'importance vitale sous l'effet des pressions croissantes. En effet, la demande globale d'eau augmente, ce qui exerce une pression sur les ressources disponibles, Parallèlement, la surexploitation et les altérations hydromorphologiques provoquées notamment par l'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et pesticides, l'urbanisme, les protections contre les crues, les décharges publiques, les loisirs et le rejet d'eaux résiduaires menacent la qualité physico-chimique et biologique des milieux aquatiques récepteurs et conduisent autant à un déséquilibre de l'écosystème.

Pour mieux savoir sauvegarder et gérer cette richesse très importante en eau, en 1983, l'Algérie a élaboré deux lois très importantes: la loi relative à la protection de l'environnement N°.83-03 qui traite spécifiquement de la protection contre la pollution de l'eau dans le chapitre 2, le code des eaux aux termes de la loi N°.83-17. Ce code fut, révisé modifié et complété en 1996 aux termes de la loi N°.96-13 (JORA, 1983).

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 Fedjoui, 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.

Ce réseau hydrographique très développé, dont les apports moyens s'élèvent à 408 Hm³/an à la station Boudaroua (DSA, 2011), est sujet alors à d'importants risques de pollution qui menacent la qualité des eaux en compromettant les divers usages de l'eau. Un diagnostic plus complet de la situation actuelle de la pollution et un suivi rigoureux de son évolution, s'avèrent d'une grande nécessité pour la sauvegarde de cet écosystème. C'est dans cette perspective que s'inscrit notre travail qui vient compléter et apporter des éléments nouveaux aux travaux antérieurs et consiste à étudier de l'impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux de surface d'oued Seybouse dans sa partie amont,

son évolution dans le temps et l'espace, en fonction de la variation des paramètres physico-chimiques de l'eau, pour pouvoir en fin élaborer des solutions performantes plus légères et moins onéreuses.

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 mésologique 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,
- Le cinquième chapitre aura pour but de décrire les grands types de pollution et les différentes sources engendrant un risque écotoxicologique important, menaçant l'équilibre des milieux aquatiques et la qualité des eaux. Ce chapitre rassemble aussi le mode opératoire et les techniques utilisées pour la détection et la quantification des éléments traces métalliques et des huiles totaux dans les eaux analysées.
- Le sixième et le dernier chapitre consiste à décrire et inventorier les différents types de produits phytosanitaires utilisés en agriculture dans la région et de mettre en évidence, par analyse chromatographique, la présence de certains résidus de pesticides associés aux sédiments de l'oued.

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 (Gaud, 1988). 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 Soultane et à l'Ouest par le massif du Djebel Arara (Boukrouh, 2005). 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.

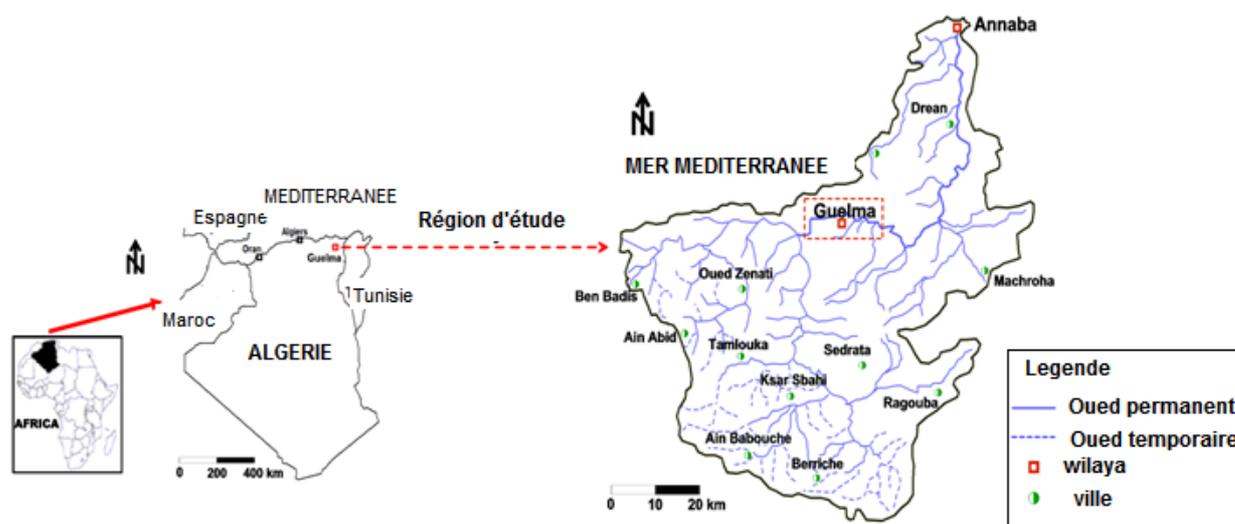


Figure 01: Situation géographique de la zone d'étude.

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, bimbelerie, 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 (ANDI,2013).

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'eau 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 (Bechiri, 2011).

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.

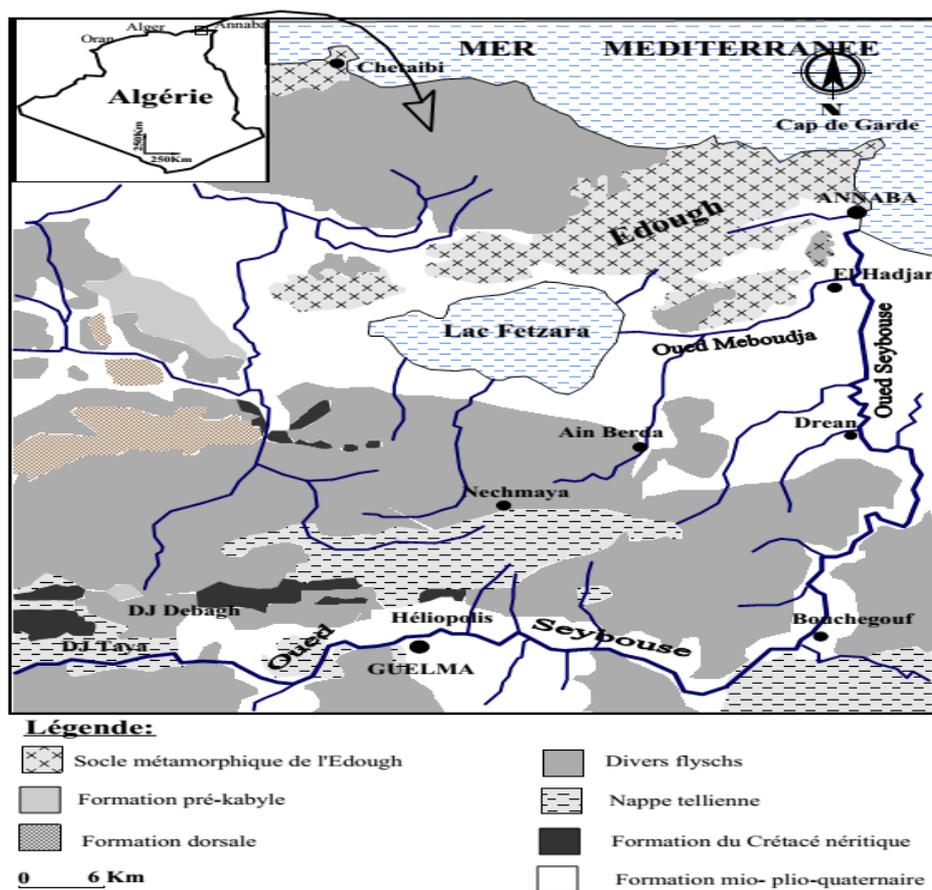


Figure 02: Esquisse géologique de la région d'étude (in Mouchara, 2009).

I.4.2. Caractéristiques hydrogéologiques du bassin de Guelma

La région de Guelma est constituée de terrain sédimentaires d'âge crétacé oligocène, Mio-pliocène 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, 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 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 Bousba, 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.

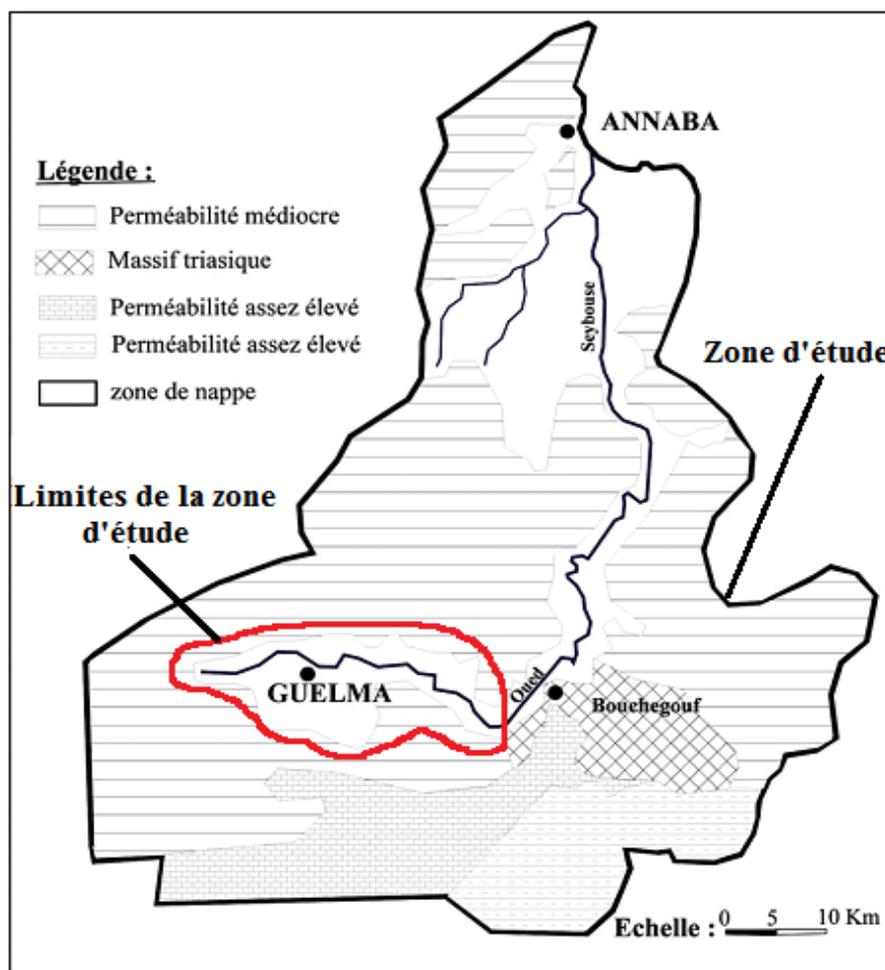


Figure 03: Les zones hydrogéologiques du bassin versant de la Seybouse à partir de Guelma (d'après Ghachi, 1982).

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 (Djabri et al., 2006).

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 km^2 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 (ABHCSM, 2005).

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).

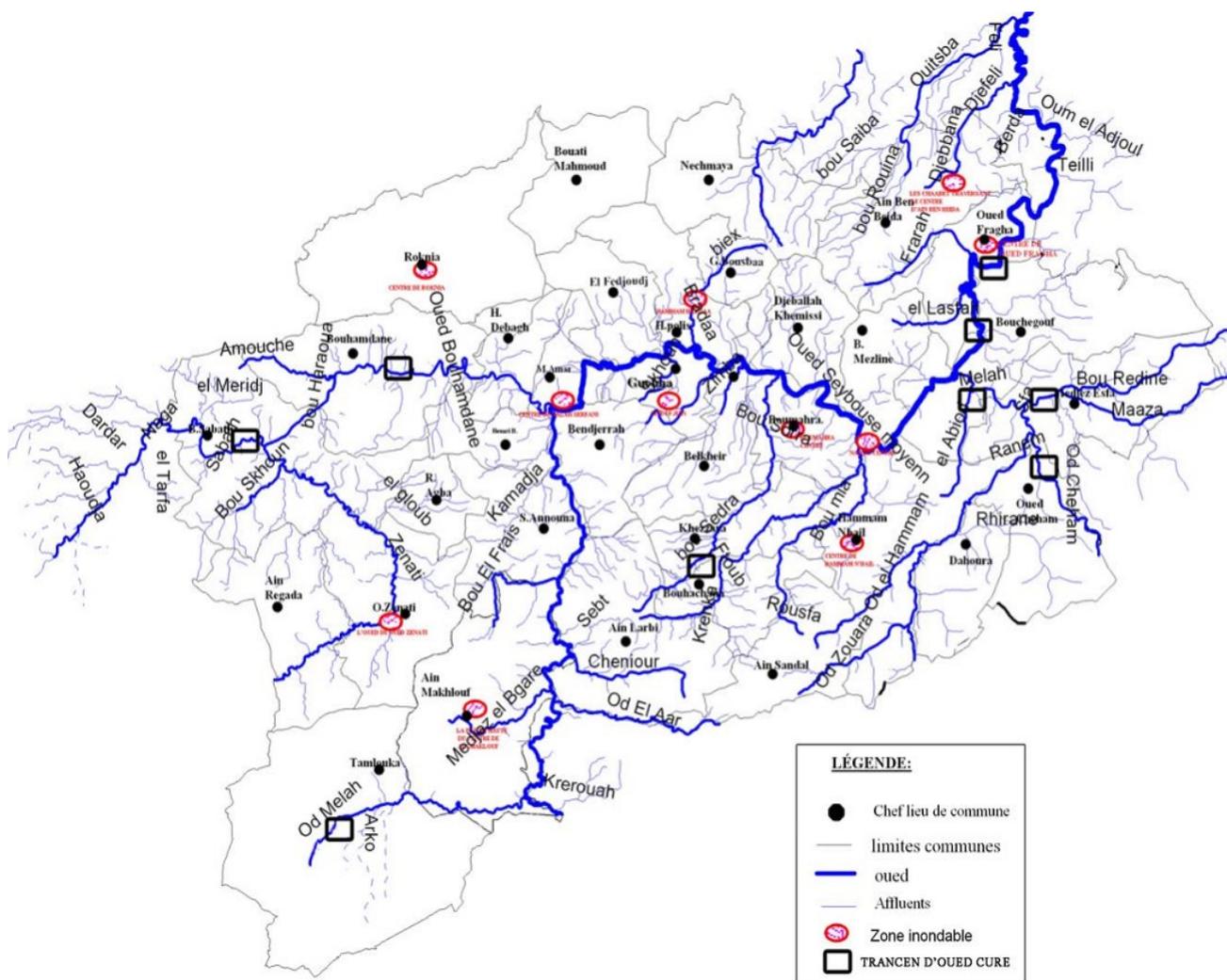


Figure 04: Le réseau hydrographique du bassin- versant de la Seybouse.

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 (Zouaidia, 2006). Un potentiel important de bois (chêne zen 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 (Medjelekh, 1996).

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 3000 ha 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 (DSA, 2012).

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 (Kali, 2011 in Bedouh, 2014).

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 maraîchère	01	
		Orge	2		Salade	0,5	
		Avoine	0		Oignon sec	01	
					Piment et poivron	02	
				Tomate industrielle	10		
El-Fedjoudj	Céréales	Blé dur	30	Orge + avoine = 220 Fourrage naturelle = 120	Pomme de terre	40	290
		Blé tendre	3		Tomate maraîchère	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
Mdjej Amar	Céréales	Blé dur	652	/	Pomme de terre	62	540
					Oignon sec et vert	09	
					Petit pois	06	
					Courgette	02	
					Salade	02	
		Blé tendre	120		Haricot vert + blanc	40	
					Ail	02	
					Pastèque	10	
		Orge	80		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 (Bellara, 1999).

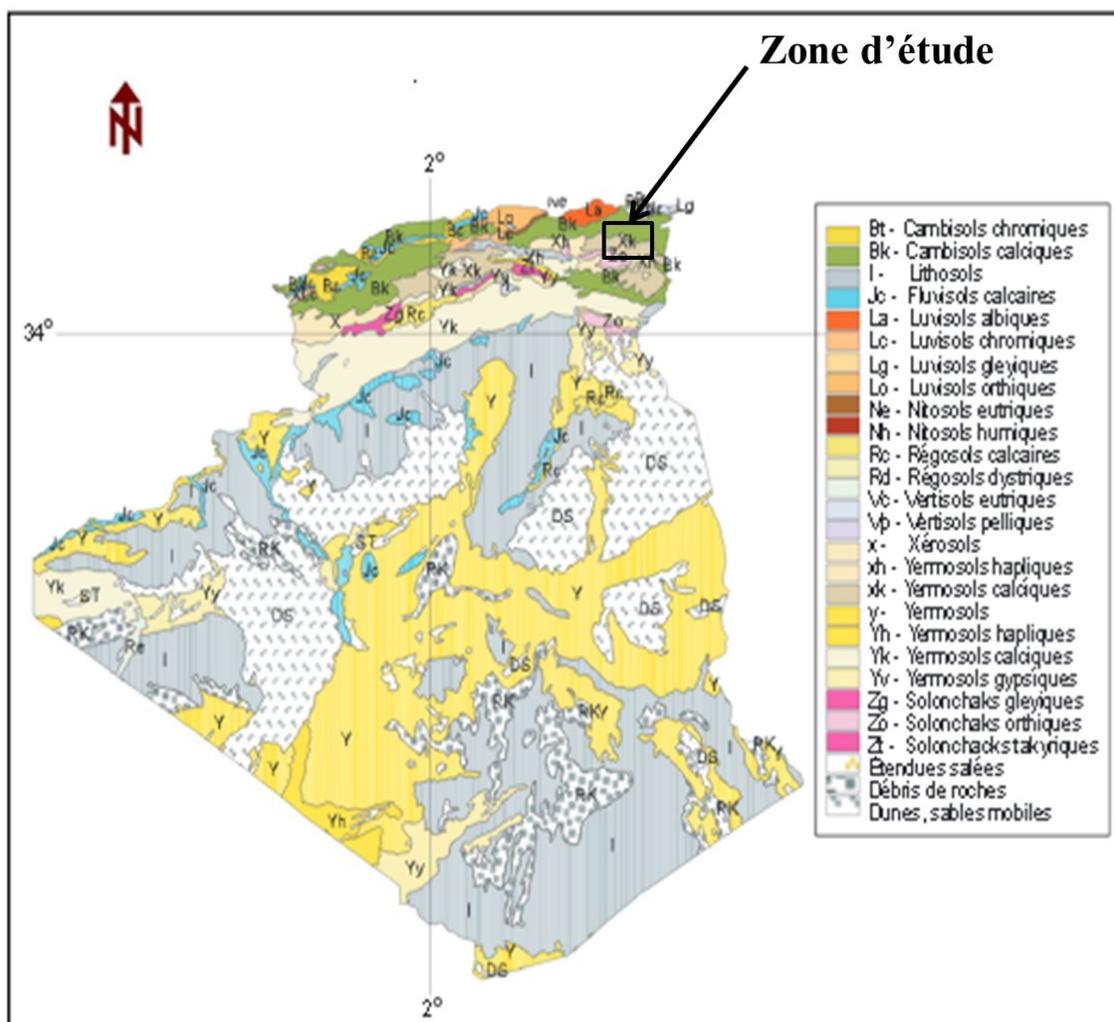


Figure 05: Carte des sols dominants de l'Algérie Echelle: 1:5 millions ; Source: DSMW-FAO-UNESCO.

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 (Erhard Cassegrain & Margat, 1979). Les ressources en eau en Algérie proviennent des eaux de surface, des eaux souterraines 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-Boucheougouf 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 coûts 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.

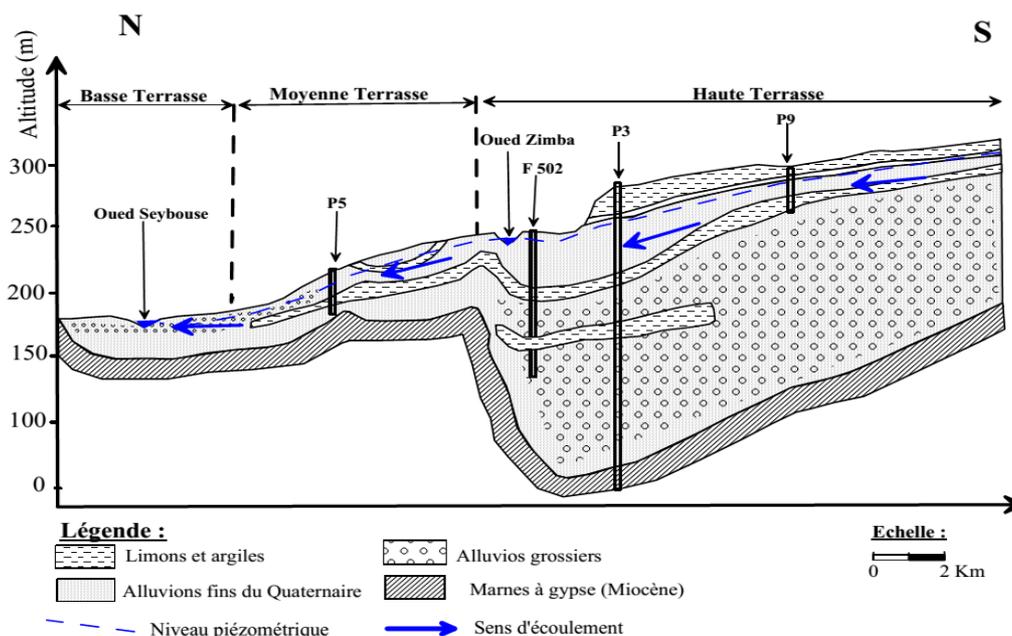


Figure 06: Coupe Hydrogéologique N-S dans la plaine de Guelma (d'après B. Gaud, 1974).

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 (DHW, 2013).

II.2. Etude des débits

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

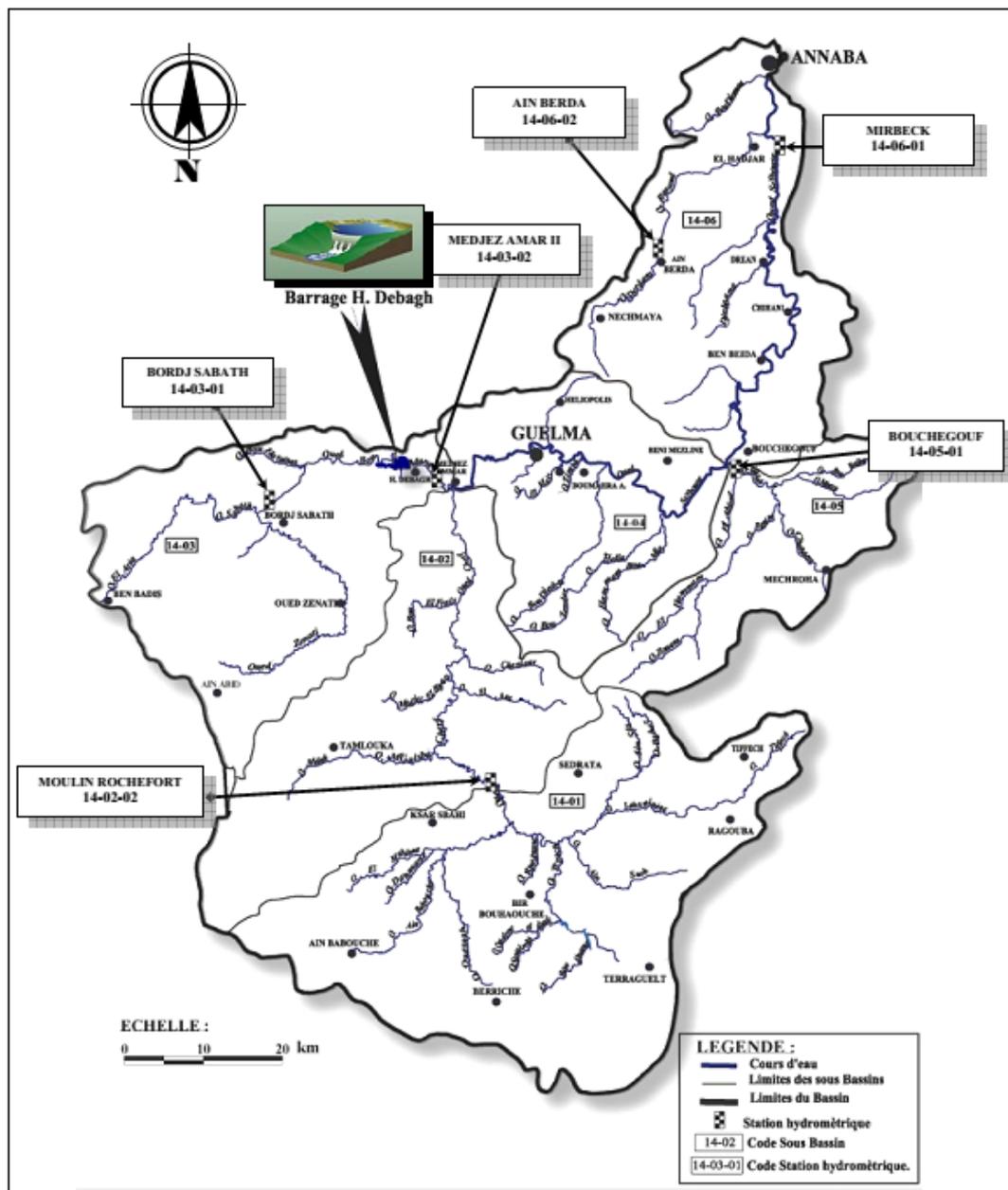


Figure 07: Situation de stations hydrométrique sur le bassin versant de la Seybouse
(Source :Mouchara, 2009).

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

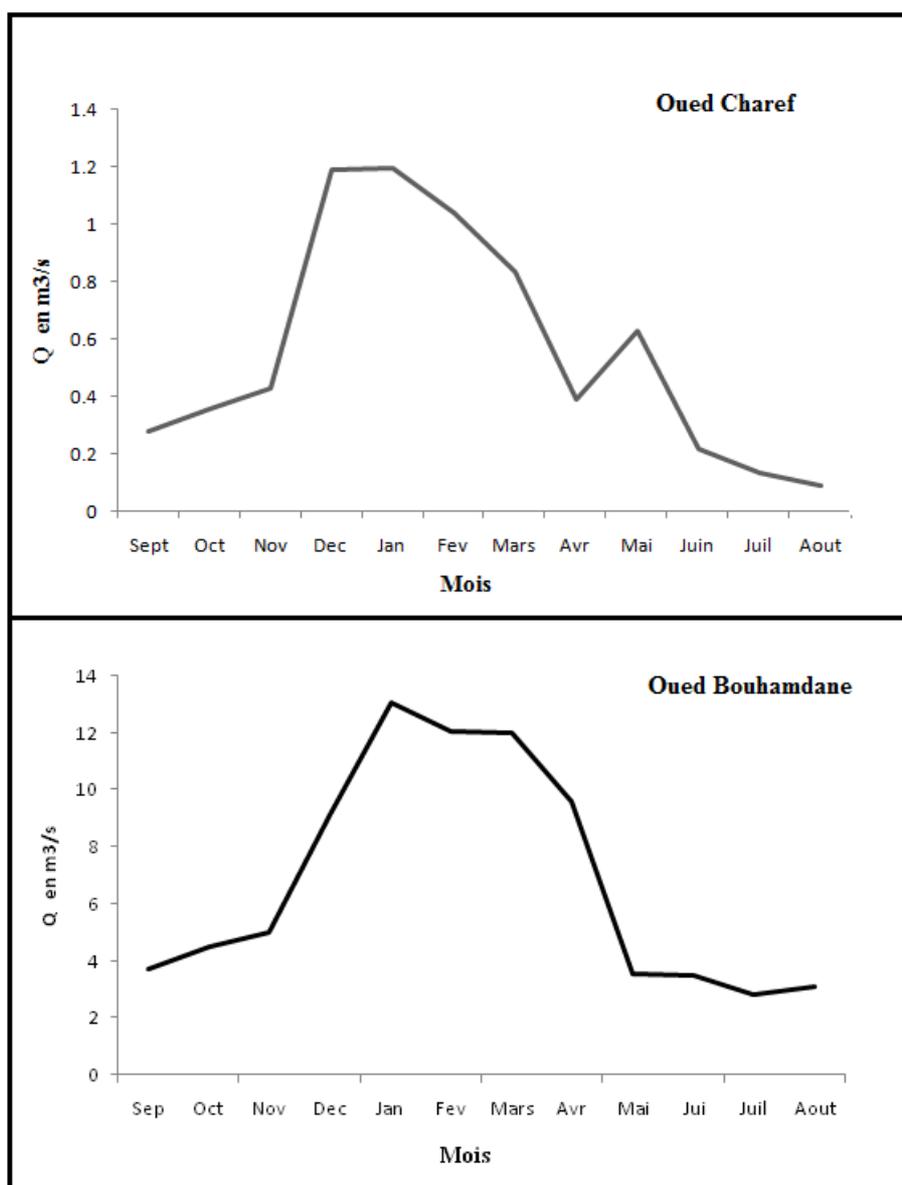


Figure 08 : Variations des débits moyens mensuels des deux principaux affluents de la Seybouse amont.

Pour le débit moyen mensuel du bassin versant de l'oued Bouhamdane, il se caractérise par un minimum correspond au mois de juillet ($2.82\text{m}^3/\text{s}$) et un maximum situé en Janvier ($13.05\text{m}^3/\text{s}$) 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

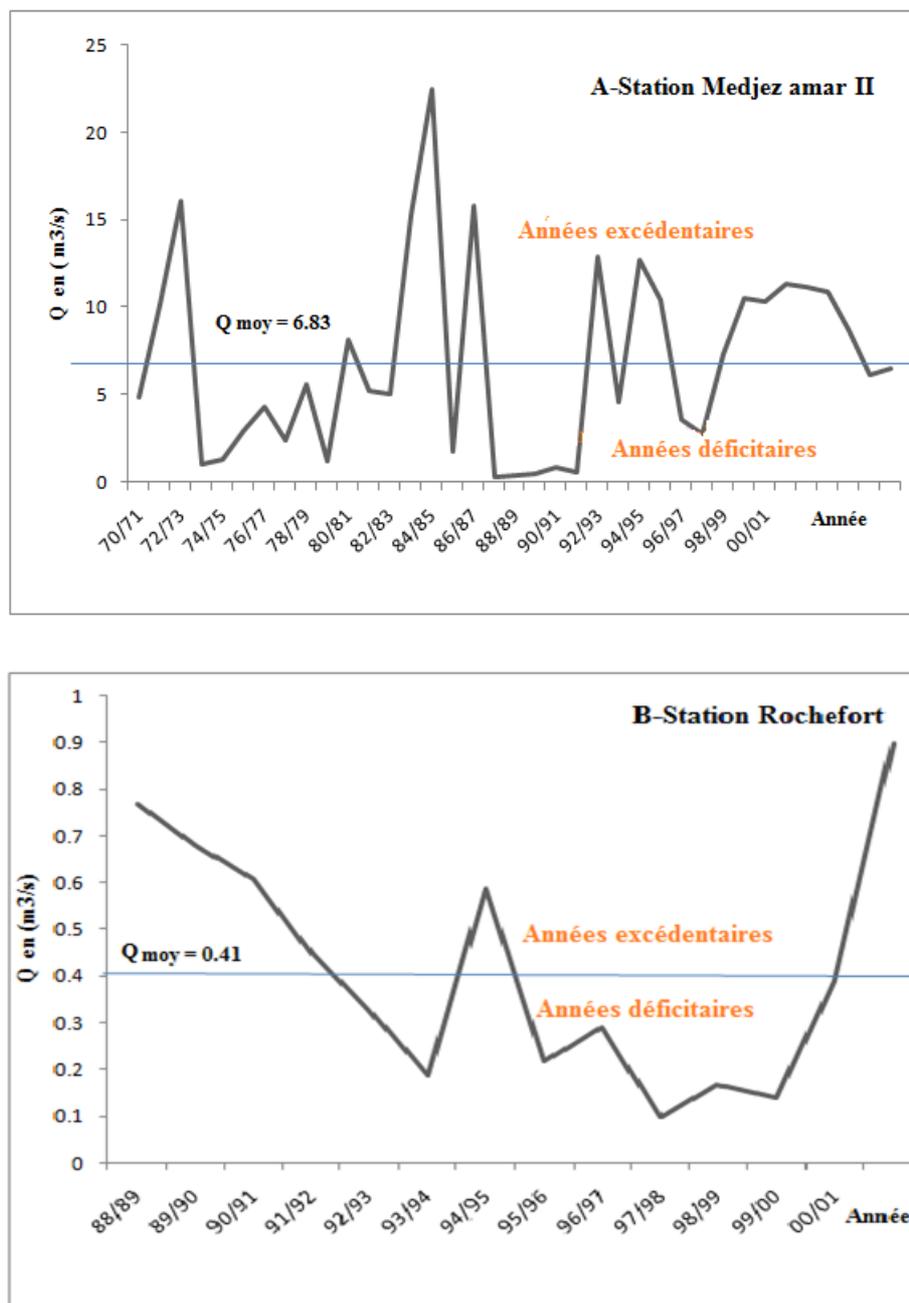


Figure 09 : Variation des débits moyens annuels (oued Charef-oued Bouhamdane).

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 m³/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 $13.2 \text{ m}^3/\text{s}$. (Djabri, 1996).

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. (Djabri et al, 2004)

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.

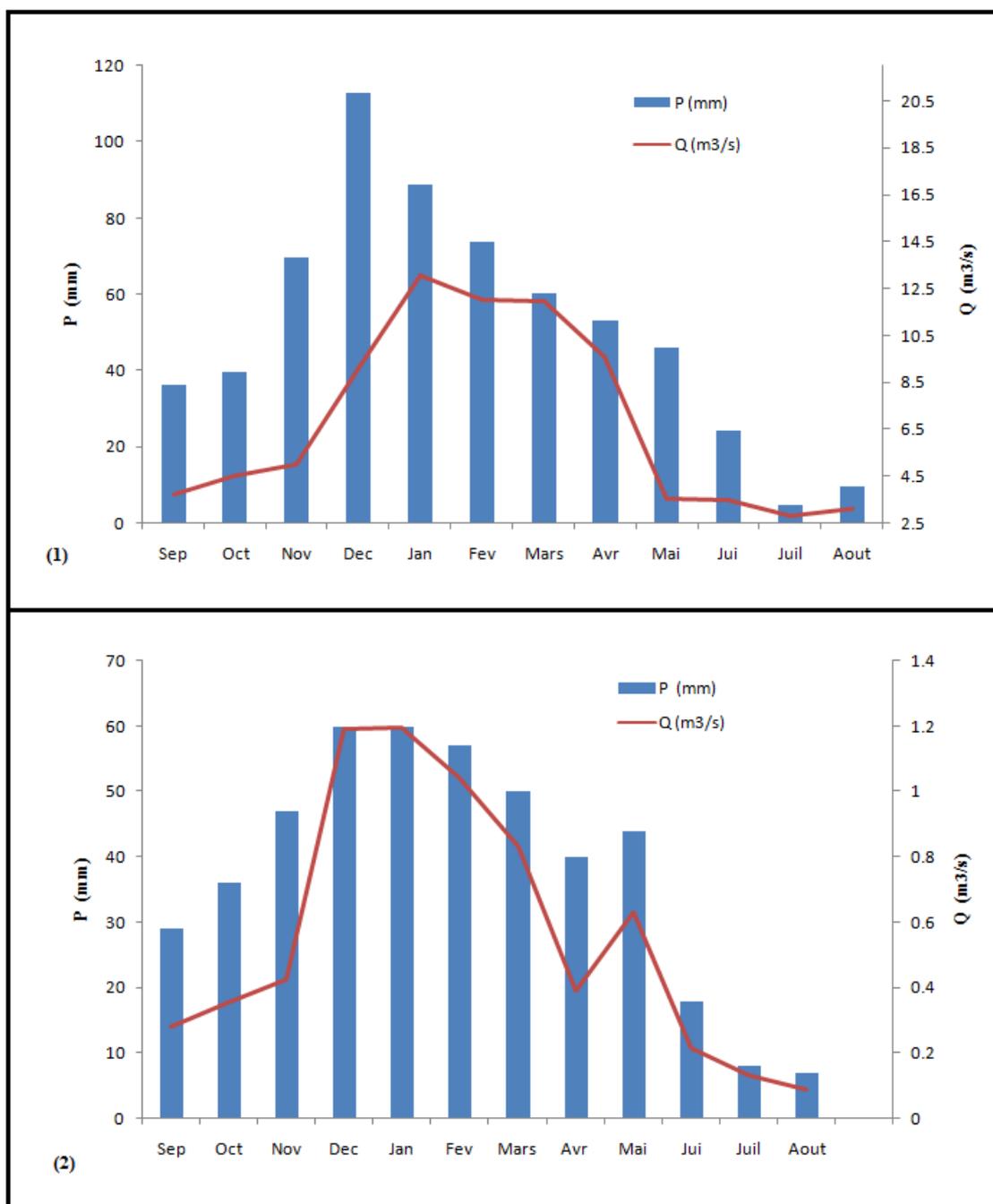


Figure 10: Variation des débits mensuels et des précipitations : (1)- Station pluviométrique Hammam Debagh, (2)- Station pluviométrique Sedrata.

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

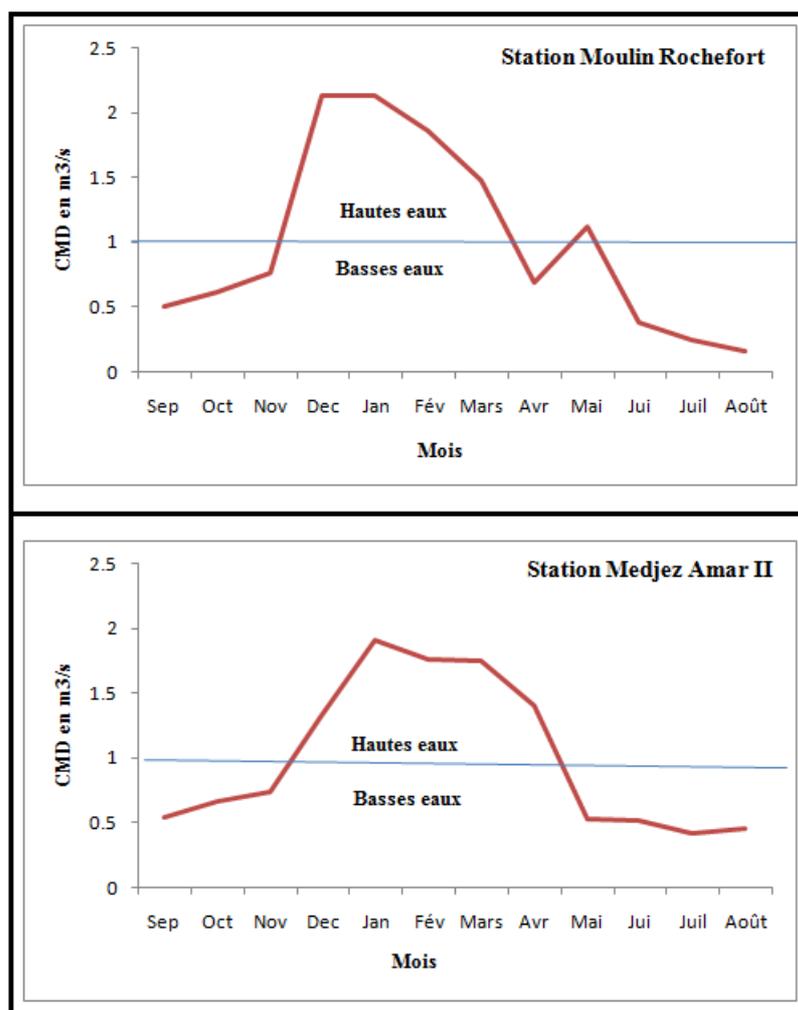


Figure 11 : Courbes des coefficients moyens des débits (CMD) des principaux affluents de l’oued Seybouse en amont : (1)- Oued Charef à moulin Rochefort: 1988/89—2001/02 ; (2)- Oued Bouhamdane à Medjez Amar II: 1968/69 — 2006/07.

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 hydroclimatiques, 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 référé 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 (Louamri, 2013). 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)

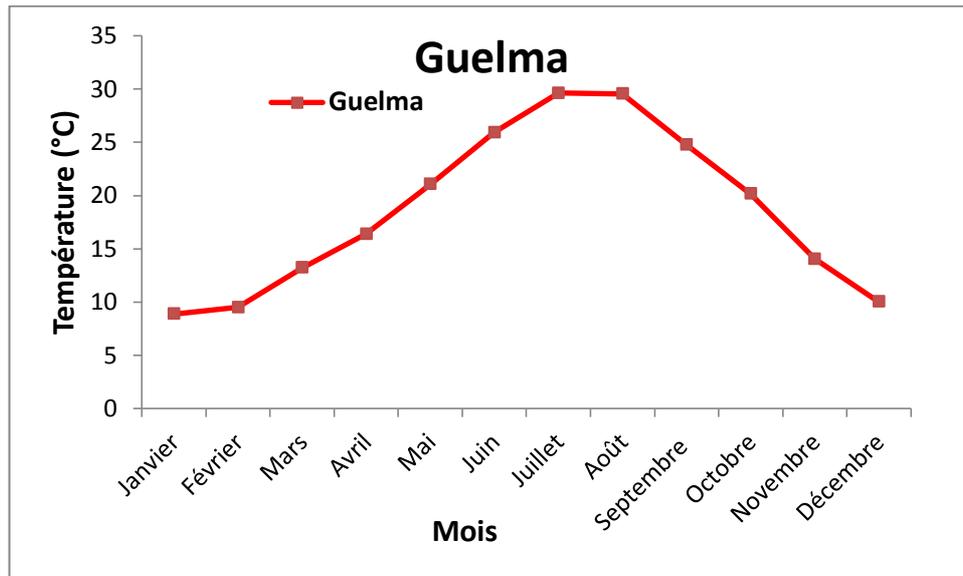


Figure 12 : Variation de la température moyenne mensuelle (1990-2013) pour la station de Guelma.

- 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.

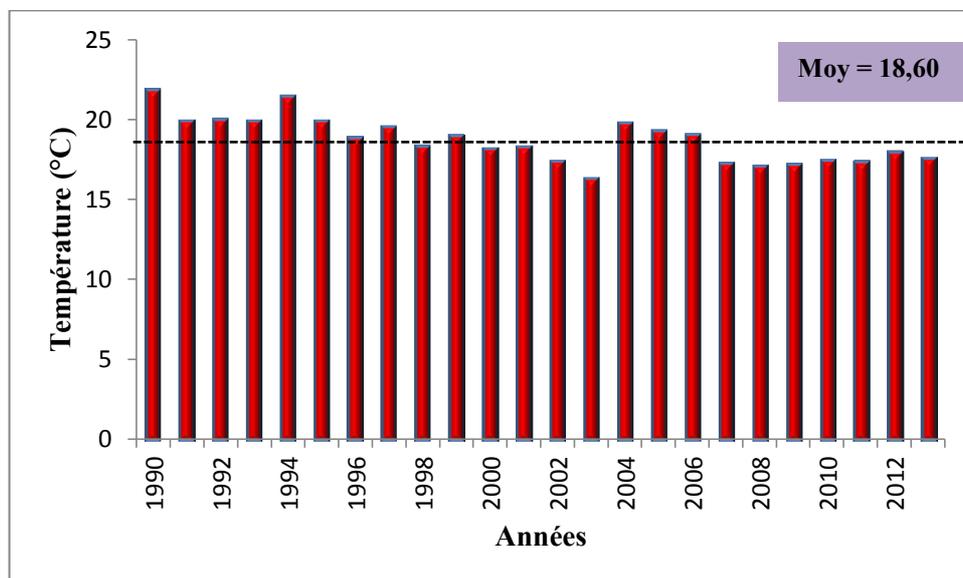


Figure 13 : Températures moyennes interannuelles à la station de Guelma (1990-2013).

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).

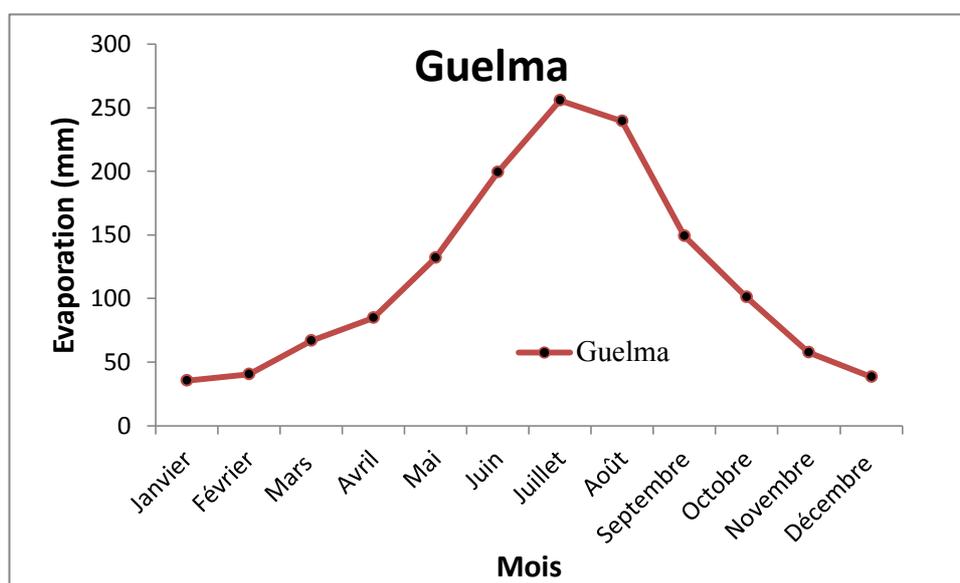


Figure 14 : Variation de l'évaporation moyenne mensuelle–Station : Guelma(1990-2013).

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 les 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 (Bounouira, 2007).

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

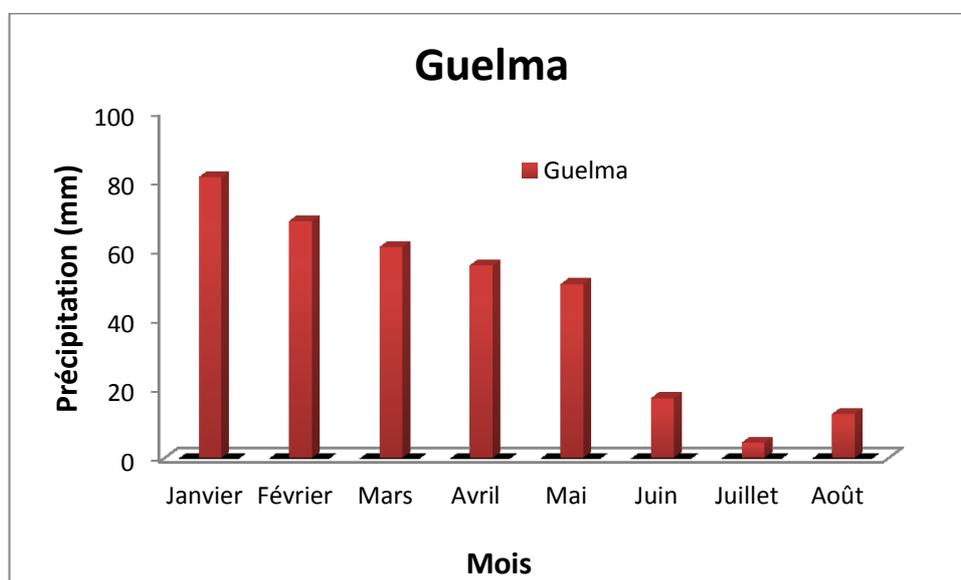


Figure 15 : Variation des précipitations moyennes mensuelles.

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.

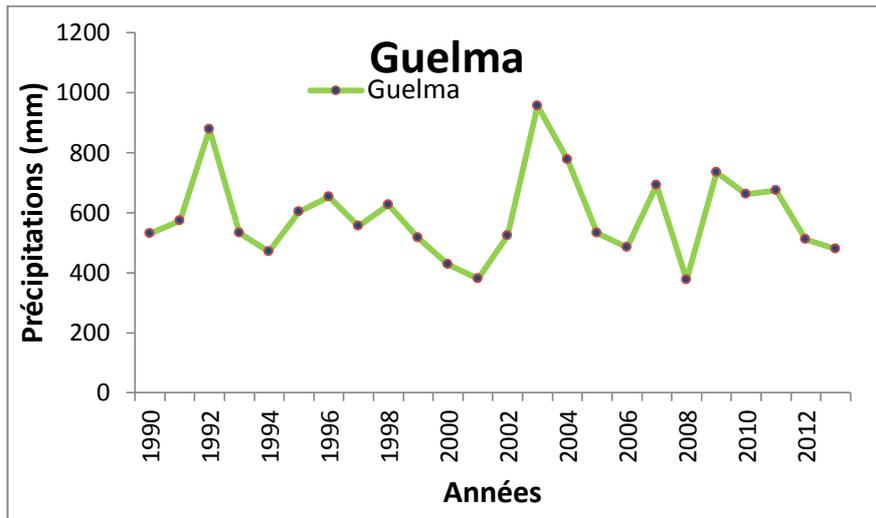


Figure 16: Variation interannuelle des précipitations pour la station Guelma (1990-2013).

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 (Maoui, 2007). 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.

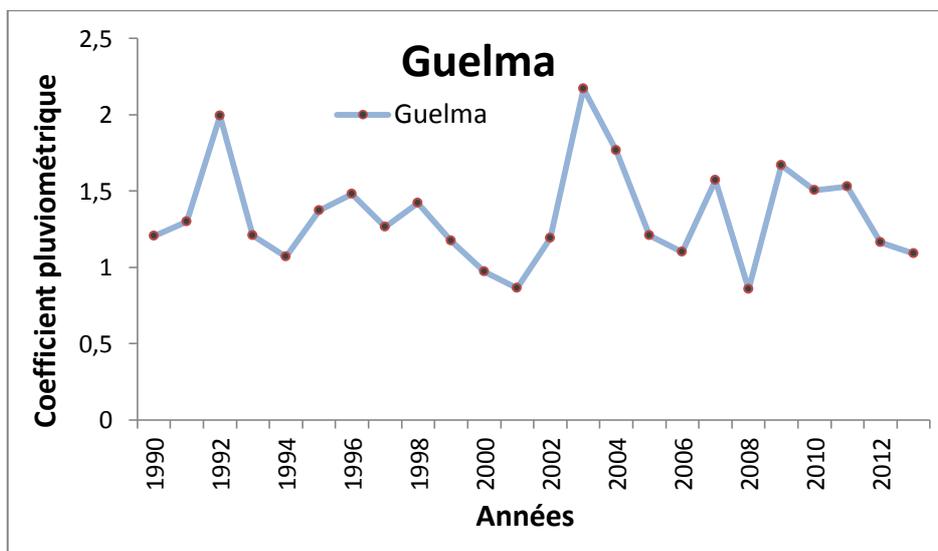


Figure 17 : Variation du coefficient pluviométrique - Stations de Guelma (1990-2013).

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 : (JuiJuill, 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

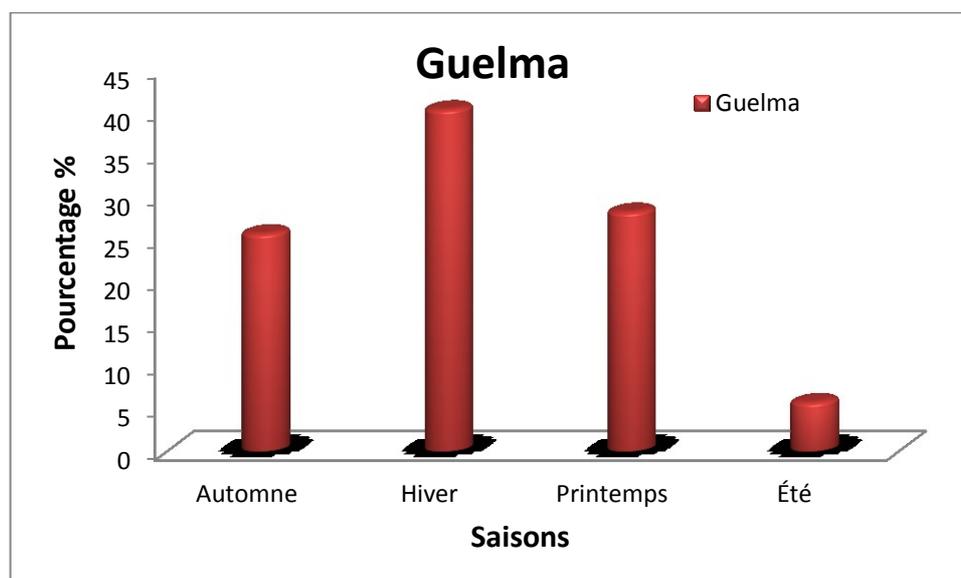


Figure 18: Répartition saisonnière des précipitations pour la station de Guelma.

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 (Bouchet, 1963).

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

a. 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

b- 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 (Débieche, 2002):

- Si pour un mois, $P \geq ETP$ on pose que l'ETP = l'ETR, la quantité d'eau qui reste ($P - ETR$) 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 $P < ETP$, la valeur de $ETR = P + RFU$ jusqu'à égalisation avec l'ETP.
- Si la RFU est nulle, on aura un déficit agricole (Da) ; $Da = ETP - ETR$ et l'ETR ne pourra affecter que la quantité d'eau.

Donc :

- Si $P \geq ETP \Rightarrow ETR = ETP$
- Si $P < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$

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	totale
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.

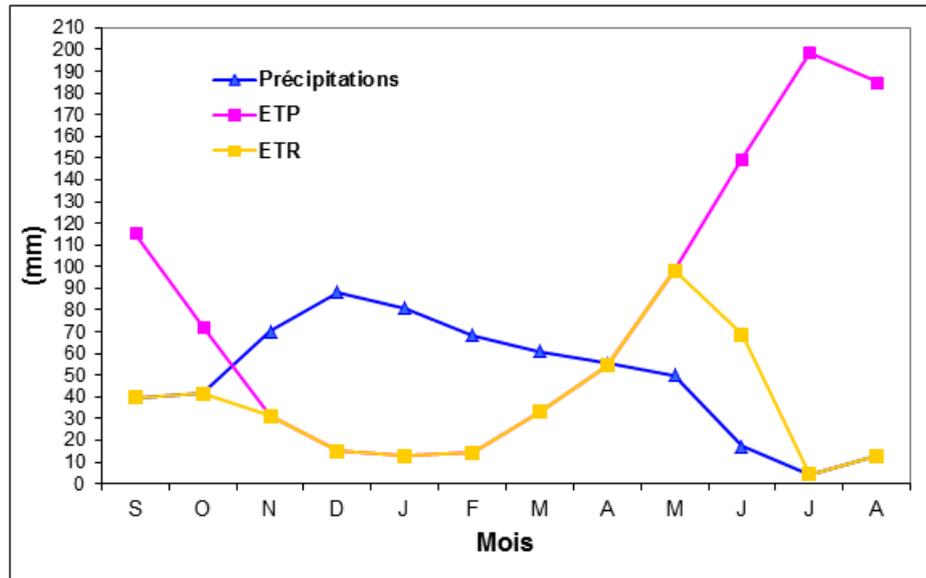


Figure 19: Bilan d'eau par la méthode de Cw.Thornthwaite (station : Guelma).

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 (Guiton, 1994). 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 589,62 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

a. Diagramme pluviothermique

Les travaux de Bagnoulset Gausson 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 ($P \leq 2T$) (Bagnouls et Gausse, 1953).

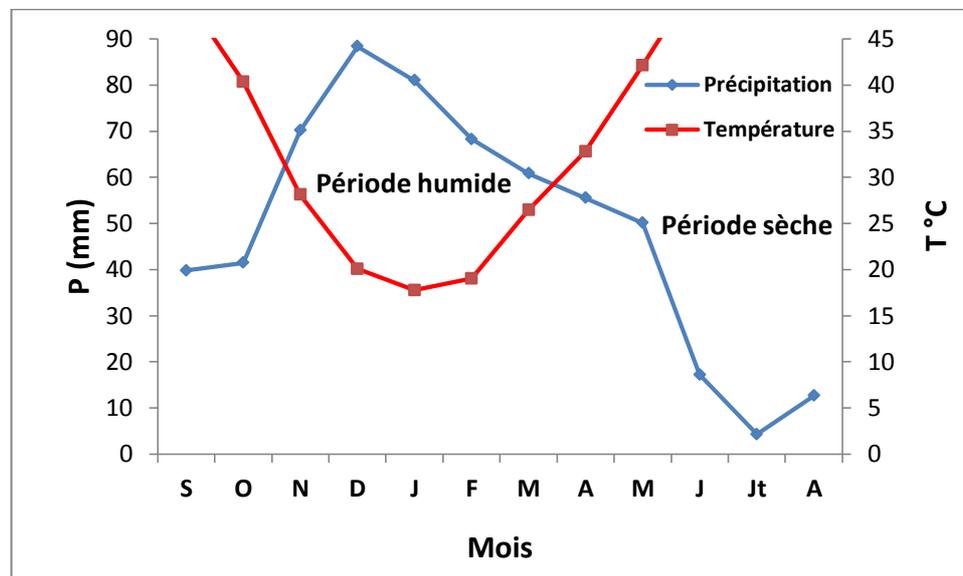


Figure 20 : Diagramme Ombrothermique - Station de Guelma (1990-2013).

La représentation graphique de ce diagramme (figure 20) montre deux périodes, l'une chaude et sèche s'étale sur sept mois du mois d'Avril jusqu'au mois d'Octobre et l'autre froide et humide s'étale sur cinq mois du mois de Novembre jusqu'au mois de Mars.

b- 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 (1923), 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.

c-Climagramme d'EMBERGER

Le quotient pluviothermique " Q_2 " d'EMBERGER correspond à une expression synthétique subdivise le 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".

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

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 $Q_2 = 64,99$ ce qui correspond à l'étage bioclimatique semi-aride (Figure 21).

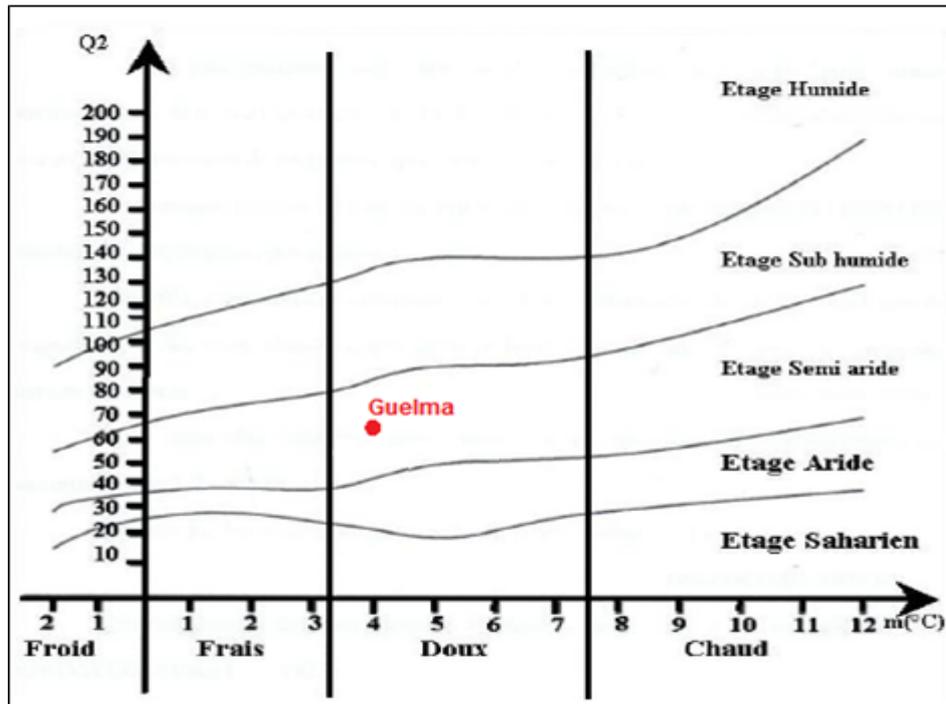


Figure 21 :Climagramme d'Emberger (Station : Guelma).

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 spatio-temporelles 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 (O_2 dissous).
- La température (T°).
- Le potentiel d'Hydrogène (pH).
- Le potentiel d'oxydoréduction (Eh).
- La conductivité électrique (CE)
- Les éléments majeurs :
 - Les cations : Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ . Les anions: HCO_3^- , SO_4^{-2} , Cl^- , HCO_3^- .
 - Les éléments nutritifs : NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} .
 - La DBO_5 (demande biochimique en oxygène), la DCO (demande chimique en oxygène), MES (matières en suspensions) et MO (Matières organiques).

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 et Eh par un multi paramètre de terrain du type WTW, les échantillons prélevés sur 4 périodes Avril et Aout 2010, Janvier et Avril 2011 (Fig. 22) sont placés dans des bouteilles en plastique et conservés à une température de $4^\circ C$.

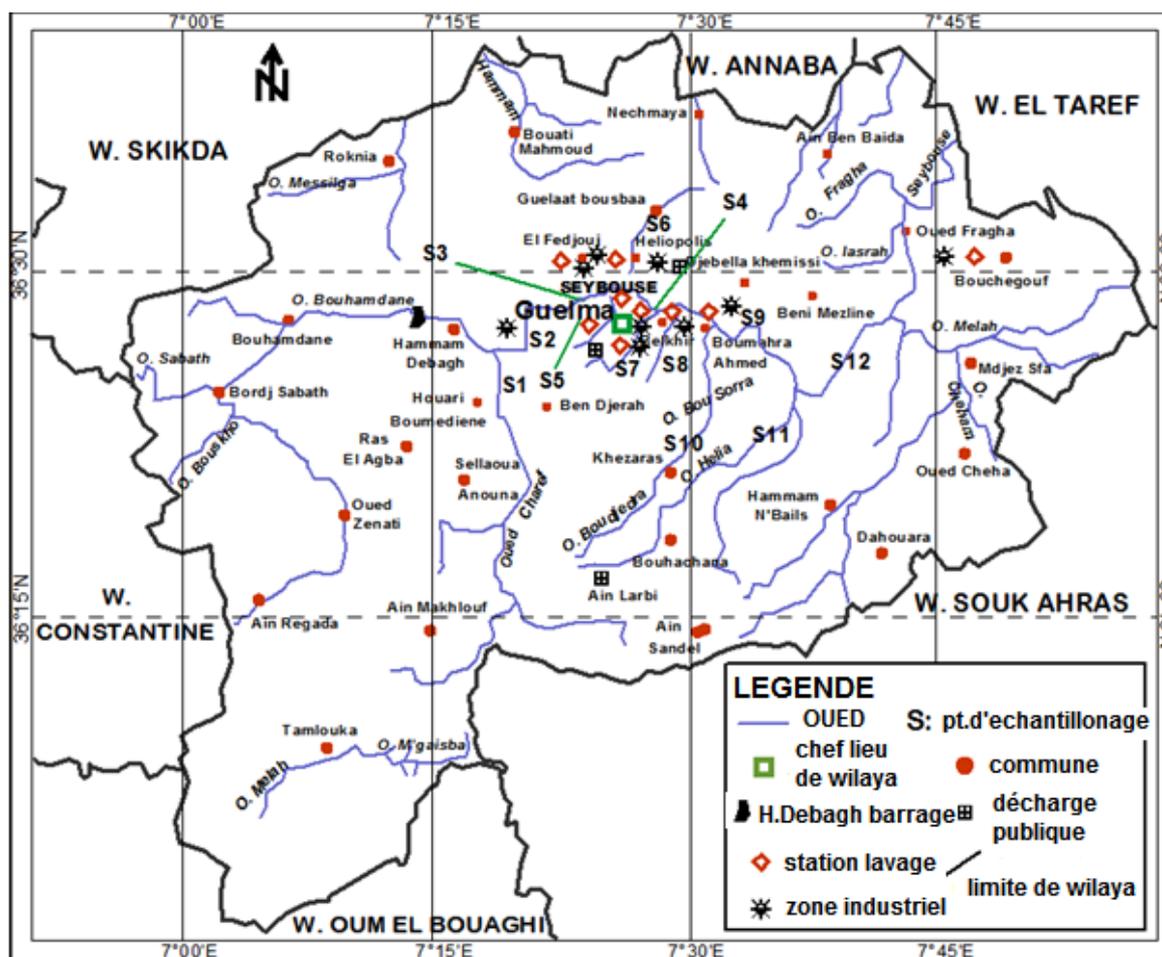


Figure 22: Situation des points d'échantillonnage.

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 totale elle est obtenue par Complexométrie (Rodier, 1996). 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 liée à la turbidité de la suspension ($BaSO_4$).

Le dosage des orthophosphates, nitrite, nitrate et ammonium est réalisé par une méthode colorimétrique à l'aide d'un coffret test spectro quant la lecture est faite à l'aide d'un spectrophotomètre adapté. La balance ionique ne dépasse pas les 6%.

Pour estimer la quantité d'oxygène nécessaire à un échantillon donné pour être oxydé, la méthode normalisée pour la mesure de la DCO se résume par l'adjonction de dichromate de potassium pour permettre l'oxydation de toutes les matières organiques ou minérales susceptibles de l'être. Cette réaction s'effectue en milieu acide et le mélange est porté à ébullition en présence d'un catalyseur (AgSO_4). A l'issue de cette réaction, il suffit de titrer le dichromate restant en solution et d'estimer, par différence, la quantité d'oxygène demandée par la réaction. Ce titrage est réalisé en réduisant le dichromate restant par une solution de sel de Mohr [$\text{FeSO}_4, (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4, 6\text{H}_2\text{O}$]. La féroïenne, indicateur coloré, vire du bleu au rouge lorsque cette réaction est complète. La mesure de la DBO_5 dépendra de l'activité des micro-organismes présents dans l'eau à analyser. La méthode normalisée utilise un oxymètre : appareil électrique équipé d'une sonde qui donnera une mesure instantanée du taux d'oxygène présent dans l'eau. En mesurant le taux d'oxygène dans une éprouvette exempte d'air au jour de la préparation et après 5 jours de culture, il est possible de connaître la part d'oxygène consommée par les micro-organismes pour leurs besoins métaboliques sur cette durée. La méthode par centrifugation (NF T 90-105-2) est adoptée pour la mesure de MES.

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.

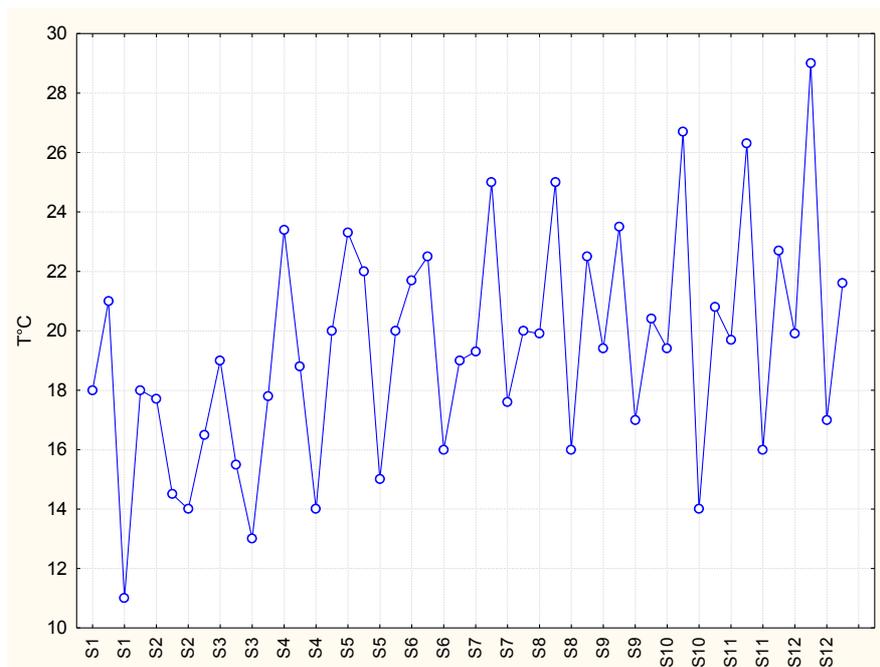


Figure 23 : Variation de la Température.

✚ 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 (2000 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Au niveau de l'oued Maiz (S7) et Oued Seybouse (S12 station Nador), 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 300 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour les eaux de l'oued Charef (S1) pendant les lâchées de Barrage Hammam Debagh (Fig. 24).

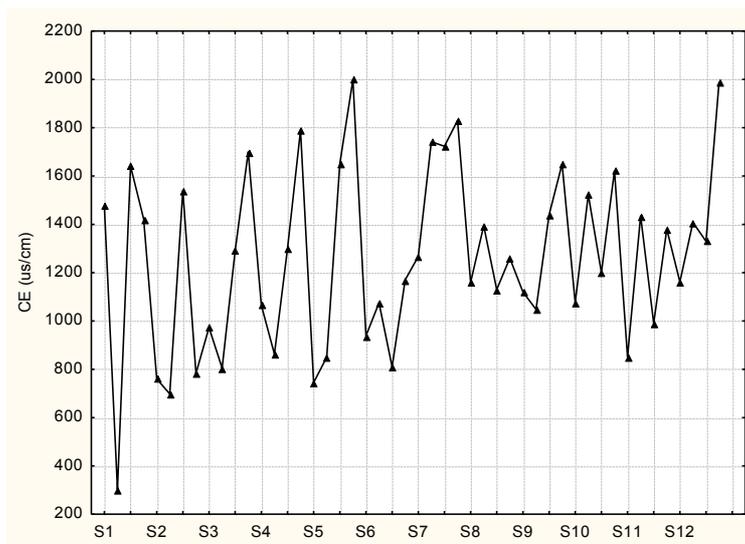


Figure 24 :Variation de la conductivité électrique.

✚ 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 6.4 et 8, le pH de l'eau alcalin est favorable à la vie aquatique riche et diversifiée (Nisbet et Verneaux, 1970).

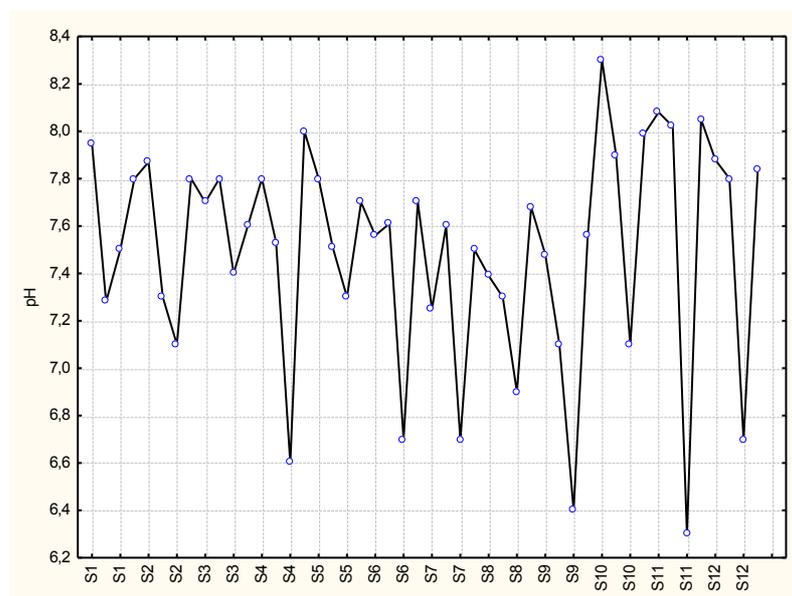
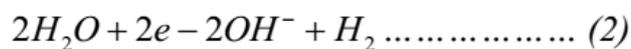
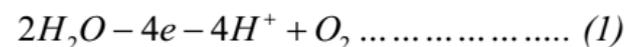


Figure 25 : Variation du pH.

✚ Potentiel d'oxydoréduction (Eh)

L'eau peut participer à des réactions d'oxydoréduction, suivant les deux réactions :



Le potentiel d'oxydoréduction (exprimé en Volts ou millivolts) permet de mesurer l'état d'oxydoréduction de l'eau. Connaissant cette valeur et le pH, il est possible de déterminer les formes chimiques présentes dans le milieu. Ce paramètre, nous permet de prévoir l'état des ions chimiques dans l'eau et la direction des réactions chimiques (oxydation ou réduction). Les valeurs du potentiel redox au niveau des eaux de surfaces (cours d'eau) ont été mesurées in situ et elles sont exprimées en (mV). D'une façon globale nous notons que le milieu est réducteur d'où les valeurs négatives de -80 à -10 mV.

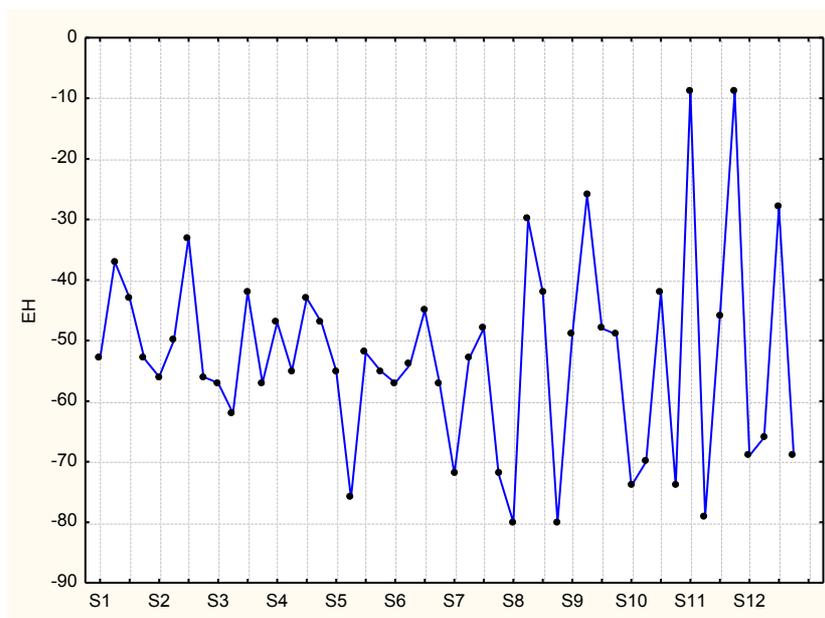


Figure 26 : Variation du Eh.

✚ 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.

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 de l'oued Bouhamdene et Oued Charef qui sont respectivement de l'ordre de 6 et 5.5 mg. l-1. Les valeurs les plus basses sont observées au niveau de l'oued Bradaa avec une valeur de 1.20 mg. l-1. Les rejets industriels diminuent les teneurs en O₂ dissous. (Fig. n°).

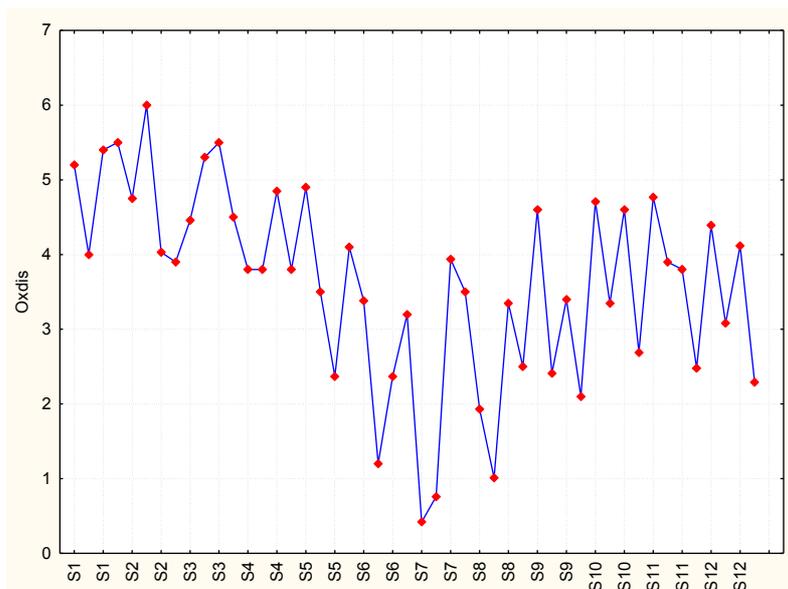


Figure 27 : Variation de l'oxygène dissous.

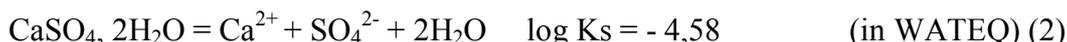
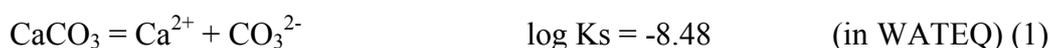
Tableau 18: Variation de La température, pH ,conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$) ,EH (mV) et oxygène dissous (mg/l).

Echantillon	T°C	pH	CE	EH	Oxdis	Echantillon	T°C	pH	CE	EH	Oxdis
S1	18	7,95	1475	-53	5,2	S7	19,3	7,25	1267	-72	0,42
S1	21	7,28	303	-37	4	S7	25	7,6	1742	-53	0,76
S1	11	7,5	1641	-43	5,4	S7	17,6	6,7	1723	-48	3,94
S1	18	7,8	1422	-53	5,5	S7	20	7,5	1830	-72	3,5
S2	17,7	7,87	760	-56	4,75	S8	19,9	7,39	1160	-80	1,93
S2	14,5	7,3	698	-50	6	S8	25	7,3	1394	-30	1,01
S2	14	7,1	1540	-33	4,03	S8	16	6,9	1130	-42	3,35
S2	16,5	7,8	783	-56	3,9	S8	22,5	7,68	1260	-80	2,5
S3	19	7,7	973	-57	4,46	S9	19,4	7,48	1120	-49	4,6
S3	15,5	7,8	805	-62	5,3	S9	23,5	7,1	1048	-26	2,41
S3	13	7,4	1290	-42	5,5	S9	17	6,4	1440	-48	3,4
S3	17,8	7,6	1700	-57	4,5	S9	20,4	7,56	1650	-49	2,1
S4	23,4	7,8	1065	-47	3,8	S10	19,4	8,3	1075	-74	4,71
S4	18,8	7,53	863	-55	3,8	S10	26,7	7,9	1523	-70	3,35
S4	14	6,6	1300	-43	4,85	S10	14	7,1	1200	-42	4,6
S4	20	8	1790	-47	3,8	S10	20,8	7,99	1622	-74	2,69
S5	23,3	7,8	745	-55	4,9	S11	19,7	8,08	852	-9	4,77
S5	22	7,51	850	-76	3,5	S11	26,3	8,02	1435	-79	3,9
S5	15	7,3	1652	-52	2,37	S11	16	6,3	990	-46	3,8
S5	20	7,7	1999	-55	4,1	S11	22,7	8,05	1380	-9	2,48
S6	21,7	7,56	938	-57	3,38	S12	19,9	7,88	1162	-69	4,39
S6	22,5	7,61	1075	-54	1,2	S12	29	7,8	1408	-66	3,08
S6	16	6,7	810	-45	2,37	S12	17	6,7	1330	-28	4,12
S6	19	7,7	1170	-57	3,2	S12	21,6	7,84	1990	-69	2,29

IV.4. Les éléments majeurs

✚ Calcium (Ca^{2+})

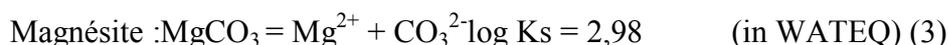
La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : Soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4).



Les teneurs sont très variables, elles varient d'une valeur minimale de 42.33 mg/l au point S2 (oued Bouhamdane) à une valeur maximale de 162.14 mg/l au niveau des eaux de Oued Charef (S1).

✚ Magnésium (Mg^{2+})

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).



La figure 28 montre que la plupart des points d'eau de l'oued Seybouse présentent des valeurs importantes allant jusqu'à 53.62 mg/l enregistrés au point S9 (Station Boumahra). Les eaux de l'oued Seybouse et ses affluents sont influencées par la dissolution des formations dolomitiques dans la région.

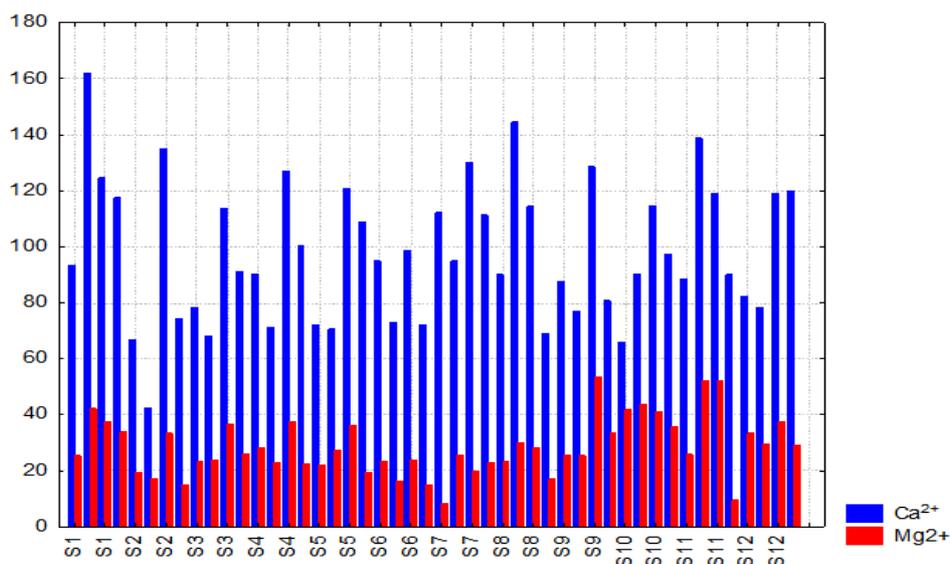


Figure 28 : Variation des teneurs en calcium et magnésium (mg/l).

✚ 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 42.60 et 314.17 mg/l (Station S1 Oued Charef) pour les chlorures et 68 à 300 mg/l pour le sodium, ces chiffres indiquant l'existence de forts apports salifères à partir des formations géologiques triasiques (Fig. 29, 30).

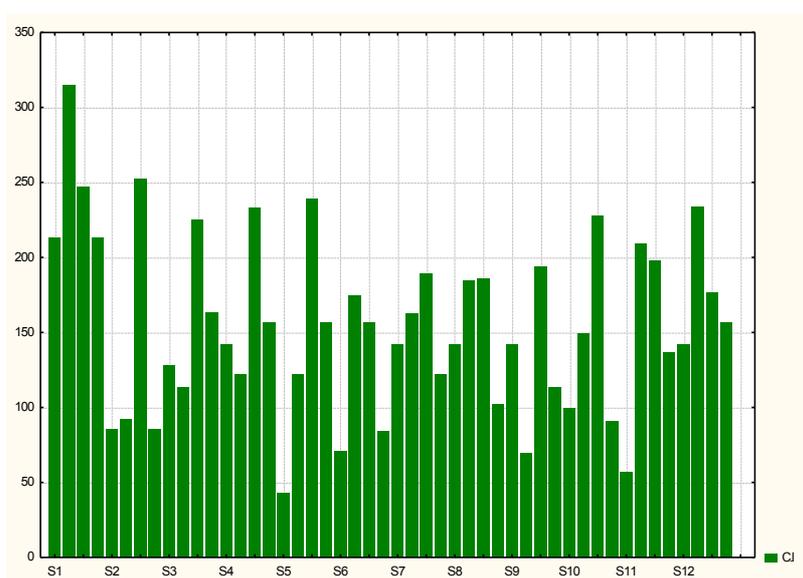


Figure 29 : Variation des teneurs en chlorure (mg/l).

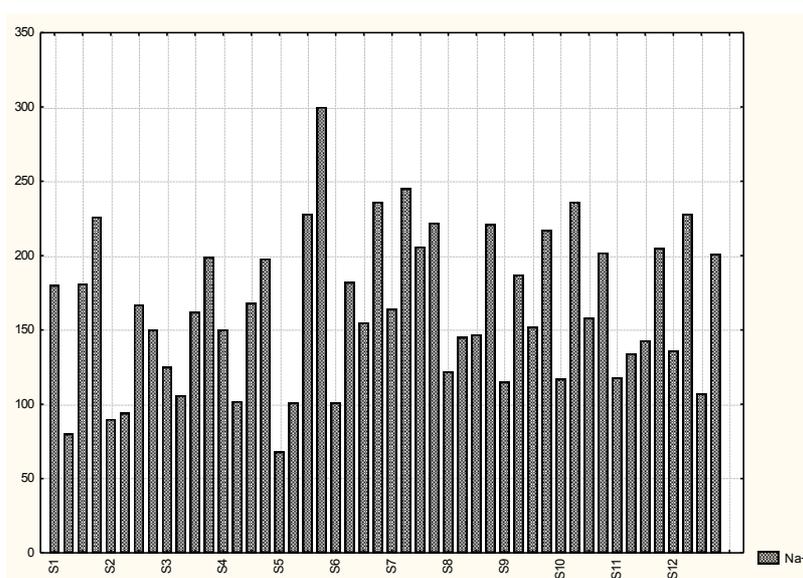


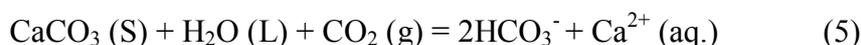
Figure 30 : Variation des teneurs en sodium (mg/l).

✚ 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.

✚ 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 108.47mg/l au point S4 (oued Seybouse) et un maximal de 528.47 mg/l au point S5 au niveau de Oued Skhoune. 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.

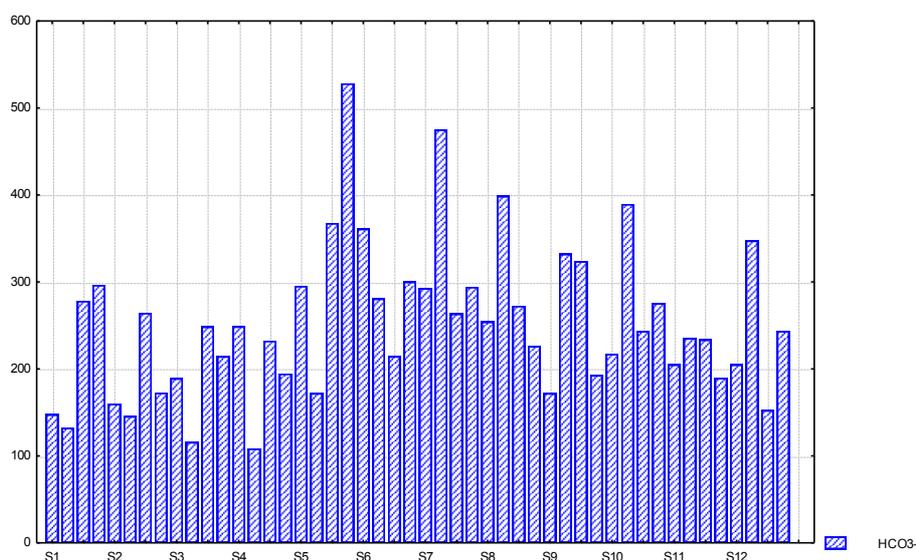


Figure 31 : Variation des teneurs en Bicarbonates (mg/l).

✚ Sulfates (SO_4^{2-})

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 384.22 mg/l, elle est observée au niveau de S9 situé à l'oued Seybouse dans la plaine de Boumahara.

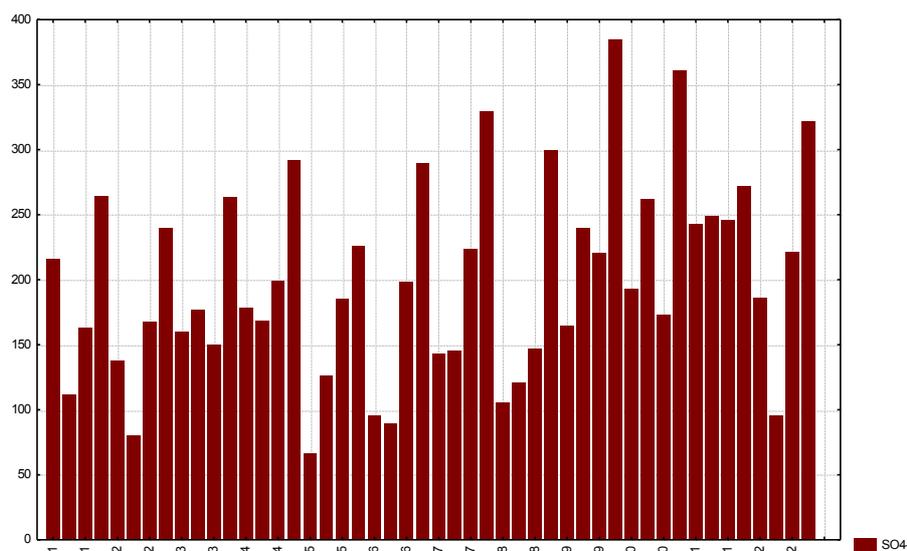


Figure 32 : Variation des teneurs en sulfates (mg/l).

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 3 formes principales :

- l'azote ammoniacal (ammoniac NH_3^+ et ammonium NH_4^+);
- les nitrites NO_2^- ;
- les nitrates NO_3^-

L'azote ammoniacal et nitrites sont 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 trois 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.

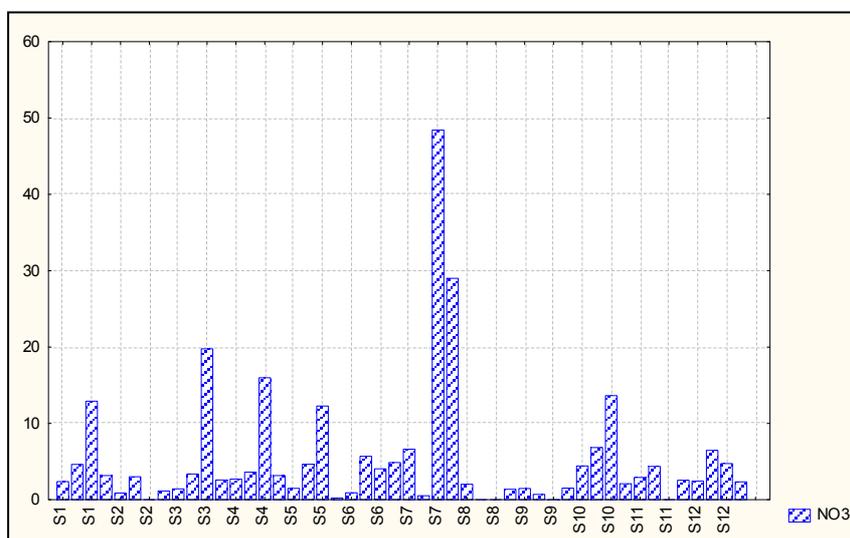


Figure 33 :Variation des teneurs en nitrate (mg/l).

✚ 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 l'oued Zimba S8 (1.66 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).

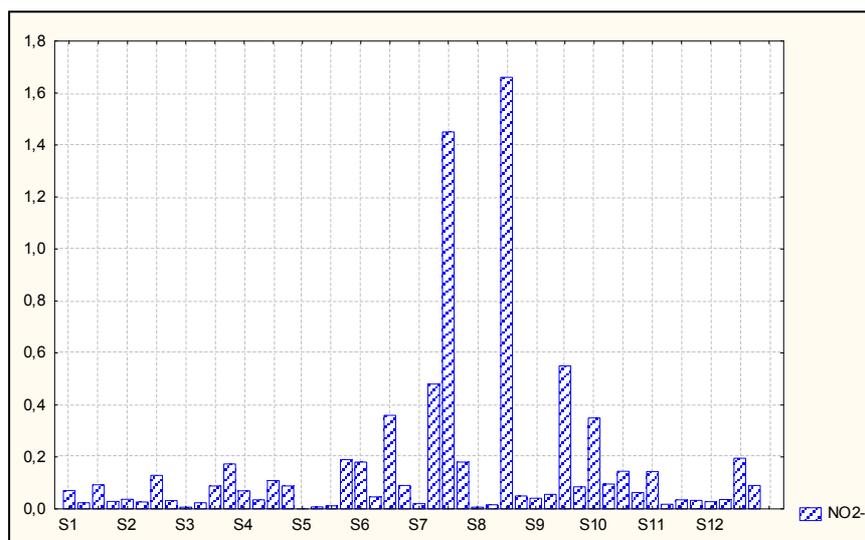


Figure 34 :Variation des teneurs en nitrite (mg/l).

L'Ammonium (NH₄⁺)

C'est la forme d'azote la plus toxique. Sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains et industriels dans les oueds qui donnent les concentrations les plus élevées au niveau des affluents, atteignant 34.5 mg/l à l'oued Zimba, soit elle est liée à la réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) en conditions réduites.

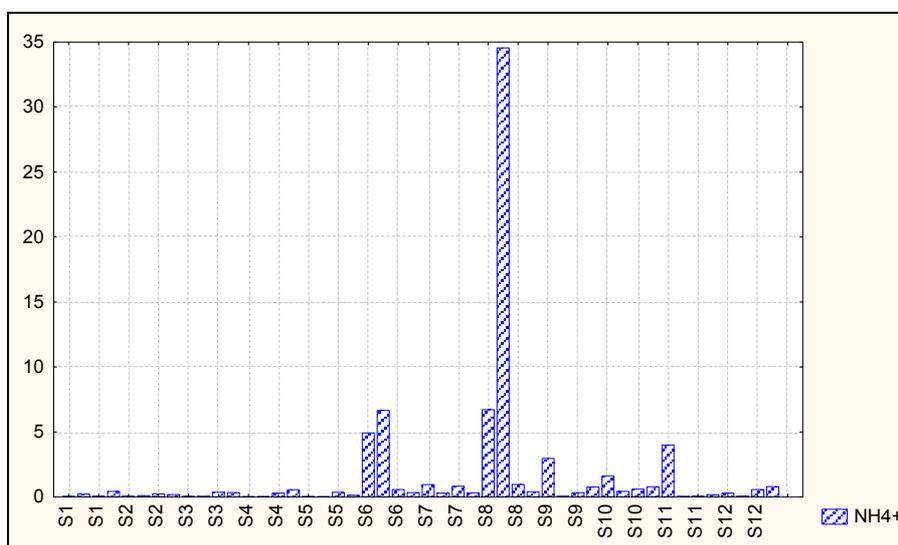


Figure 35 :Variation des teneurs en ammonium (mg/l).

✚ 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 (10 mg/l) (Fig. 36).

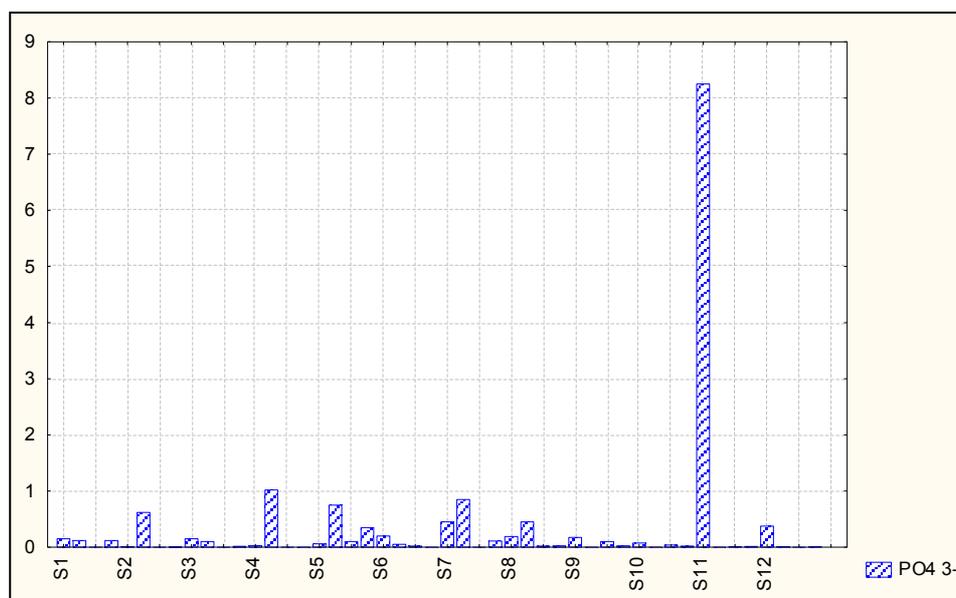


Figure 36 : Variation des teneurs en orthophosphate (mg/l).

✚ La DBO₅ et la DCO

La DBO₅ et la DCO sont des mesures indirectes de la quantité d'oxygène dissous dans l'eau et représentent la charge organique. Cette charge est le résultat des déchets urbains et industriels, dont le volume varie en fonction de la densité de population, la nature et l'importance des industries. Le rapport DCO/DBO₅ détermine la possibilité et le rendement de dégradation que l'on peut espérer par un traitement d'oxydation biologique. Si le rapport est inférieur à 3, on peut dire que l'effluent est facilement biodégradable, un traitement biologique est capable d'éliminer l'essentiel de la pollution. Ce qui n'est pas le cas dans la majorité des sites de notre zone d'étude où le rapport DCO/DBO₅ dépasse largement 3 (fig. 37, 38) donc un traitement biologique seul ne peut réduire la pollution de ces eaux.

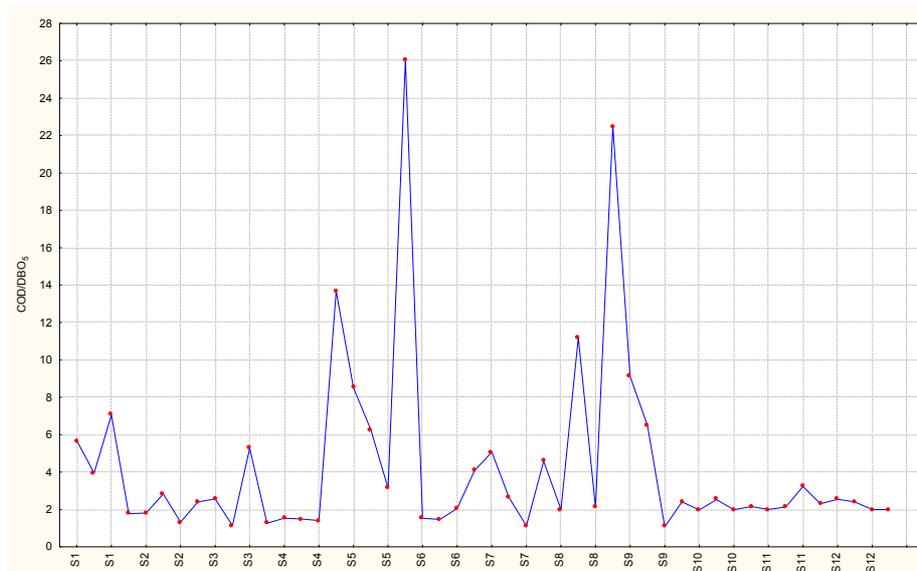


Figure 37 : Variation du rapport DCO/DBO₅.

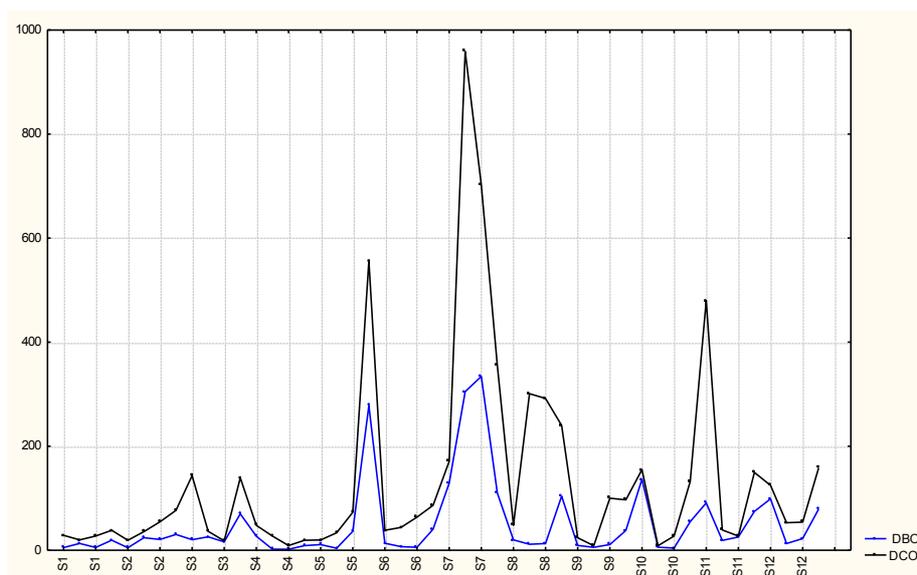


Figure 38 : Variation de la DCO et la DBO₅(mg/l).

Les MES

Les particules en suspension peuvent affecter la vie aquatique lorsque la concentration des matières en suspension est élevée (Meybeck et DeMarsily, 1998; Sanchez et al., 2006). La matière en suspension peut être minérale (argile et de boue) ou organique (dégradation des plantes et animaux), ce qui implique une augmentation de la demande en oxygène (Chang,2005). La forte concentration de matières en suspension dans les sites (S10 Oued Bousora et S7 Oued El Maiz,S3Bentabouche et S1 Oued Charef) provient des rejets domestiques et urbaines ainsi que l'érosion des sols.

La matière dissoute dans les rivières est généralement le résultat de la nature du sol où l'eau se écoule à travers et par les effluents industriels et domestiques.

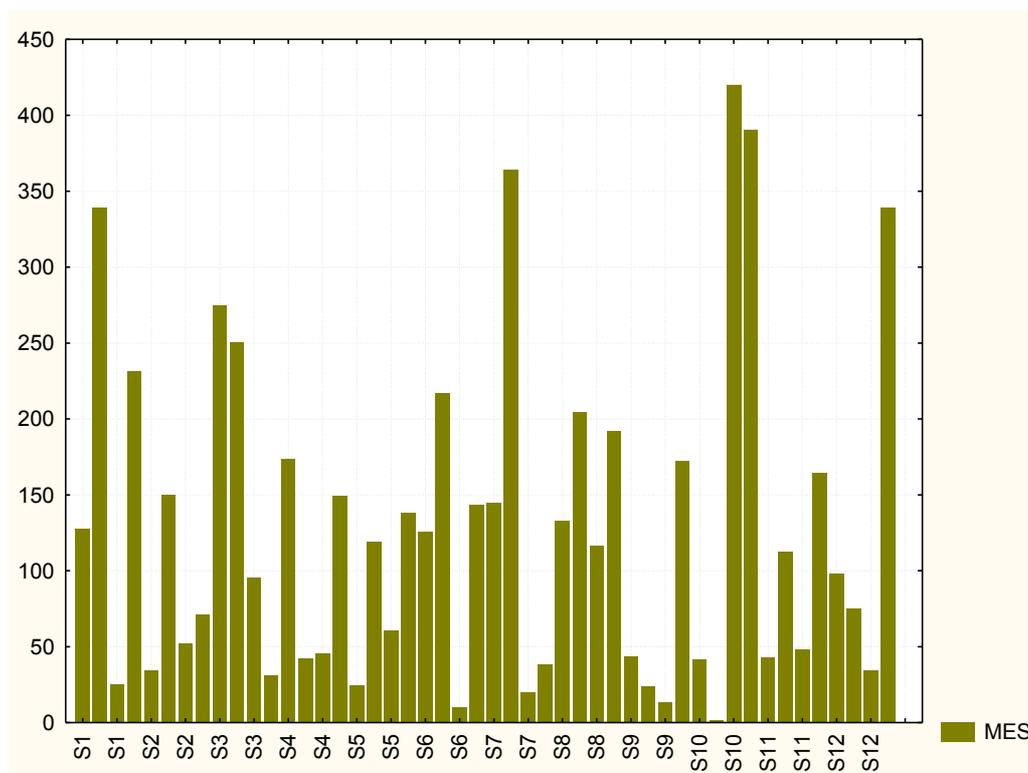


Figure 39 : Variation des MES (mg/l).

IV.6. Analyse statistique 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) (Ramousse, 2002). Une A.C.P a été pratiquée sur 48 individus (analyses) et 17 paramètres. Le tableau 19 donne les valeurs propres et l'inertie, les deux premiers 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 5 premières composantes principales.

Axes factoriels	Valeurs propres	Pourcentage Total de la variance	Cumule des Valeurs Propres	Pourcentage Cumulé
1	5,161	30,36	5,16	30,36
2	3,128	18,4	8,29	48,76
3	1,972	11,6	10,26	60,36
4	1,471	8,65	11,73	69,01
5	1,18	6,94	12,91	75,94

L'examen de la matrice de corrélation des 48 échantillons (Tableau 20) montre que les coefficients de corrélations les plus significatifs sont ceux de la conductivité électrique avec les bicarbonates ($r = 0.51$), le sodium ($r = 0.79$) et les sulfates ($r = 0.53$) et à un degré moindre entre la conductivité et la DBO₅ ($r = 0.44$) et la conductivité et la DCO ($r = 0.39$).

Tableau 20 : Matrice de corrélation.

Variable	CE	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Fe ⁺³	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	DBO ₅	DCO	TDS	TH
CE	1,00																
Ca ⁺²	0,35	1,00															
Mg ⁺²	0,10	0,52	1,00														
Na ⁺	0,79	0,14	-0,10	1,00													
K ⁺	0,41	0,23	0,09	0,43	1,00												
Fe ⁺³	0,22	0,18	-0,18	0,24	-0,01	1,00											
HCO ₃ ⁻	0,51	0,25	0,06	0,61	0,14	0,22	1,00										
Cl ⁻	0,26	0,75	0,51	0,18	0,20	0,09	0,08	1,00									
SO ₄ ⁻	0,53	0,08	0,11	0,55	0,40	0,04	-0,04	-0,15	1,00								
PO ₄ ³⁻	-0,18	-0,10	-0,08	-0,16	-0,12	0,29	-0,07	-0,27	0,01	1,00							
NO ₂ ⁻	0,17	0,23	0,01	0,11	0,14	0,13	0,16	0,12	-0,01	-0,03	1,00						
NO ₃ ⁻	0,28	0,29	-0,01	0,21	0,12	0,03	0,04	0,26	0,08	-0,07	0,39	1,00					
NH ₄ ⁺	0,01	0,22	-0,04	-0,10	0,05	0,11	0,26	0,02	-0,23	0,10	-0,06	-0,11	1,00				
DBO ₅	0,44	0,07	-0,25	0,45	0,08	0,41	0,42	-0,09	0,17	0,12	0,42	0,38	-0,09	1,00			
DCO	0,39	0,13	-0,23	0,40	0,17	0,47	0,47	-0,08	0,11	0,32	0,51	0,28	0,13	0,89	1,00		
TDS	0,80	0,59	0,33	0,85	0,44	0,23	0,68	0,48	0,50	-0,17	0,19	0,26	0,03	0,37	0,37	1,00	
TH	0,31	0,96	0,74	0,07	0,21	0,08	0,22	0,76	0,10	-0,11	0,19	0,22	0,16	-0,03	0,03	0,58	1,00

Les tables de Bravais Pearson donnent pour un nombre d'échantillon $n = 48$ et un nombre de variable $p = 17$, un coefficient de corrélation ($r_{\text{théorique}} = 0.3494$) pour un seuil $\alpha = 0.05$. Cela nous permet donc de dégager les couples suivants : HCO₃⁻-Na⁺ ($r = 0.5$), Na⁺-SO₄²⁻ ($r = 0.55$), DCO-DBO₅ ($r = 0.89$), NO₃⁻-NO₂⁻ ($r = 0.39$), DBO₅-NO₃⁻ ($r = 0.38$), DBO₅-NO₂⁻ ($r = 0.42$).

La conductivité électrique qui traduit la minéralisation est bien corrélée avec le facteur 1 (Tableau 21) à l'exception de l'ammonium, le fer et l'orthophosphates, 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 DBO5 et la DCO (Tableau), donc le facteur 2 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	Fact 5
CE	-0,82	-0,15	0,32	0,07	0,04
Ca ⁺⁺	-0,67	0,58	-0,32	0,02	-0,10
Mg ⁺⁺	-0,28	0,74	-0,01	-0,01	-0,25
Na ⁺	-0,76	-0,34	0,44	0,12	0,11
K ⁺	-0,48	0,03	0,36	-0,01	-0,12
Fe ⁺⁺⁺	-0,34	-0,35	-0,39	0,25	-0,28
HCO ₃ ⁻	-0,62	-0,22	-0,08	0,44	0,40
Cl ⁻	-0,51	0,67	-0,18	-0,10	0,11
SO ₄ ⁻⁻	-0,42	-0,15	0,62	-0,09	-0,52
PO ₄ ³⁻	0,12	-0,31	-0,40	0,21	-0,69
NO ₂ ⁻	-0,39	-0,18	-0,40	-0,52	0,11
NO ₃ ⁻	-0,41	-0,05	-0,19	-0,63	0,11
NH ₄ ⁺	-0,07	0,08	-0,38	0,63	0,18
DBO ₅	-0,54	-0,65	-0,27	-0,20	0,03
DCO	-0,56	-0,64	-0,42	-0,03	-0,07
TDS	-0,94	0,07	0,22	0,15	0,02
TH	-0,62	0,70	-0,26	0,01	-0,16

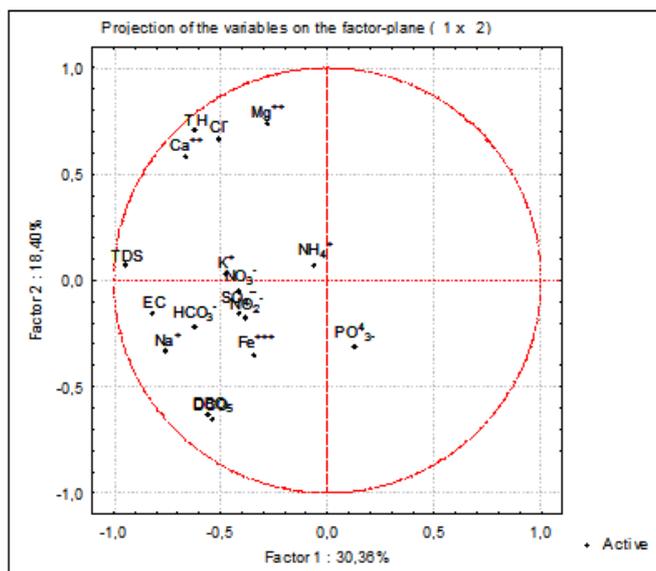


Figure 40: Projection des variables sur le plan factoriel (1-2).

En faisant la projection des variables dans le plan factoriel 1-3 (Figure 41), nous avons constaté que les sulfates, le sodium et le potassium s'opposent aux éléments. Le sulfate suivi du sodium et du potassium présentent les meilleures contributions selon l'axe factoriel 3. Le faciès chloruré sodique et sulfaté sodique prédomine dans les eaux de la Seybouse comme l'indique le digramme de Piper (Figure 42). On peut considérer donc le facteur 3 comme étant un facteur de dissolution de formation évaporitiques.

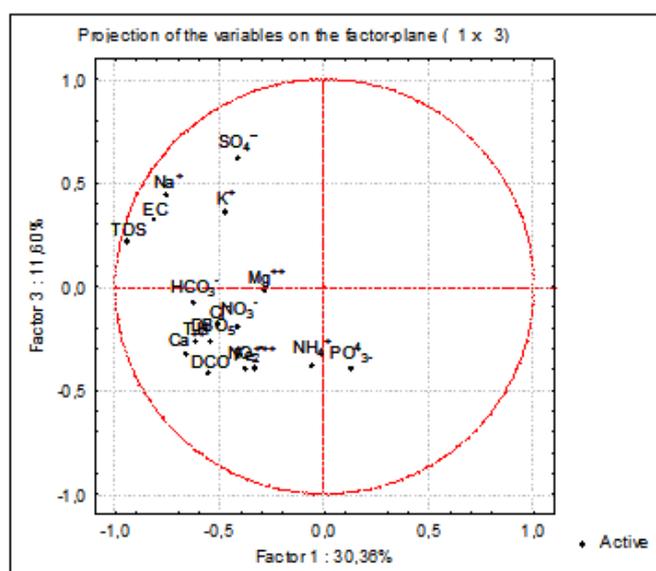


Figure 41: Projection des variables sur le plan factoriel (1-3).

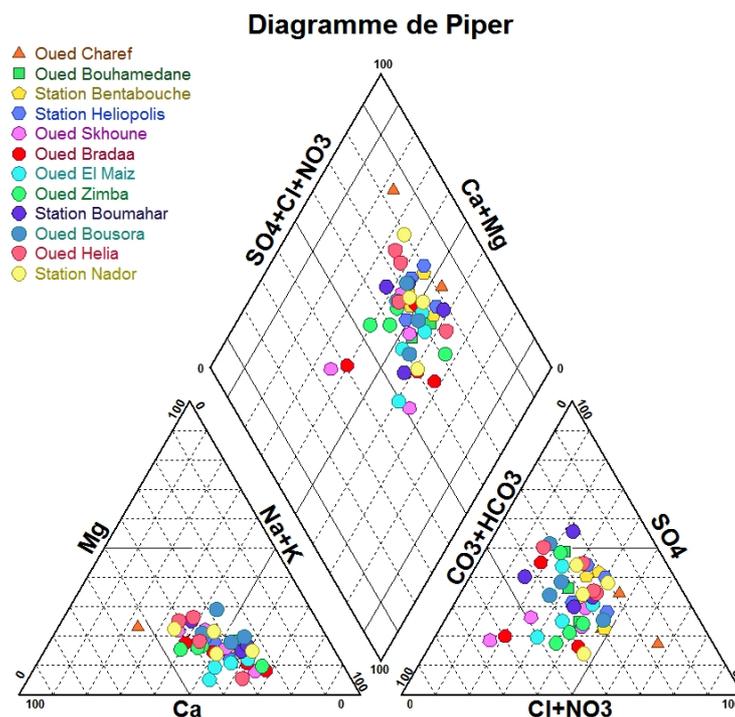


Figure 42: Diagramme de Piper.

IV.7. Thermodynamique

Dans cette partie, nous essayerons de prévoir théoriquement la nature des sels susceptibles de précipiter dans les eaux de la Seybouse et ses affluents à partir de considérations thermodynamiques.

Le calcul thermodynamique des équilibres chimiques des eaux rend compte des interactions électrostatiques entre les différents ions « i » en présence. Ces dernières sont représentées par l'activité ionique (Fritz, 1975). Pour une solution idéale, l'activité et la molarité sont égales. En pratique, la déviation par rapport au cas précédent est présentée par (γ_i):

$$a_i = \gamma_i m_i(1)$$

Avec :

a_i et m_i sont respectivement l'activité et la molarité des ions considérés.

Le calcul du coefficient d'activité d'une espèce ionique s'effectue par deux formules qui dépendent de la force ionique I.

$$I = 1/2 \left(\sum_i m_i Z_i^2 \right) \quad (2)$$

Avec :

m_i et Z_i sont respectivement la molarité et la charge de l'ion i considéré.

Pour une solution concentrée ($I < 0,1$) le coefficient d'activité d'une espèce ionique peut être calculé à l'aide de la loi de DEBYE-HUCKEL :

$$\log \gamma_i = -\frac{AZ_i^2 I^{1/2}}{1 + a_i^0 B I^{1/2}} - C_i I \quad (3)$$

Avec :

Z_i : la charge de l'ion i .

a_i^0 : paramètre de taille de l'ion i .

A et B : constantes de Debye-Huckel, caractéristiques du solvant et dépendant de la température et de la pression.

I : force ionique de la solution.

C_i : paramètre caractéristique de l'ion i .

Pour des solutions non diluées ($I < 0,5$), le coefficient d'activité est défini par l'équation de DAVIES (Davies.1962) :

$$\log \gamma_i = -AZ_i^2 \left(\frac{I^{1/2}}{1 + I^{1/2}} - 0,3I \right) \quad (4)$$

***Notion d'indice de saturation**

L'équilibre d'une solution avec la matrice encaissante est calculé à l'aide de l'indice de saturation IS :

$$IS = \log \left[\frac{PAI}{K_S} \right] \quad (5)$$

PAI : le produit d'activité ionique.

K_S : le produit de solubilité calculé du minéral considéré. Le K_S est déterminé de façon thermodynamique

$$\ln K_S = -\frac{\Delta G^0}{RT} \quad (6)$$

ΔG_0 : enthalpie libre standard de réaction ($J. mol^{-1}$).

R : constante des gaz parfaits ($1,987 \cdot 10^{-3}$ kcal. mole⁻¹).

T : température à l'échelle Kelvin. ($T = 273,15 + 25^\circ\text{C}$).

Une solution est en équilibre avec une phase minérale lorsque $IS = 0$ (flux de dissolution égal au flux de précipitation). La solution est dite sous-saturée lorsque $IS < 0$ et sursaturée lorsque $IS > 0$. Vu à l'imprécision dans les mesures des paramètres physico-chimiques in situ et l'analyse des éléments chimiques, la saturation est obtenue dans un domaine plus large :

$$- 0,5 < IS < 0,5 \quad (7)$$

* La constante d'équilibre K éq

Elle est relative à l'énergie fournie ou demandée lors d'une réaction chimique (mise en solution ou précipitation) et elle est calculée selon la relation suivante :

$$\ln(k_{\text{éq}}) = - \frac{\Delta G^0}{RT} \quad (8)$$

$$\log(k_{\text{éq}}) = - \frac{\Delta G^0}{1,364} \quad (9)$$

ΔG^0 : l'énergie libre exprimée en kcal.mol⁻¹ à une température de 25°C et une pression de 1 atmosphère.

La variation d'énergie libre ΔG^0 est la différence entre la somme des énergies des éléments qui sont produits par la réaction moins la somme des énergies des éléments entrant dans la réaction.

La comparaison de la constante d'équilibre avec la constante standard permet de donner une idée sur l'état de saturation des éléments chimiques, plus les valeurs sont supérieures à la valeur standard est plus les éléments sont à l'état de sursaturation, par contre lorsqu'elles sont inférieures à la valeur standard elles sont à l'état de sous saturation.

Donc l'indice de saturation atteint une valeur zéro quand la saturation est en équilibre avec une phase solide. Un indice de saturation positif indique une sursaturation et un indice négatif une sous saturation vis-à-vis des minéraux (Awemesso, 1990)

$$\Delta G^0 = \sum G(\text{produits}) - \sum G(\text{réactifs}) \quad (10)$$

La constante d'équilibre peut être calculée aussi à partir des activités ioniques des éléments chimiques dans une réaction :



a, b, c et d : nombre de moles.

A, B, C et D : les éléments chimiques.

$$K_{\text{éq}} = \exp\left(-\frac{\Delta G^0}{RT}\right) = \frac{aC^c \cdot aD^d}{aA^a \cdot aB^b} \quad (12)$$

a : l'activité ionique de chaque élément chimique.

Les 5 minéraux suivants : calcite, dolomite, gypse, anhydrite, et aragonite influencent la composition chimique des eaux mais à des degrés variables (tableau 22). Le fait que c'est des eaux superficielles, explique les faibles indices enregistrés pour les cinq minéraux .

Tableau 22: Statistiques des indices de saturations.

	Moyenne	Minimum	Maximum	Écart-type
IS Calcite	0,247	-0,930	1,020	0,485
IS Aragonite	0,099	-1,090	0,870	0,486
IS dolomite	0,245	-2,000	1,980	0,983
IS Gypse	-1,146	-1,780	-0,830	0,205
IS anhydrite	-1,383	-2,030	-1,060	0,204

Le groupe des carbonates présentent des degrés de saturation différents : la dolomite est souvent à l'état de sursaturation avec un indice qui varie entre -2.00 et 1,98 (Figure 43). Cette dernière est suivie par la calcite et de l'aragonite (Figure 44, 45) avec un indice de saturation qui varie entre -1.09 et 1.020 indiquant la variation entre un état à l'équilibre et un état de sursaturation. Les formations carbonatées fournissent les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} , ces derniers vont se combiner avec le CO_2 de l'atmosphère et donner des minéraux carbonatés.

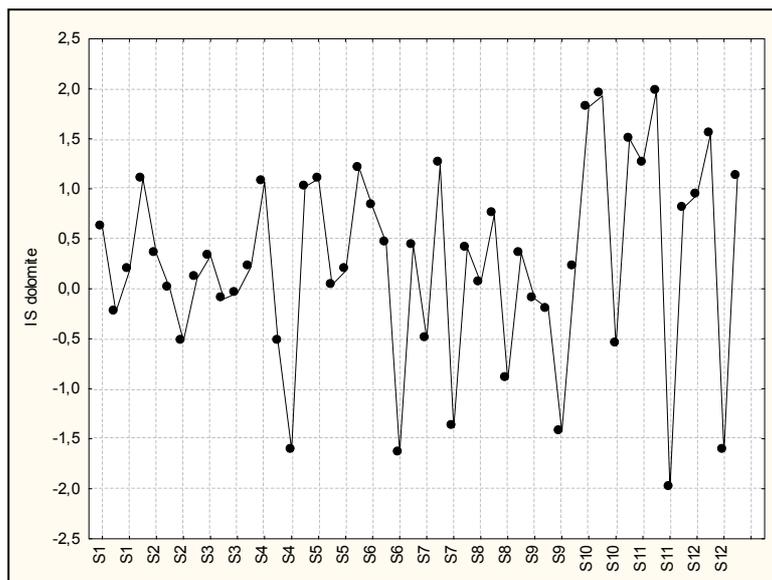


Figure 43 : Variation de l'indice de saturation de la dolomite.

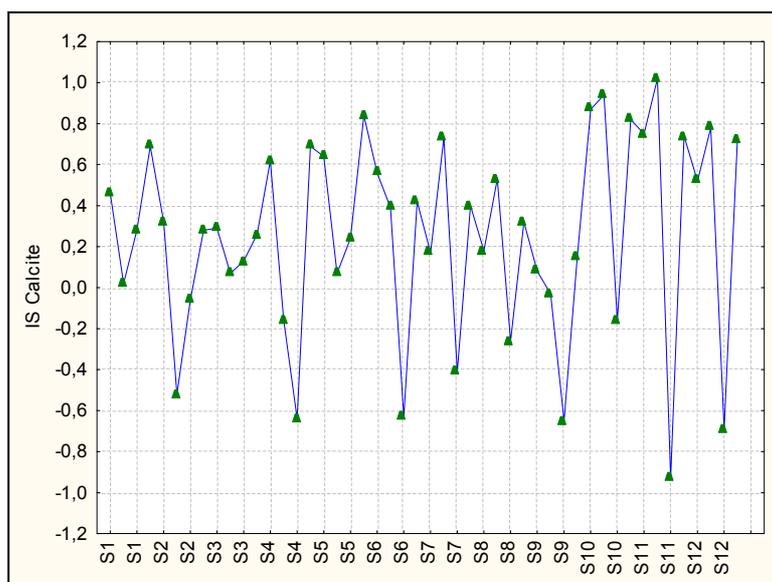


Figure 44 : Variation de l'indice de saturation de la calcite.

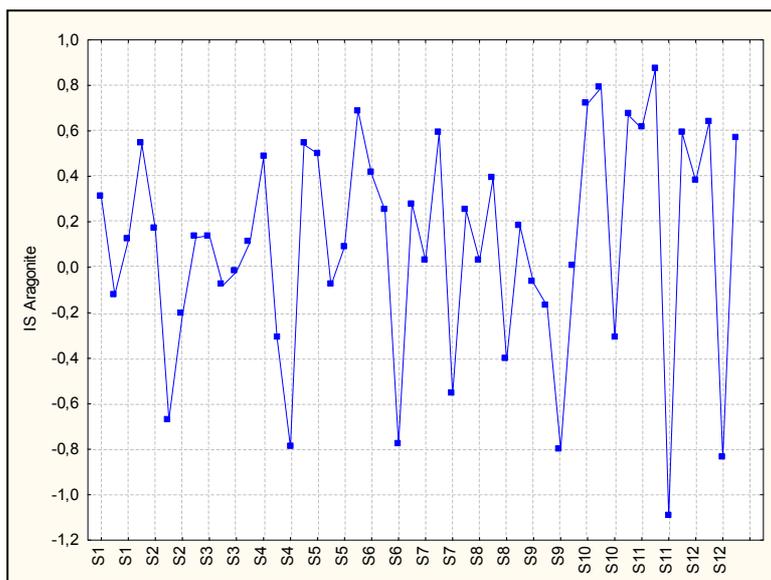


Figure 45 : Variation de l'indice de saturation de l'Aragonite.

Le groupe des évaporites est sous-saturé par rapport à l'anhydrite et le gypse (-1.78à -0.83) (Figure 46).

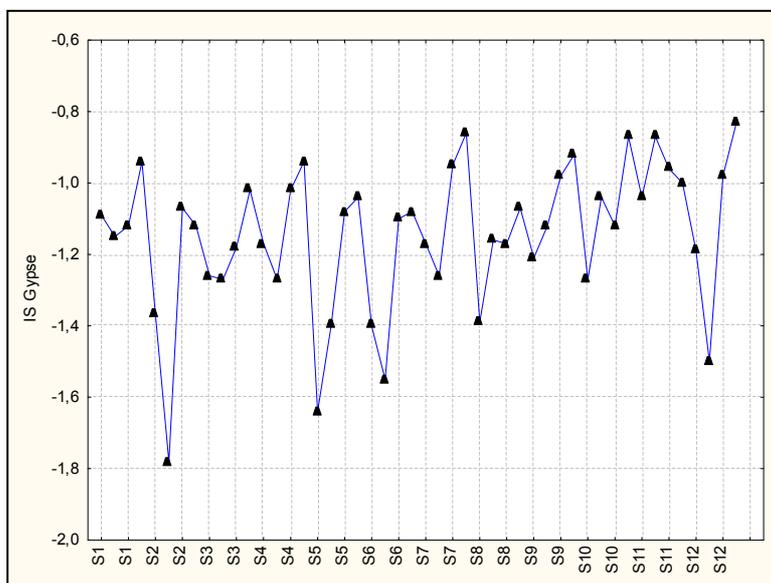


Figure 46: Variation de l'indice de saturation du gypse.

Les minéraux évaporitiques sont toujours à l'état de sous-saturation, même avec des ions Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} à forte concentration dans l'eau. La constante d'équilibre des minéraux évaporitiques (NaCl (1,58) ; CaSO_4 (- 4,85), d'où une tendance à la dissolution de ces minéraux ce qui permet aux éléments évaporitiques de se présenter dans l'eau à des concentrations élevées. Par contre pour les minéraux carbonatés, la constante d'équilibre est plus faible (Dolomite (-17,09), Calcite (-8,48), ce qui produit une précipitation rapide des éléments chimiques. Le groupe des silicates (quartz) présente toujours un état de sursaturation (0.48 à 1.22), lié vraisemblablement au lessivage des formations Mio-plio-Quaternaire riches en sable. Le calcul de l'indice de saturation des minéraux dans l'eau indique, que seuls les minéraux carbonatés tendent à précipiter, surtout sous la forme de dolomite, de calcite et aragonite. Alors que les minéraux évaporitiques, en l'occurrence, le gypse et l'anhydrite, tendent à la dissolution.

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 (1954) a élaboré une classification en se basant sur les deux paramètres à savoir (SAR et conductivité électrique). Les classes de potabilité des eaux ($\text{C}_1\text{S}_1, \dots, \text{C}_4\text{S}_4$) correspondent, dans le diagramme de Richards (Fig. 47) au SAR (en ordonnées pour la lettre S) et à la conductivité (en abscisses pour la lettre C).

Ainsi la classe C_1S_1 (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 C_4S_4 (coin haut à droite) est mauvaise, car les valeurs du SAR et de la conductivité sont à leur maximum.

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

- Admissible (C_3S_1 - C_3S_2).

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 (C_4S_2).

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 (C_4S_3 – C_4S_4).

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 C_3S_1 et C_3S_2 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. 48) 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.

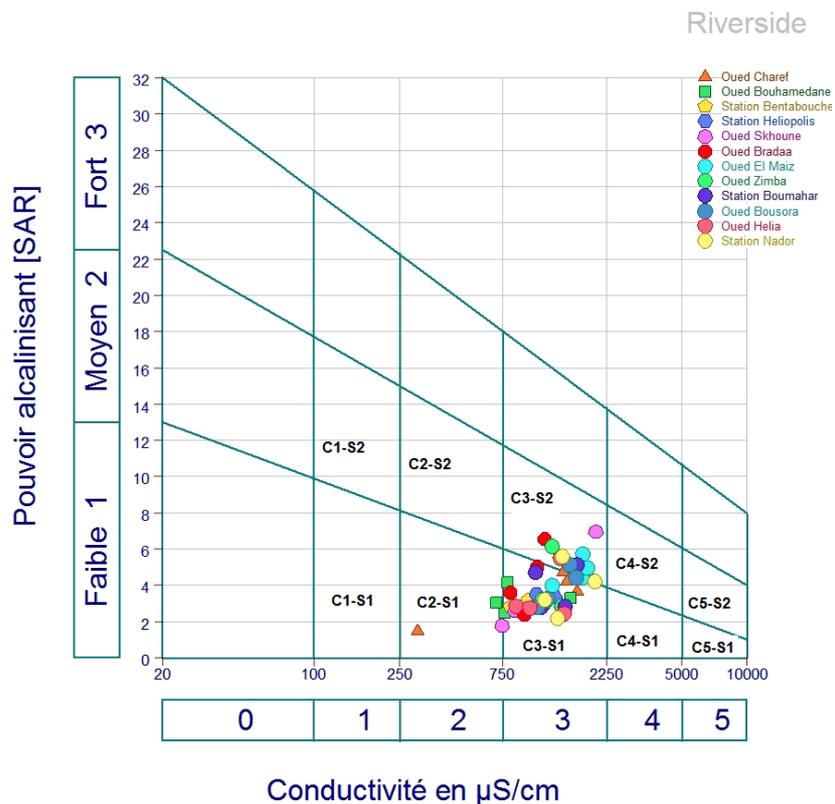


Figure 47 : Diagramme de Richards.

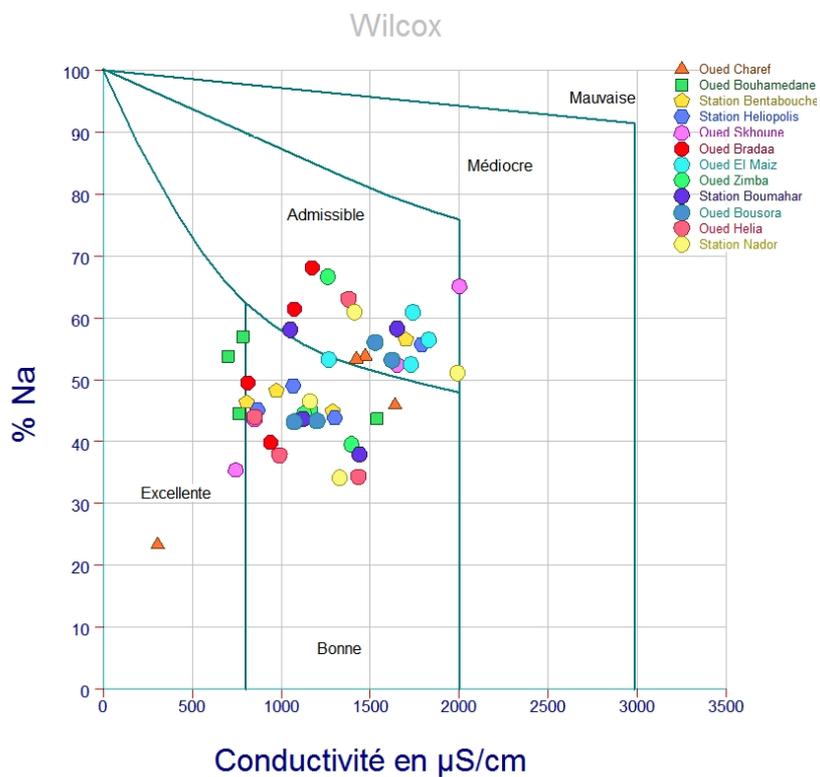


Figure 48 : Diagramme de Wilcox.

Conclusion

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

- Une prédominance du faciès chloruré sodique et sulfaté sodique.
- De point de vue statistique, les sulfate, bicarbonates et sodium présentent une bonne corrélation avec la conductivité électrique d'une part et entre la DBO_5 , DCO 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 f1 de minéralisation, un facteur f2 caractérisant la pollution des eaux.
- La comparaison des indices de saturation obtenus par modélisation géochimique appliquée sur 48 échantillons, nous a permis d'obtenir les résultats suivants :
 - ❖ une sursaturation vis-à-vis de la dolomite, suivie de la calcite et de l'aragonite, donc une précipitation de ces éléments chimiques dans l'eau.
 - ❖ Pour le groupe des évaporites est sous saturé par rapport à l'anhydrite, le gypse ($-1.78 < IS < -0.83$).
 - ❖ 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.

Chapitre V : Étude de la pollution

V.1.Introduction

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparait en totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les modalités de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou à travers des ressources en produits agricoles, en eau, et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'elles détiennent, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature.

Les flux de la pollution affectent à la fois les ressources hydriques saisonnières et permanentes de bassin versant de la moyenne Seybouse. Ils correspondent aux effluents domestiques, agricoles et industriels

V.2. Origine des polluants

Les rejets polluants présentent principalement trois origines distinctes (Edwards et al., 2000 in Chaguer, 2013): Domestique y compris urbaine, agricole et industrielle, avec ou sans traitement en station d'épuration avant rejet dans le milieu naturel. Du fait de ces différentes sources d'effluents polluants, les composés susceptibles de parvenir au milieu naturel sont très variés (Fig. 49).

Les eaux usées domestiques sont caractérisées par de fortes teneurs en matières organiques, en composés minéraux tels que NH_4^+ et PO_4^{3-} , en détergents et en germes fécaux. En milieu urbain, les eaux pluviales qui ruissellent se chargent de matières minérales en suspension, d'hydrocarbures et de divers détritiques solides.

La pollution d'origine agricole résulte des effluents d'élevage et de l'emploi de pesticides et d'engrais organiques ou minéraux pour la fertilisation des terres. Ces composés peuvent être lessivés lors des précipitations et entraînés vers les milieux aquatiques.

La pollution industrielle est très diversifiée. Selon le type d'activité concerné, les rejets peuvent être composés de matières organiques, d'hydrocarbures, et de diverses substances chimiques. Les polluants toxiques affectent les organismes, alors que les polluants trophiques affectent le fonctionnement de l'écosystème.

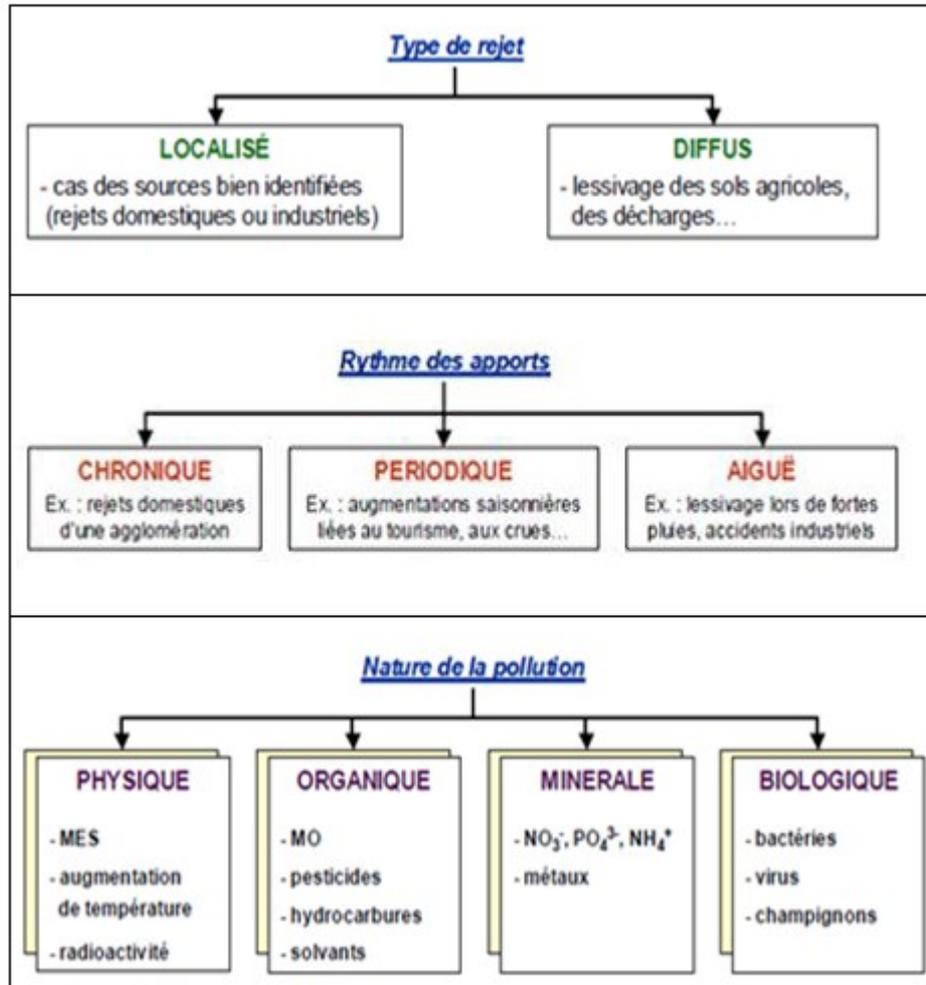


Figure 49: Représentation schématique des différents types de rejets et de pollutions(Edwards et al., 2000 in Chaguer, 2013).

V.3.Types de polluants

Dans la zone d'étude, le diagnostic établi après enquête et inspection des lieux a permis d'identifier et de localiser les pollutions suivantes :

V.3.1. Pollution domestique et eaux usées

Les eaux usées domestiques non épurées représentent la principale source de pollution organique des eaux. Les eaux ménagères contiennent des détergents, des résidus organiques, des solvants, des parfums, des agents de blanchissage et des adoucissants. Les produits nettoyants domestiques sont constitués de milliers de produits chimiques de formes variées (de petites molécules simples à de grosses molécules très complexes) dont la persistance dans

l'environnement varie de quelques heures à quelques années (Bekhouché, 2008 in Bedouh, 2014).

Le réseau d'assainissement de la ville de Guelma est un réseau unitaire. Environ 85% des égouts lui sont raccordés. Il est divisé en deux parties, la première donne sur un rejet situé à proximité de la route nationale N° 20 déversant sur l'Oued Maïz, la seconde sur un rejet traversant la ville ; Oued Skhoûn (Mouassa, 2006). Les eaux usées des agglomérations sont déversées dans les affluents des principaux cours d'eau. En effet Oued Skhoune, Oued Maïz, Oued Zimba, Chaabat Maamoura, Oued Boussora et Oued Hlia et d'autres affluents drainant des volumes importants des eaux usées des principales agglomérations tels que la ville de Guelma, Héliopolis, Oued Zenati, Bouchegouf, Belkheir et Boumahra en traversant la nappe alluvionnaire avant d'atteindre l'Oued Seybouse et ses affluents (Mouchara, 2009). La nappe de Guelma est actuellement menacée par les rejets des eaux usées urbaines qui sont rejetées sans traitement préalable dans l'Oued Seybouse sauf pour la ville de Guelma où on a une station d'épuration mise en service ces dernières années.

Les trois décharges publiques existant sur les deux rives de l'Oued Seybouse, contribuent aussi à cette pollution par leur lessivât. La première au Nord de Guelmaat Bousbaa, la deuxième à l'Est d'Héliopolis et qui revêt le caractère d'un C.E.T classe II compte tenu de la quantité et de la diversité des polluants reçus quotidiennement et la troisième à Djebel Hallouf au Sud de la ville de Guelma et à l'amont de l'ancienne terrasse de la nappe alluvionnaire. Le tableau 23 montre l'état d'assainissement dans la wilaya de Guelma et les volumes des rejets des eaux usées domestiques de chaque commune.

V.3.2. Pollution industrielle (installations classées)

Les caractéristiques des eaux usées industrielles subissent de grandes variations, elles dépendent d'une multitude de paramètres : type de l'industrie (production, nettoyage), les différentes étapes du procédé industriel et l'état des appareils. Ces eaux peuvent être troubles, colorées, contenir des matières en suspension, des matières organiques ou minérales dissoutes, des produits acides ou alcalins, des sucres, des huiles, des métaux lourds et des hydrocarbures (Richard, 1996 in Bedouh, 2014).

L'essor industriel qu'a connu la région de Guelma a donné naissance à beaucoup de petites et grandes industries, les rejets de ces derniers sont constituées d'eaux usées et de déchets solides et se font en général dans les oueds sans traitement préalable.

Tableau 23: Rejets des eaux usées domestiques : Cas d'assainissement de la wilaya de Guelma (DHW Guelma , 2007).

DAIRAS	COMMUNES	Pop. 2006	Pop. 2020	Pop. 2050	Dotation (l/j/hab.)	V. Rejeté (m ³ /j)	Nbre de rejets	Type	Lieu de rejet
Guelma	GUELMA	135684	173224	292362	96	13026	4	Urb	O. Seybouse
	BEN DJARAH	5093	6502	10974	96	489	2	s/urb	Chaâbat
G B S	GUELAAT B. S.	5826	7438	12553	96	559	1	s/urb	Chaâbat
	NECHMAYA	10971	14006	23640	96	1053	3	s/urb	Chaâbat
	BELKHEIR	18057	23053	38908	96	1733	2	urb	Chaâbat
	BOUMAHRA A.	18423	23520	39697	96	1769	3	urb	O. Seybouse
	DJEBALLAH K.	4672	5965	10067	96	449	2	s/urb	Chaâbat
	BENI MEZLINE	5407	6903	11651	96	519	2	s/urb	Chaâbat
Bouhegouf	BOUCHEGOUF	25878	33038	55760	96	2484	3	Urb	O. Seybouse
	AIN BEN BEIDA	10655	13603	22959	96	1023	2	s/urb	Chaâbat
	Oued FRAGHA	8083	10319	17417	96	776	2	s/urb	O. Seybouse
	MEDJEZ SFA	9080	11592	19565	96	872	2	s/urb	Oued Malleh
Oue Zenati	OUED ZENATI	34014	43425	73291	96	3265	8	Urb	Oued zenati
	AIN REGADA	8871	11325	19115	96	852	4	s/urb	Oued zenati
	BORDJ SABAT	11968	15279	25788	96	1149	4	s/urb	Oued zenati
Ain Makhlouf	AIN MAKHLOUF	13595	17356	29294	96	1305	3	Urb	Chaâbat
	AIN LAARBI	9448	12062	20358	96	907	3	s/urb	Chaâbat
	TAMLOUKA	20471	26135	44109	96	1965	3	Urb	Chaâbat
Ain Hassainia	AIN HASSANIA	7663	9783	16512	96	736	9	s/urb	Oued Charef
	MEDJEZ AMAR	7768	9917	16738	96	746	4	s/urb	O. Seybouse
	S-ANNOUNA	3622	4624	7804	96	348	2	s/urb	Chaâbat
	RAS EL AKBA	2940	3753	6335	96	282	2	s/urb	Chaâbat
Khezaras	KHEZARAS	9867	12597	21261	96	947	6	s/urb	Chaâbat
	BOUHACHANA	6771	8644	14590	96	650	3	s/urb	Chaâbat
	AIN SANDEL	6142	7841	13234	96	590	3	s/urb	Chaâbat
Héliopolis	HELIOPOLIS	27294	34845	58811	96	2620	2	Urb	O. Seybouse
	BOUATI M.	10445	13335	22506	96	1003	3	s/urb	O/El Hammam
	EL FEDJOU DJ	9133	11660	19679	96	877	1	s/urb	Chaâbat
H,Debagh	H. DEBAGH	16429	20974	35400	96	1577	5	Urb	O. Bouhamdane
	ROKNIA	12178	15547	26240	96	1169	2	s/urb	Chaâbat
	BOUHAMDANE	5459	6969	11763	96	524	5	s/urb	O. Bouhamdane
H. N'Bail	HAMMAM N'BAIL	19316	24660	41621	96	1854	2	Urb	O/H/Nbail
	DAHOUARA	9396	11996	20246	96	902	2	s/urb	O/H/Nbail
	Oued CHEHAM	14277	18227	30763	96	1371	3	Urb	Chaâbat
	Total Wilaya	524896	670120	1131008	-	50390	107	-	-

Les trois zones industrielles les plus importantes au niveau de la wilaya de Guelma sont situées respectivement à l'amont de Oued Zimba (zone d'alimentation de la nappe alluvionnaire) sur la rive gauche de Oued Maïz (cité frères Rahabi) et au Sud d'El Fedjoudj sur la rive gauche de l'Oued Seybouse (Bedou Y, 2014).

Les installations industrielles de la ville sont classées et recensées par l'inspection de l'environnement de l'année 2014 et sont présentées dans le tableau 24.

Tableau 24: Actualisation des installations classées de Guelma et les milieux récepteurs de leurs rejets (Direction de l'Environnement Guelma, 2014).

Nature de l'activité	Nombre	Lieu de rejet	Caractéristique de rejet
Production cycles et motocycles	01	Réseau d'assainissement	Ni-Cr-Fe
Production de Porcelaine	01	Réseau d'assainissement	Teneur élevée en MES, Pb, Cd
Production de limonade	10	Réseau d'assainissement	Alcalinité élevée, teneur en MES, détergents, DBO
Raffinage de l'huile d'olives	14	Chaabet OuedSfa OuedBoouaati M Oued Seybouse Réseau d'assainissement	Huiles et graisses végétales
Production de carrelage- Sciage et polissage de marbre	06 01	ouedMaïz ouedSeybouse chaabetMaamoraouedBoussora	Teneur élevée en MES, ciments blancs
Raffinage du sucre	01	Réseau d'assainissement	teneur élevée en matières organiques teneur élevée en MES
Minuteries	04	Réseau d'assainissement	
Production d'eau de javel	01	Réseau d'assainissement	Chlorure
Carburant et station de lavage et graissage	42	Réseau d'assainissement Milieu naturel Chaabetain Ibrahim	Graisse, Pb
Briqueterie	01	Milieu naturel	
Production de la tomate conserve	03	OuedBouaati M Ouedseybouse Chaabet	Teneur élevée en MES, matières organiques dissoutes, pH parfois alcalin
Abattage de volaille	04	Réseau d'assainissement Milieu naturel	
Abattage d'animaux	01		
Oravie	05	Milieu naturel	Forte concentration en matière organique, germes pathogènes
Laiterie	01	Oued Seybouse	Forte concentration en matière organique dissoute
Moulin	03	Oued Seybouse Oued Zimba	Teneur élevée en MES

Il ressort de l'exploitation des fiches d'enquête et de la recherche documentaire auprès de l'office national d'assainissement (ONA), que l'endroit de déversement (affluent) pour chaque installation classée peut être identifié. Cette information est essentielle pour déterminer les teneurs des différents polluants dans les eaux d'irrigation qui sont l'exutoire de tous ces rejets et leur relation avec les apports polluants des affluents de l'Oued Seybouse (Mouassa, 2006).

Les stations de lavage et de carburants (environ plus d'une quarantaine), concentrées sur l'axe H.Debagh-Guelma-Belkeir-Boumahra-Bouchehouf, sont des sources de pollution potentielle. L'eau de lavage contient de l'huile, des lubrifiants, du goudron, des matières en suspension, des métaux lourds et des micro-organismes qui finissent dans le sol et pénètrent par infiltration dans les eaux souterraines (Mouchara, 2009).

V.3.2.1. Caractéristiques des effluents liquides du complexe de porcelaine Guelma

Dans l'unité de fabrication de céramique, la consommation d'eau se limite au malaxage et au broyage par voie semi-humide dont la totalité d'eau introduite est absorbée par le matériau par conséquent les eaux résiduaires sont de qualité peu significative. Il est à noter que l'unité de production procède à un système de nettoyage automatique (système d'aspiration). Ceci permet d'économiser l'eau. L'évacuation des eaux utilisées s'effectue à travers un réseau de type séparatif vers le collecteur principal de la ville de Guelma.

Les résultats délivrés en 2008 par le laboratoire d'analyse et de contrôle de qualité et de la conformité autorisé par décision du ministère n° 060/2006 sont montrés dans le tableau 25.

Tableau 25: Résultats d'analyses des rejets d'effluents liquides industriels complexe de porcelaine Guelma (Mai 2008) (Source direction de l'environnement Guelma).

Paramètres	Unité	Valeurs limites	Résultats Labo n°1 Cheghib	Résultats Labo N°2 d'hygiène Direction de la santé et population
Température	°C	30	13.8	14
PH	-	5.5-5.8	7.81	7.66
DCO	mg/l	80	80	70
MES	mg/l	35	-	-
Matière décantable	mg/l	0.5	0.3	0.4
Plomb	mg/l	0.5	0.4	0.3
Cadmium	mg/l	0.07	0.05	0.04

Les résultats obtenus des deux laboratoires montrent clairement que l'eau après usage au niveau de l'unité de production est conforme aux normes suivant le décret exécutif n° 06/141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

V.3.2.2. Caractéristiques des eaux usées industrielles de la sucrerie raffinée de Guelma

Cette unité est l'une des plus importantes des installations classées à Guelma, donc potentiellement polluante, de ce fait la connaissance de la nature et la quantité de ses rejets, nous serons d'une grande utilité.

Les informations fournies par la direction de l'environnement en 2014 concernant les analyses physico-chimiques de la boue et les gâteaux issus de la filtration et la déshydratation portant sur un nombre limité de paramètres sont illustrées respectivement dans les tableaux 26 et 27. Il y a lieu à noter que la boue issue de la filtration par filtre presse est collectée et stockée au niveau de l'assiette de terrain de l'usine, les déchets de la boue sont très riches en matière organique, la transformation biologique de ces déchets engendre de graves conséquences en matière d'altération.

Tableau 26: Caractéristiques physico-chimiques de la boue de filtration (SSS, Mars 2014).

Paramètres	Unité	Résultats	Méthode
PH	U	7.99	Multi paramètres
Conductivité	µs/cm	477	EN 12880
Matière sèche	%	88	EN 12879
Matière organique	%	82	ISO : 5666: 1999
Mercur	mg/kg	< 0.001	ISO: 8288: 1986
Cadmium	mg/kg	< 0.03	ISO: 8288: 1986
Plomb	mg/kg	< 0.2	
Couleur		marron	
Odeur		Abs	
Aspect		Pâteuse	

Tableau 27 : Caractéristiques physico-chimiques du gâteau issu de la déshydratation par filtre presse.

Eléments	Quantités en %	Eléments	Quantités en %
PH	8.9	CaO	31.6
MES	73.72	MgO	1.45
MO	8.66	Azote	2.0
K ₂ O	0.1	P ₂ O ₅	0.66

V.3.3. Pollution d'origine agricole

La pollution diffuse d'origine agricole est une problématique rencontrée de façon récurrente par les collectivités. Ces types de pollution sont l'une des causes principales de la dégradation des masses d'eaux en Algérie. L'utilisation massive des engrais et des produits phytosanitaires, les déjections animales qui accompagnent les élevages intensifs, les accumulations de métaux (Cu, Zn) provenant des compléments alimentaires des animaux d'élevage et des résidus d'antibiotiques utilisés contre les infections animales ou pour favoriser leur croissance, détruit la vie dans les rivières et rend impropre à la consommation humaine et parfois animale les eaux superficielles et souterraines.

L'épandage excessif sur les champs de cultures entraîne une accumulation de phosphore, d'azote et de résidus de pesticides dans le sol. Ces produits peuvent ensuite atteindre le réseau hydrographique par ruissellement, par érosion des sols et marginalement par lessivage. Par ailleurs, les analyses physico-chimiques des eaux souterraines dans le bassin de Guelma, ont montré des teneurs en nitrate élevées et qui ne peuvent être que d'origine agricole, compte tenu de la nature et des quantités des fertilisants utilisés (tableaux 28 et 29), au niveau du périmètre d'irrigation qui recouvre la totalité de la nappe alluvionnaire et la partie sud-ouest de l'aquifère d'Héliopolis (Benmarce, 2007).

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

Tableau 28: Types et quantités de fertilisants utilisés dans la wilaya de Guelma durant la campagne (2005 – 2006).

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

Tableau 29: Identification des engrais utilisés dans la zone d'étude (2004 / 2006).

Types d'engrais	Observations
N.P.K : 15.15.15	N P2O5K2O : Azote : 15% P2O5 : 15% K2O : 15%
Urée 46%	CO (NH2)2 : hydrolyse → ammonification → nitritation → nitratation (NHO3)
U.A.N 32%	Azote total : 32% Azote ammoniacal : 7% Azote nitrique : 7.8% Azote uréique : 16.4%

V.3.4. Pollution métallique

V.3.4.1. Rappels généraux sur les métaux lourds

A la différence de la plupart des contaminants organiques, les métaux lourds sont des constituants naturels dans les roches et dans les gisements minéraux. Ainsi, ces éléments sont présents à de faibles teneurs (à l'état de traces, moins de 0.1%) dans les sols, les sédiments, les eaux de surface et les organismes vivants (Alloway et Ayres, 1997 ; Callender, 2003 in Aranguren, 2008). Ces faibles concentrations en métaux lourds constituent le fond géochimique d'un certain environnement.

Pour évaluer l'impact d'un métal lourd dans l'environnement, la seule présence n'est pas suffisante. Cet impact est potentiel si le métal donné se trouve à des niveaux des concentrations anormalement élevées par rapport au fond géochimique (Alloway et Ayres, 1997 in Aranguren, 2008). C'est pourquoi bien connaître le fond géochimique est essentiel pour déterminer la contamination en métaux lourds causée par l'activité minière (Runnels et al., 1992 in Aranguren, 2008). Une fois que les métaux lourds ont été libérés dans le milieu, soit par des processus naturels (ex. altération) ou anthropiques (ex. exploitation minière) depuis leur source, ils peuvent être transportés par voie éolienne via des aérosols ou par voie aqueuse via l'eau, les matières en suspension ou les sédiments de fond des cours d'eau ; leurs concentrations est un paramètre important pour caractériser l'impact toutefois il est très important de connaître la disponibilité de leur concentrations dans le milieu vis-à-vis des organismes terrestres et aquatiques (Alloway et Ayres, 1997 in Aranguren, 2008). Cette « disponibilité » d'un élément vis-à-vis des organismes (appelée parfois abusivement « biodisponibilité ») est très contrôlée par la dissolution et la mise en solution à partir des minéraux porteurs, et par la suite par l'adsorption et la précipitation de cet élément par des réactions géochimiques ayant lieu dans les eaux, les sédiments ou les aérosols. Le degré dans lequel un métal est absorbé ou précipité dépend notamment ses propriétés intrinsèques (état d'oxydation, rayon atomique, etc.), des paramètres physico-chimiques de l'environnement (pH et potentiel d'oxydoréduction), de la nature de l'absorbant (charge dépendant du pH, type de complexes ligands, surface spécifique), des autres métaux (ou d'autres cations majeurs) présents et de leurs concentrations (Alloway et Ayres, 1997 ; Sigg et al., 2000 in Aranguren, 2008).

En raison de leurs différentes caractéristiques spécifiques, les métaux lourds ont été largement utilisés dans les nouvelles technologies (métallurgiques et électroniques),(tableau 30). En conséquence, leurs sources anthropiques sont vastes et leur introduction est plutôt récente dans l'environnement (Callender, 2003 in Aranguren, 2008). Parmi les sources anthropiques de métaux lourds, nous pouvons signaler : l'activité minière, l'industrie métallurgique et sidérurgique, les engrais et pesticides appliqués dans la culture des sols, les incinérateurs et cendres d'incinération des déchets, les déchets médicaux, les déchetteries de villes, les émissions des usines et moteur à explosion, les effluents des égouts et boues d'épuration (Cotranet al., 1990 ; Fergusson, 1990 ; Hong et al., 1994 ; Candelone et al., 1995 ; du Bray, 1995 ; Alloway et Ayres, 1997 ; Freyssinet et al., 2002 ; Callender, 2003 ; Plumlee et Ziegler, 2003 ; Gavilán García et al., 2004 ; Sukandar et al., 2006 in Aranguren, 2008).

Cependant, il semble que la source anthropique principale de métaux lourds pour l'environnement est celle produite par l'activité minière et les industries associées, et elle a été aussi identifiée comme un des premiers impacts environnemental provoqué par l'homme (Nriagu, 1996 ; Larocque et Rasmussen, 1998 ; Leblanc et al., 2000 in Aranguren, 2008).

Tableau 30: Utilisation courante des métaux dans l'industrie.

Métal	Utilisation
Al	Transport, bâtiment, emballage, construction électrique, autres.
Cd	Piles, pigments, autres usages industriels.
Cr	Aciers inoxydables, chimie de réfractaires, utilisations métallurgiques diverses.
CO	Superaliages, aimants, carbures cémentés, céramiques, chimie (pigments, catalyseurs, agents siccatifs...).
Cu	Constructions électrique, bâtiment, équipement industriel, transport, autres. Sidérurgie, autres.
Fe	Sidérurgie, autres.
Ni	Aciers inoxydable, alliages de nickel, aciers et fontes alliées, revêtements de surface, autres.
Hg	Cellules d'électrolyse, construction électrique, autres.
Pb	Batteries, laminés et munitions, chimie, autres.
Zn	Galvanisations, pièces moulés, laiton et autres métaux 'alliages, demi-produit chimique et autres.
Sn	Fer blanc, soudure, chimie, étain ouvré et divers.
Mo	Ferromolybdène et alliages, Chimie (catalyseurs).

V.3.4.2. Spéciation des métaux dans le milieu aquatique

Le terme spéciation décrit le taux et la nature des espèces, des formes et des phases présentes. L'analyse de spéciation est l'activité analytique d'identification et de mesure de la quantité d'une ou de plusieurs espèces chimiques dans un échantillon (Weilenmann et al., 1989, Van Hullebusch, 2003 in Chaguer, 2013). Pour déterminer la spéciation d'un élément, il faut déterminer toutes les formes chimiques selon lesquelles il est présent dans un milieu donné, ce qui est très difficile d'autant plus que l'analyse d'une forme chimique modifie et déstabilise souvent les autres formes chimiques présentes (Weilenmann et al., 1989).

Dans l'environnement, la détermination de la spéciation est cruciale pour caractériser le comportement et les effets des différents éléments. Deux formes chimiques différentes d'un même élément peuvent avoir des toxicités très différentes, par conséquent la donnée de la teneur totale d'un élément ne donne qu'une indication globale du degré de pollution, mais ne permet pas de connaître avec précision le risque toxique lié à l'élément (El Morhit, 2009).

En milieu aquatique, les micropolluants existent sous deux formes: dissoute ou particulaire. Le métal dissous sous la forme ionique, dite libre, existe en général en faible proportion car il forme des complexes avec de nombreux ligands inorganiques et organiques, ou s'adsorbe sur des surfaces immergées. Les métaux dissous sont en contact avec les sédiments ou matières en suspension, qui agissent comme des surfaces d'échange complexes (Gonzalez, 2001 in Chaguer, 2013).

Généralement le comportement d'un métal dans un écosystème aquatique dépend des conditions physico-chimiques du milieu (Bolton et Evans, 1996.). Par exemple, les métaux dissous peuvent précipiter en cas de changements de pH ou de conditions redox. A mesure que le cours d'eau grandit, la concentration en carbone organique dissous augmente. Ceci permet la formation de complexes stables entre les métaux et la matière organique. Par ailleurs, par l'activité bactérienne, les conditions peuvent devenir anoxiques et réductrices. Les métaux tendent alors à précipiter sous forme de sulfures métalliques. L'interaction entre les organismes vivants et le métal dépend entre autres de la forme sous laquelle ce dernier se trouve dans le milieu. Par analogie, on appelle également complexation avec le ligand biotique la fixation du métal par les organismes (Commission européenne, 2009).

Les processus chimiques les plus importants affectant le devenir et la mobilité des éléments traces métalliques dans les sédiments, sont les transferts de la phase solide vers la phase liquide et inversement (Berthelin et Bourrelier, 1998 in Chaguer, 2013).

V.3.4.3. Les effets biochimiques des métaux lourds

Les métaux considérés dans notre étude ont des effets très différents sur le milieu vivant. Quelques-uns sont nécessaires pour les organismes ; ils sont dits « essentiels », bien qu'à des fortes concentrations, ils peuvent être nocifs pour les organismes. Parmi ces éléments qui sont essentiels (micronutriments), et dont l'absence entrave le fonctionnement ou empêche le développement d'un organisme, on trouve Fe, Mn, Zn et Cu pour les plantes et les animaux. Par ailleurs, Co, Cr et Se sont essentiels seulement pour les animaux, alors que Mo est un micronutriment pour les végétaux.

Ces éléments constituent des enzymes et protéines qui sont très importantes dans les processus métaboliques des organismes (Alloway et Ayres, 1997). Toutefois, si ces éléments essentiels se trouvent être en fortes concentrations, ils peuvent devenir toxiques pour les organismes ; c'est pourquoi il existe des guides pour la qualité des eaux et des sédiments. Ces guides de qualité sont déterminés en fonction d'un organisme ponctuel par exemple : l'homme pour le guide de qualité de l'eau (O.P.S., 1987 in Aranguren, 2008). Quand le guide de qualité cherche à avoir un caractère général, les organismes choisis sont les plus simples possibles, en bout de chaîne trophique, comme c'est le cas des guides de qualité des sédiments (Ingersoll et al., 2000).

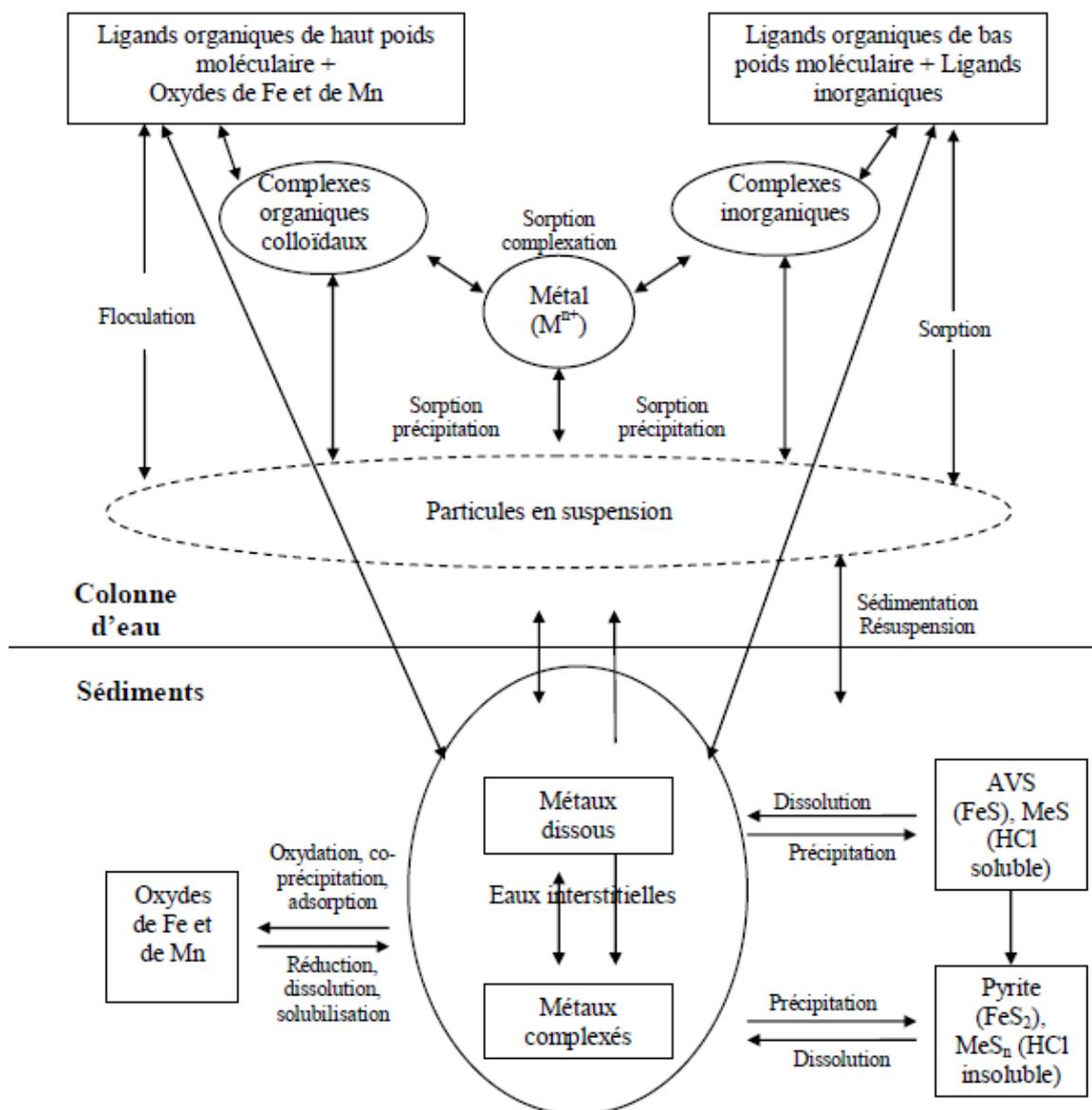


Figure 50: Exemple de cycle des métaux traces dans les milieux aquatiques (Weilenmann et al., 1989 ; Ramarason, 2008).

Ces guides fixent également des limites sur la présence des autres métaux lourds qui ne sont pas considérés comme essentiels. La présence de ces métaux n'est pas rare dans le milieu vivant (Freiberg et al., 1979). Ces éléments qui ne présentent pas une fonction métabolique, sont connus comme « non essentiels » et généralement ont un seuil de concentration beaucoup plus bas pour devenir toxiques (Freiberg et al., 1979 ; O.P.S., 1987 ; Alloway et Ayres, 1997; Ingersoll et al., 2000). Ces éléments non essentiels sont : As, Cd, Pb, U, Hg, Sb, Tl et Pu.

V.4. Matériel et méthodes

V.4.1.Echantillonnage

L'échantillonnage a été réalisé sur douze sites, les points de prélèvement ont été retenus en fonction de leur capacité à satisfaire au mieux les objectifs définis pour cette étude qui résident dans l'impact des rejets de la ville de Guelma et les villages traversés par le cours principale d'oued Seybouse, en plus des activités agricoles. D'autres facteurs sont mis en considération, comme l'importance hydrologique des affluents et la facilité à l'accessibilité pour l'échantillonnage.

Le positionnement des différents points a été effectué à l'aide d'un GPS en coordonnées UTM (Transverse Universelle de Mercator). Ces coordonnées sont consignées dans le tableau 31.

Tableau 31:Coordonnées des sites de prélèvements le long du cours principale de l'oued Seybouse et certains affluents.

Nom de site	Code de Site	Cordonnées GPS
Aval de l'oued Charef à Medjez Amar	S1	N 36.26592 E 7.18665
Aval de l'oued Bouhamdane à Medjez Amar	S2	N 36..26595 E 7.18618
Oued Seybouse au pont de Bentabouche	S3	N 36.27906 E 7.20409
Oued Seybouse au pont de Héliopolis	S4	N 36.29131 E 7.26279
Aval de l'affluent de OuedSekhoune	S5	N 36.29090 E 7.26297
Aval de l'affluent de OuedBradaa	S6	N 36.29376 E 7.26483
Aval de l'affluent de OuedMaiz	S7	N 36.27876 E 7.28073
Aval de l'affluent de OuedZimba	S8	N 32.67897 E 7.29254
Aval de l'affluent de OuedBoussora	S9	N 36.28113 E 7.32064
Oued Seybouse -plaine de Boumahra	S10	N 36.27427 E 7.31498
Aval de l'affluent de OuedHelia	S11	N 36.24759 E 7.36690
Oued Seybouse -à Nadhur	S12	N 36.25017 E 7.37485

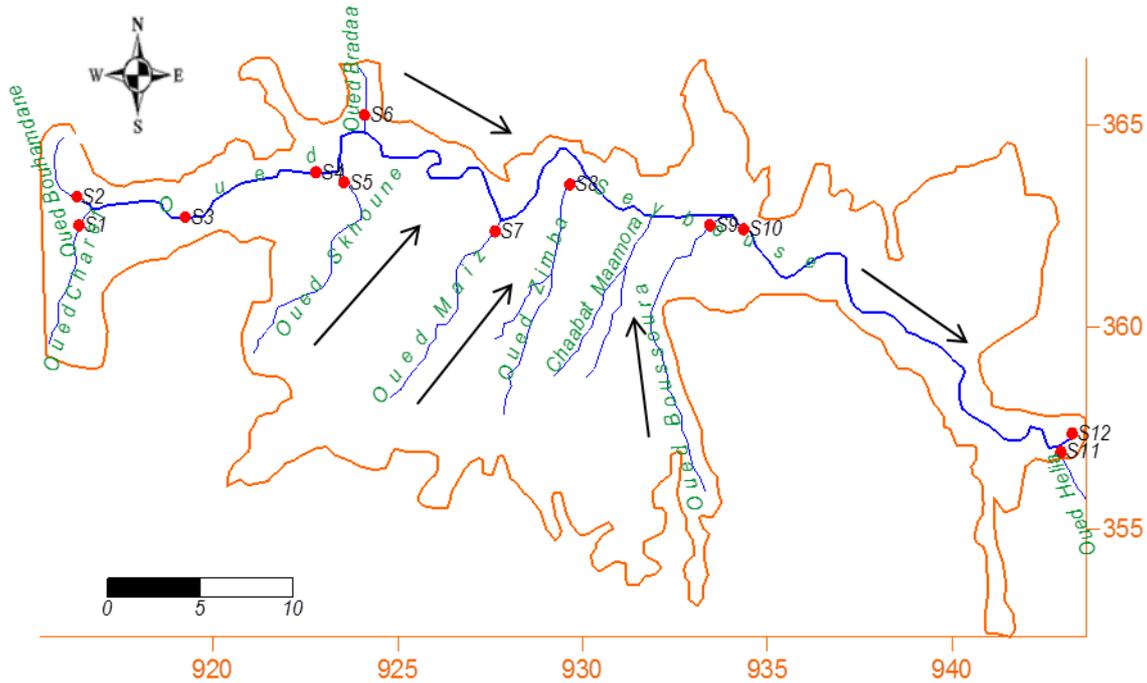


Figure 51: Carte des sites d'échantillonnages.

La campagne de Novembre de 2013 a été consacrée pour le prélèvement d'échantillons d'eau en vue de dosage des éléments en trace métallique (ETM). Les échantillons d'eau, destinés pour les analyses des ETM, ont été recueillis dans les bouteilles de plastique de qualité supérieure, puis conservés dans des glacières jusqu'au laboratoire d'analyse (ICP-AES : Ultima2-JobinYvon), appartenant au centre national des recherches scientifique et technique (CNRST) de Rabat au Maroc. Le matériel de l'échantillonnage a été préalablement nettoyé dans deux bacs de l'acide nitrique (HNO_3 à 10%), puis dans deux bacs à l'eau et séché dans des conditions ultra propres (salle blanche).

En vue des analyses des métaux traces, des échantillons d'eau prélevés sont filtrés à 1.2 μm . Les échantillons d'eau prévue pour les ICP-AES, sont acidifié à 1 % de l'acide nitrique concentré : HNO_3 à 65 % supra pur à un pH inférieur à 2 et conservés dans des tubes en polypropylène à 0°C afin d'éviter les processus d'adsorptions et les risques d'une mauvaise conservation.

V.4.2. Principe de l'ICP

L'analyse des échantillons par ICP peut être divisée en quatre étapes :

- Introduction-nébulisation
- Ionisation
- Séparation en masse de charge
- Détection.

Une pompe péristaltique permet l'introduction de l'échantillon dans une chambre de vaporisation où le nébuliseur le transforme en un aérosol liquide composée de microgouttelettes de quelques μm à l'aide d'argon. L'aérosol ainsi formé est envoyé dans une torche à plasma d'argon (15 l/min) à très haute température (entre 600 et 10000°C), suffisante pour vaporiser, dissocier, atomiser et ioniser complètement la plupart des éléments. La partie détection s'effectue grâce à un multiplicateur d'électron à dynodes discrètes. Les ions aspirés dans les ouvertures de deux cônes en Ni pur sont focalisés par un système de lentilles électrostatiques vers le quadripôle. Un analyseur multicanaux enregistre les signaux électriques produits. Le signal se traduit en nombre de coups (nombre d'impulsion), une interface informatique assure le transfert des données afin qu'elles soient traitées. Les nombres de coups convertis en concentration grâce à l'utilisation de deux types de calibrations : extrême (solution étalons) et interne. Les étalons internes utilisés pour corriger la dérive instrumentale sont le Bismuth (Bi) et l'indium (In).

V.4.3. Les interférences

La présence d'éléments autres que celui que l'on désire à analyser peut augmenter des interférences de différentes natures :

- Les interférences dues à l'existence d'isotopes naturellement stables d'éléments ayant la même masse.
- Les interférences dues à la formation d'oxydes et/ou d'hydroxydes dans le plasma par réaction avec les espèces majoritaires.
- Les interférences dues aux ions ou aux molécules ionisées, doublement chargé. Les interférences les plus fréquentes sont les interférences polyatomiques et isobariques. Il existe différents moyens pour éliminer ces interférences. Le premier consiste à choisir l'isotope de l'élément considéré sur lequel il n'y a, dans la mesure du possible, pas d'interférences.

On choisit en général l'isotope qui a la plus grande abondance atomique mais il existe des exceptions. Par exemple, dans les eaux chargées en Sr, on utilise l'isotope ^{86}Sr qui est peu abondant (9.86%). Pour certains éléments, on analyse plusieurs isotopes. On choisira la valeur la plus faible et donc la moins interférée. La deuxième méthode pour réduire les interférences est de séparer chimiquement les éléments dans le but d'isoler ceux que l'on désire analyser. Enfin la dernière méthode consiste à effectuer une correction sur les éléments interférés basés sur la proportion du signal dû aux interférences que l'on déduit de l'intensité du signal de l'élément considéré. Les interférences peuvent être corrigées à l'aide d'équations directement effectuées par le logiciel qui gère l'ICP. Il permet par exemple d'éliminer la contribution de ^{86}Kr et ^{86}Sr .

V.4.4. Préparation des échantillons, des solutions étalons et des blancs

Chaque échantillon destiné à l'analyse des éléments traces est préparé de façon suivante :

- 9.65 ml échantillon
- 0.25 ml de HNO_3 15N supra pur (Merck)
- 0.1 ml d'une solution de Bi-In (Bismuth -l'indium) à 1mg/ml (étalon interne).

Selon les niveaux de concentration, l'échantillon est dilué afin de se trouver dans la gamme de la droite de calibration. Les gammes de concentrations choisies correspondent aux concentrations les plus couramment rencontrées dans nos échantillons. Un banc analytique est systématiquement passé au début de chaque série analytique pour évaluer le bruit de fond de l'appareil. Il est préparé de la même manière et au même moment que les échantillons avec de l'eau ultra pure et avec les mêmes réactifs. Il est systématiquement soustrait des valeurs mesurées pour chaque échantillon. Une blanche chimie est aussi régulièrement passée en début de série analytique. Elle a subi exactement les mêmes étapes pour les échantillons, c'est à dire le transport sur le terrain, la filtration, l'acidification, le stockage et la préparation avant l'analyse.

V.4.5. Limites de détection et de quantification

Les limites de détection et de quantification des éléments traces sont représentées dans le tableau 32.

Tableau32: Les limites de détection et de quantification des éléments traces.

Elément	Limite de détection (µg/l)	Limite de quantification (µg/l)
7Li	0.1	0.4
11B	0.3	1.1
27Al	3.6	12.2
52Cr	0.9	2.9
53Cr	1.4	4.7
55Mn	0.03	0.11
59Co	0.05	0.3
60Ni	0.2	0.7
62Ni	0.9	2.9
63Cu	0.1	0.3
65Cu	0.1	0.3
66Zn	0.3	1.0
75As	0.3	1.1
85Rb	0.02	0.06
86Sr	0.07	0.24
95Mo	0.03	0.09
137Ba	0.02	0.07
208Pb	0.01	0.04
238U	0.001	0.003
139La	0.001	0.003
140Ce	0.001	0.004
141Pr	0.001	0.003
146Nd	0.009	0.029
149Sm	0.007	0.022
151Eu	0.002	0.007
157Gd	0.007	0.022
159Tb	0.001	0.004
163Tm	0.004	0.015
165Ho	0.001	0.003
167Er	0.005	0.016
169Tm	0.001	0.004
174Yb	0.004	0.012
175Lu	0.001	0.004

V.4.6. Validité des analyses

V.4.6.1. Justesse

Concernant les éléments traces, nous disposons d'un matériau de référence, le SLRS-4. Ce dernier est analysé en début de chaque série analytique. Il existe une bonne corrélation entre la valeur certifiée et celle mesurée. Les valeurs mesurées sont comprises dans l'intervalle de confiance des valeurs certifiées pour la majorité des éléments analysés validant ainsi les analyses. Cependant l'aluminium s'écarte légèrement de la valeur certifiée comprise, tout de même, dans l'intervalle de confiance, il est légèrement sous-estimé. Le calcul de la justesse est présenté dans le tableau 33. La justesse est supérieure à 90 % pour la majorité des éléments. Seuls Co et Zn ont des justesses inférieures à 90 % mais qui restent tout de même importantes (supérieures à 80 %).

Tableau 33: Justesse et répétitivité des mesures de SLRS-4 par ICP.

Élément trace	Valeur certifiée en (µg/l)	Intervalle de confiance à 95 %	Valeur mesurée en (µg/l)	Ecart type en (µg/l)	n	Justesse (%)	Répétitivité (%)
Al	54	4	48.9	3.6	30	90.6	70.3
As	0.68	0.06	0.74	0.08	30	91.8	10.5
Ba	12.2	0.6	12.3	0.4	30	99.6	3.2
Co	0.033	0.006	0.039	0.010	30	80.6	26.6
Cu63	1.81	0.08	1.76	0.09	30	97.2	5.1
Cu65	1.80	0.09	1.73	0.11	30	95.6	6.3
Mn	3.37	0.18	3.21	0.14	30	95.4	4.4
Mo	0.21	0.02	0.20	0.02	30	93.1	8.0
Ni60	0.067	0.08	0.65	0.06	30	97.0	9.2
Ni62	0.69	0.06	0.58	0.05	30	86.6	8.6
Pb	0.086	0.007	0.080	0.016	30	92.8	20.3
Rb	0.090	0.009	1.444	0.083	30	91.9	5.8
Sr	26.3	3.2	26.8	1.4	30	98.2	5.4
U	0.050	0.003	0.047	0.003	30	94.7	5.4
Zn	0.93	0.10	0.81	0.04	30	87.1	4.9

V.4.6.2. Etalon interne

Deux étalons internes sont ajoutés dans chaque échantillon pour de corriger la dérive de l'ICP. Il s'agit de l'indium (In 115) et de Bismuth (Bi 209). Le logiciel se base sur le nombre coups sur In et Bi dans le blanc analytique et suppose qu'il doit rester constant tout au long de l'analyse. Il va donc effectuer une correction du nombre de coups sur chaque élément dans chaque échantillon par rapport à cet échantillon de référence. Ceci permet de corriger la dérive naturelle de l'ICP au cours du temps.

V.5. Résultats et discussion des études géochimique des éléments métalliques analysés

❖ Le fer

Le fer peut se rencontrer dans l'eau sous différentes formes. Dans les conditions habituelles, c'est-à-dire pour un pH variant entre 4,5 et 9, le fer soluble présent est généralement à l'état ferreux. Si le milieu est réducteur comme dans beaucoup d'eaux souterraines, le fer ferreux peut atteindre des teneurs élevées. En l'absence de complexes, le fer ferrique n'est soluble d'une façon significative qu'à des pH inférieurs à 3. Pratiquement, les eaux superficielles n'en contiennent que très peu, rarement plus de 1mg/L. En effet, sous l'action de l'air, ou par addition chlore, le fer est oxydé à l'état ferrique et peut être hydrolysé pour donner un hydroxyde de fer insoluble. C'est généralement sous cette forme qu'on le trouve dans les échantillons, sauf si le prélèvement a été pratiqué de telle façon qu'il ne se produise aucune oxydation.

L'évolution spatiale du Fe au niveau des eaux de surface de l'oued Seybouse et ses principaux affluents (figure 52) permet de déceler des différences des teneurs très significatives entre les divers points de prélèvement. Elle permet de dégager les diverses influences terrigènes qui conditionnent la dynamique de ce système. Les valeurs varient de 0,037 mg/l enregistrées dans la station S8 à 0,172mg/l enregistrées dans la station S9. Les teneurs les plus importantes s'observent principalement au niveau des stations situées dans la commune de Boumahra soumises directement aux influences des rejets de la zone industrielle. Dans les stations de la partie amonts, on note une certaine stabilité sous l'effet de la dilution des eaux par les apports saisonniers. En tous les cas les teneurs en fer sont proches des valeurs guides admises par la communauté européenne (fixées à 0.2 ppm soit 0.19 mg/l). Khadri, (2009) signale une valeur de 0.042 mg/l dans les eaux de la Seybouse à Annaba (Debièche, 2002) a pu enregistrer toujours dans la même région de très fortes teneurs en fer allant jusqu'à 0.6 mg/l. Pour Mouassa, (2006), la valeur la plus importante qui a été relevée pour ce métal à oued Maiz était de l'ordre de 0.257 mg/l.

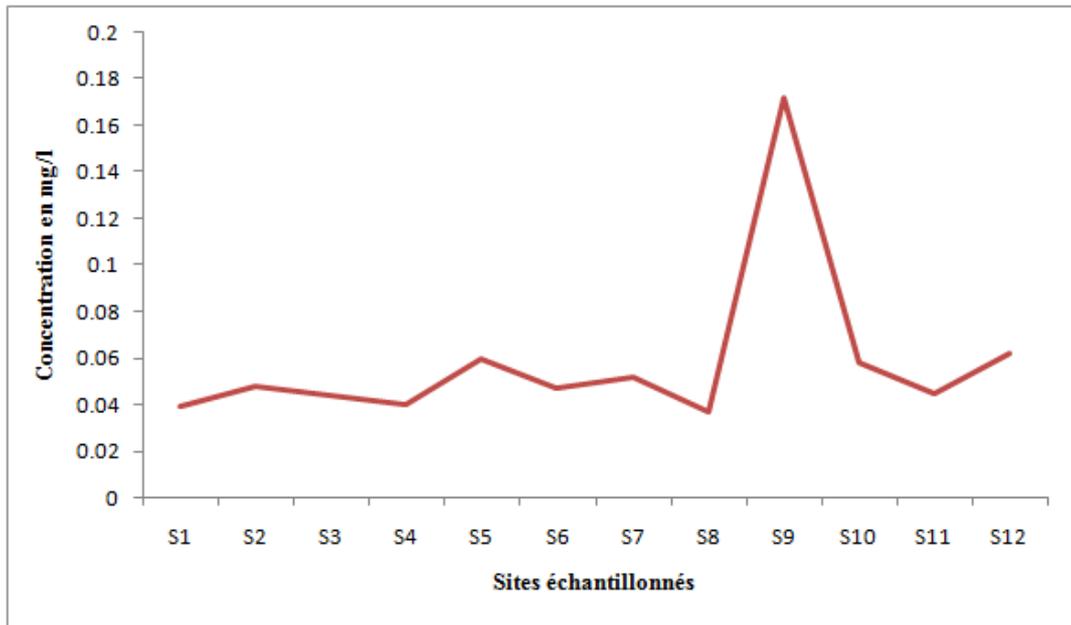


Figure 52 : Variation spatiale du Fer dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013.

❖ Le cuivre

Le cuivre est un métal aux usages multiples dans de nombreux domaines : les transports, la fabrication des monnaies, le transport de l'électricité, le bâtiment (toitures, décoration..) et l'agriculture (fongicide, algicide). Si le cuivre est, à très faible dose, un oligo-élément indispensable à la vie, à des doses plus élevées il présente une action toxique très importante sur les algues et mousses. Comme c'est un produit non biodégradable, il peut s'accumuler et finir par atteindre des taux toxiques. Son origine dans les eaux est très diverse, outre les teneurs naturelles provenant principalement des roches et des retombées atmosphériques, son usage par l'homme provoque des rejets dans l'environnement. Ces rejets peuvent être ponctuels (rejets d'usine....) ou diffus suite au lessivage par les pluies des sols, routes et toitures.

Les teneurs en cuivre (Figure 53), dans les points de prélèvement sont faibles et inférieures à la norme fixée à 1 mg/l pour les eaux de surface. La plus grande teneur, est observée à la station d'Oued Sekhoun (0,196 mg/l). A l'Oued Bradaa, on a enregistré une teneur de 0,185 mg/l. Notons que la station de Oued Charef en tant qu'affluent principal de la Seybouse ne semble pas être assez affectée par les apports de cet oued en cuivre puisqu'on a enregistré une teneur de 0,15 mg/l, inférieure à celle de l'Oued Bouhamdane.

Khadri, (2009) rapporte de faibles teneurs en cuivre dans les eaux de la Seybouse aval dont la plus importante, au niveau des différents points de prélèvement, était de l'ordre de 0.17 mg/l. Pour Mouassa, (2009) la plus grande valeur était enregistrée à oued Sekhoun 0.015 mg/l.

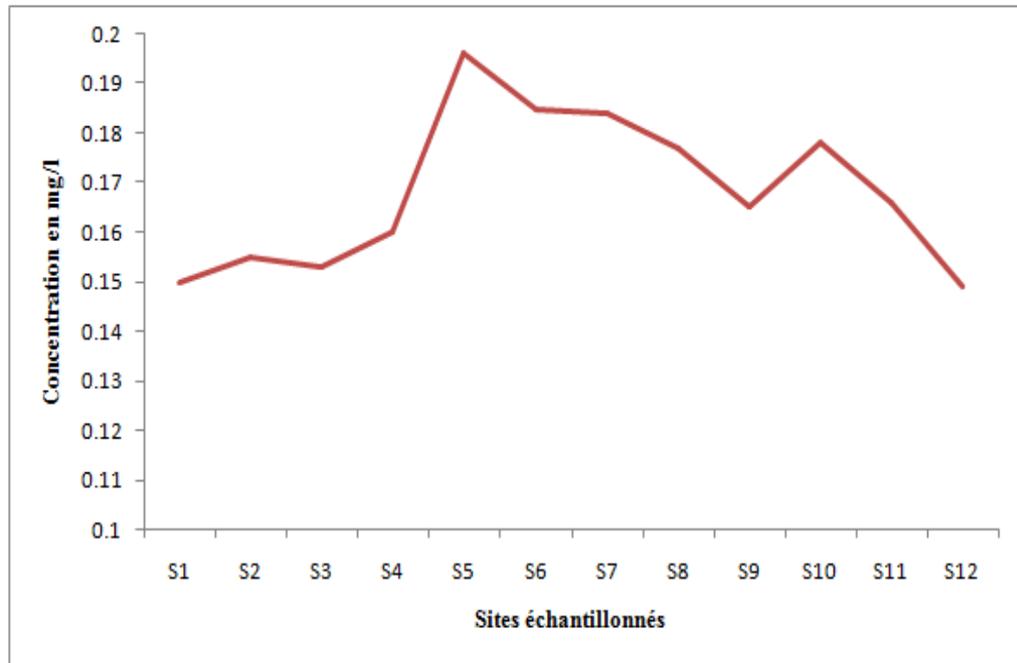


Figure 53: Variation spatiale du Cuivre dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013.

❖ L'aluminium

L'aluminium se forme au cours de l'érosion des feldspaths, tels que l'orthose, l'anorthite, l'albite, le mica et la bauxite, et se retrouve ensuite dans les minéraux argileux. Un certain nombre de pierres précieuses contiennent de l'aluminium, comme par exemple les rubis et les saphirs. L'eau des rivières contient généralement à peu près 400 ppb d'aluminium. La forme la plus courante de l'aluminium est $Al^{3+}(aq)$ dans des conditions acides, et $Al(OH)_4^-(aq)$ sous des conditions neutres alcalines. D'autres formes incluent également $AlOH_2^+(aq)$ en $Al(OH)_3(aq)$. L'aluminium peut affecter de manière négative la vie terrestre et aquatique.

Les valeurs enregistrées pour ce métal montrent deux pics remarquables, l'un caractérise la station S9 à Oued Seybouse dans la commune de Boumahrades avec une valeur de 0.027 mg/l qui cumule les rejets des deux oueds: oued Zimba et oued Boussora issus essentiellement de la zone industrielle et du complexe du polissage du marbre, le deuxième pic s'observe au niveau de la station S11 à en aval de l'oued Heliaou la valeur atteint 0.022 mg/l, les apports naturels semblent être à l'origine de la hausse du taux d'aluminium dans les eaux de cet oued. Pour le reste des stations, les valeurs, qui s'échelonnent entre 0.012 mg/l et 0.018 mg/l, sont compris en dessous de la norme recommandée par l'OMS pour les eaux de surface.

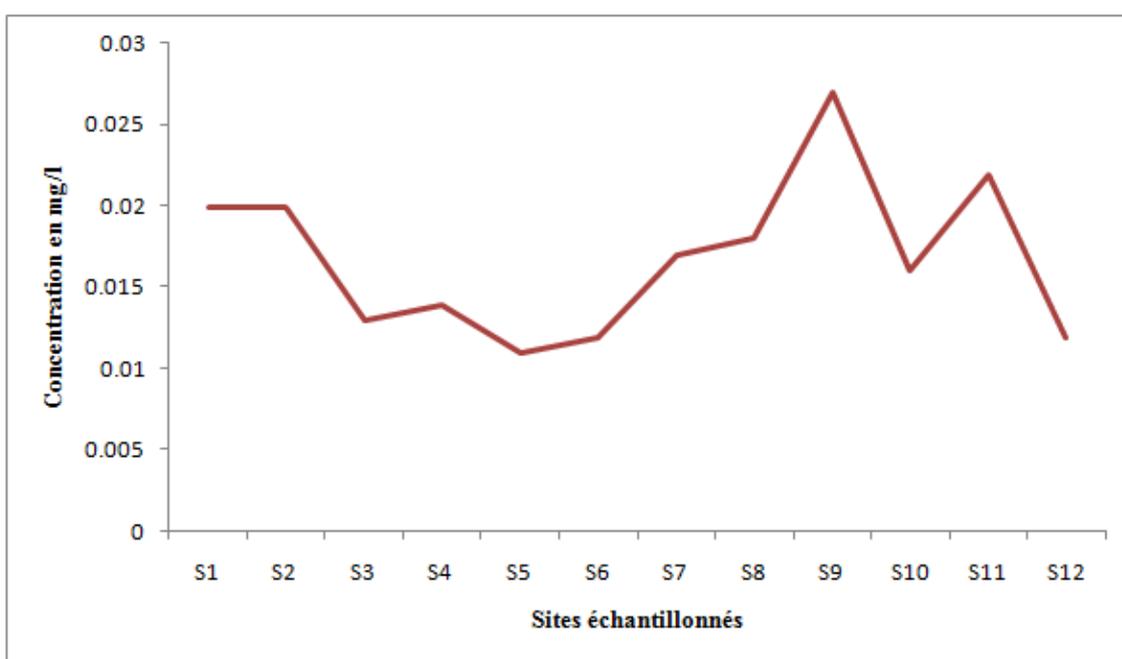


Figure 54: Variation spatiale d'aluminium dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013.

❖ L'arsenic

L'arsenic est un métalloïde, qui possède une forte affinité pour le soufre. Dans la partie superficielle de l'écorce terrestre sa concentration moyenne est évaluée à 2 mg/kg mais localement le fond géochimique peut atteindre des valeurs beaucoup plus élevées (200 mg/kg) dans des dépôts calcaires, phosphatés ou dans des schistes). Dans le sol, l'arsenic existe sous deux formes principales: Les arsénites, forme trivalente la plus toxique (As (III): Selon McLean et Bledsoe, (1992), les arsénites sont considérés comme étant 4 à 10 fois plus solubles que les arséniates.

L'adsorption des arsénites dépend également du pH. Griffin et Shimp (1978), ont observé une augmentation de l'adsorption des arsénites par la kaolinite et la montmorillonite pour des pH variant de 3 à 9. Pierce et Moore (1980), ont mis en évidence l'adsorption des arsénites par les oxydes de fer pour un pH neutre. Elkhatab et al., (1984), ont noté que l'adsorption des arsénites était rapide et irréversible sur différents types de sols, de plus, ils ont déterminé que les oxydes de fer, le potentiel redox et le pH étaient les paramètres les plus influents dans l'adsorption des arsénites. La formation des arsénites peut aussi conduire à la volatilisation de l'arsine (AsH_3) et de méthylarsines (Woolson, 1977). Dans des conditions où la teneur en matière organique et les températures sont élevées, l'humidité adéquate, la séquence de réaction est dirigée vers la méthylation et la volatilisation (Woolson, 1977). En milieu réducteur, les oxydes de manganèse (III/IV) peuvent oxyder les arsénites en arséniates, l'As(III) sous forme HAsO_2 réagit avec MnO_2 pour produire As(V) sous forme H_3AsO_4 (Oscarson et al., 1983). Les arséniates sont sous forme pentavalent As(V). Griffin et Shimp, (1978), ont montré lors d'une étude de l'adsorption des arséniates par la kaolinite et la montmorillonite, que l'adsorption maximale de l'As(V) se produisait à pH égale à 5. L'adsorption des arséniates par les oxydes d'aluminium et de fer est maximale à un pH compris entre 3 et 4. Cette adsorption diminue progressivement lorsque le pH augmente. Le mécanisme d'adsorption a été décrit comme une complexation de sphère interne (adsorption spécifique), mécanisme contrôlant également l'adsorption des phosphates par les oxydes (Anderson et Malotky, 1979). Plus de 200 minéraux contenant de l'arsenic ont été identifiés. Le minéral le plus commun contenant de l'arsenic est l'arsénopyrite (FeAsS). Les principaux minéraux exploités pour extraire de l'arsenic ont été, outre l'arsénopyrite, l'orpiment (As_2S_3), le réalgar (AsS) et l'énargite (Cu_3AsS_4).

Les teneurs du As relevées dans les eaux de surface des différents sites montrent une valeur maximale qu'est de l'ordre de 0.108 mg/l/ dans la (S2), au-delà de la norme recommandée pour l'irrigation (0.1 mg/l). Alors que dans la (S7), la teneur ne dépasse pas 0.07 mg/l (figure 55). les teneurs les plus élevées du As sont obtenues dans l'oued Bouhamdane. ouedSekhoune et oued Maiz. Ceci coïncide probablement avec l'utilisation abusive de produits phytosanitaires pour les cultures maraichères particulièrement dans la région de Hammam Debagh et à l'importance des rejets contenant des produits pharmaceutiques, des usines de la fabrication de peintures et colorants, céramiques, épilage des peaux en tannerie et mégisserie, les effluents domestiques, les eaux de ruissellement en milieu urbain, textiles...etc.

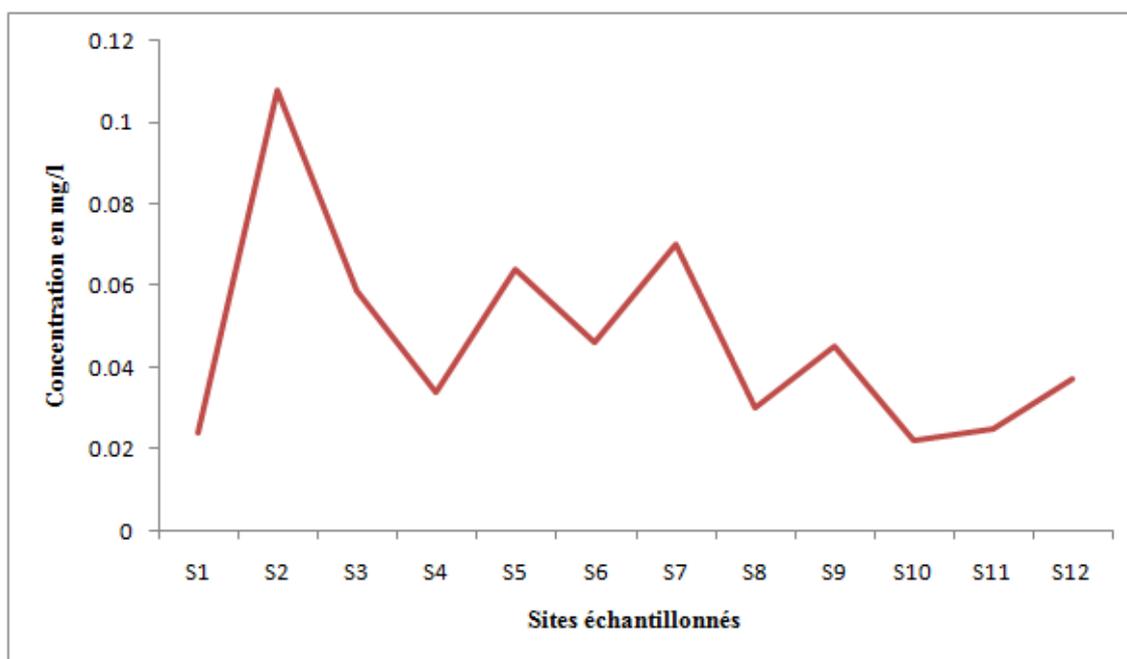


Figure 55: Variation spatiale d'arsenic dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013.

❖ Le chrome (Cr)

Il y a plusieurs types de chrome qui n'ont pas tous les mêmes effets sur les organismes. Le chrome pénètre dans l'air, l'eau et le sol sous les formes chrome III et chrome VI lors des processus naturels et du fait de l'activité humaine. Les principales activités humaines qui augmentent la concentration en chrome III sont la fabrication de l'acier, du cuir et de textiles. Les principales activités humaines qui augmentent les concentrations en chrome VI sont les fabriques des produits chimiques, de cuir et de textile, l'électro-peinture et autres applications de chrome VI dans l'industrie. Ces applications augmentent principalement la concentration en chrome dans l'eau. Lors de la combustion du charbon, le chrome peut aussi se retrouver dans l'air et lors de l'évacuation des eaux, le chrome peut se retrouver dans le sol. La plupart du chrome de l'air se dépose finalement et finit dans l'eau ou dans le sol ou il se lie fortement aux particules du sol et par conséquent ne se déplace pas jusqu'aux eaux souterraines. Dans l'eau, le chrome est adsorbé sur les sédiments et devient immobile, seule une petite partie du chrome qui se retrouve dans l'eau finit par se dissoudre. Le chrome III est élément essentiel pour les organismes qui peut interrompre le métabolisme du sucre et provoque des problèmes au cœur lorsque la dose quotidienne est trop faible. Le chrome VI est principalement toxique pour les organismes. Il peut altérer le matériel génétique et provoquer des cancers.

Les cultures possèdent un système contrôlant la consommation de chrome. Mais lorsque la quantité de chrome dans le sol augmente, cela peut mener à des concentrations plus élevées dans les cultures. L'acidification des sols influence aussi la concentration de chrome par les cultures. En général les plantes absorbent uniquement le chrome III. C'est peut être le type essentiel de chrome mais lorsque les concentrations dépassent une certaine valeur, des conséquences négatives peuvent toujours se produire. Le chrome n'est pas connu pour s'accumuler dans le corps des poissons, mais des concentrations élevées en chromes, du fait des rejets de produits en métal dans les eaux de surface peuvent endommager les ouïes des poissons nageant dans des eaux proches du point de rejets. Chez les animaux le chrome peut provoquer des problèmes respiratoires, une capacité plus faible à lutter contre les maladies.

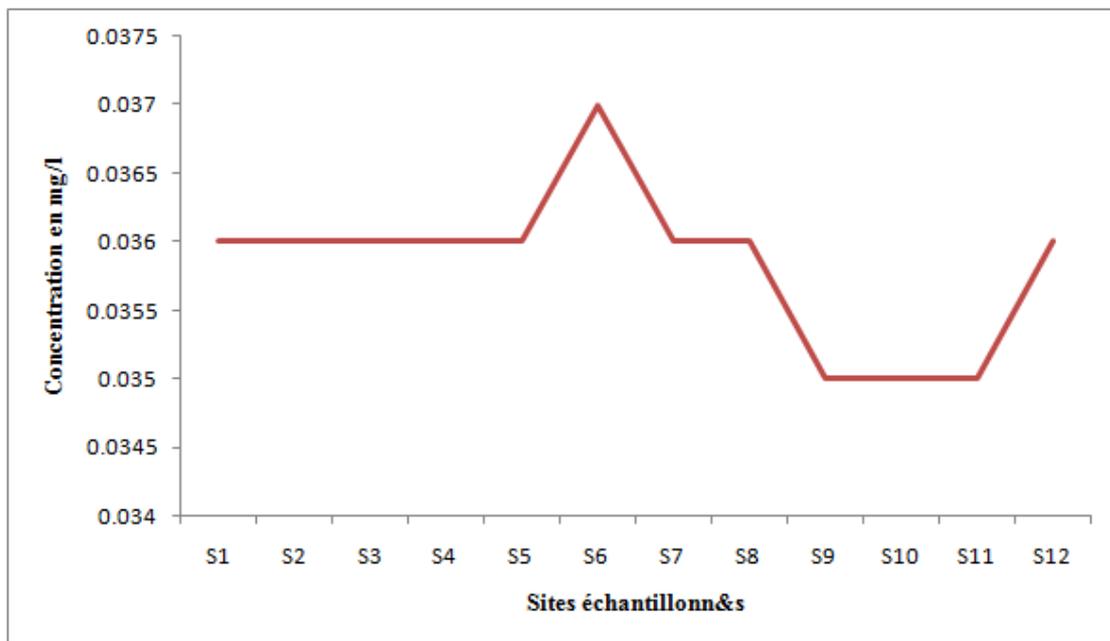


Figure 56: Variation spatiale du Chrome dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013.

On constate à travers le graphique ci-dessus (figure 56) que les variations des teneurs en chrome dans toutes les stations ne dépassant pas les normes admises par la communauté européenne (fixée à 0.05 ppm) soit l'équivalent de 0.049 mg/l. Des teneurs considérées comme naturelles sont observées dans les eaux de surface de la basse Seybouse par Debièche, (2002). Mouassa, (2006) de sa part a enregistré une valeur maximale à oued Maiz égale à 0.025 mg/l.

Cependant ces variations font apparaître un pic d'une valeur de 0.037 mg/l correspondant à la station S6 échantillonnée à oued Braddaqui est fort probablement due au rejets de cet effluent chargés essentiellement de peintures utilisée dans la fabrication de la faïence ; additifs pour l'essence ; eaux de ruissellement des voies de circulation ; industries pharmaceutiques et sidérurgiques ; ateliers photographiques ; télévisions.

❖ Le manganèse (Mn)

Le manganèse contrairement au fer s'oxyde beaucoup moins rapidement. C'est un métal largement répandu à la surface de la croûte terrestre. Les concentrations en manganèse dans les sédiments de la croûte continentale oscillent entre 390 et 1100ppm, (Goldberg et Arrhenius, 1958; Turekian et Wedpohl, 1961 in Naoura J 2011).

Le manganèse peut exister sous forme soluble, ou sous forme d'oxydes, hydroxydes et de complexes organiques ou inorganiques de faible solubilité dans la plupart des eaux de la surface ou de subsurface. Les nitrates, les sulfates et les chlorures de manganèse sont très solubles (Meneely et al., 1980 in Naoura, 2011). Le manganèse peut être d'origine agricole puisqu'il entre dans la composition de certains produits phytosanitaires comme il peut avoir comme origine les déchets industriels comme les piles et les colorants (Weast, 1971).

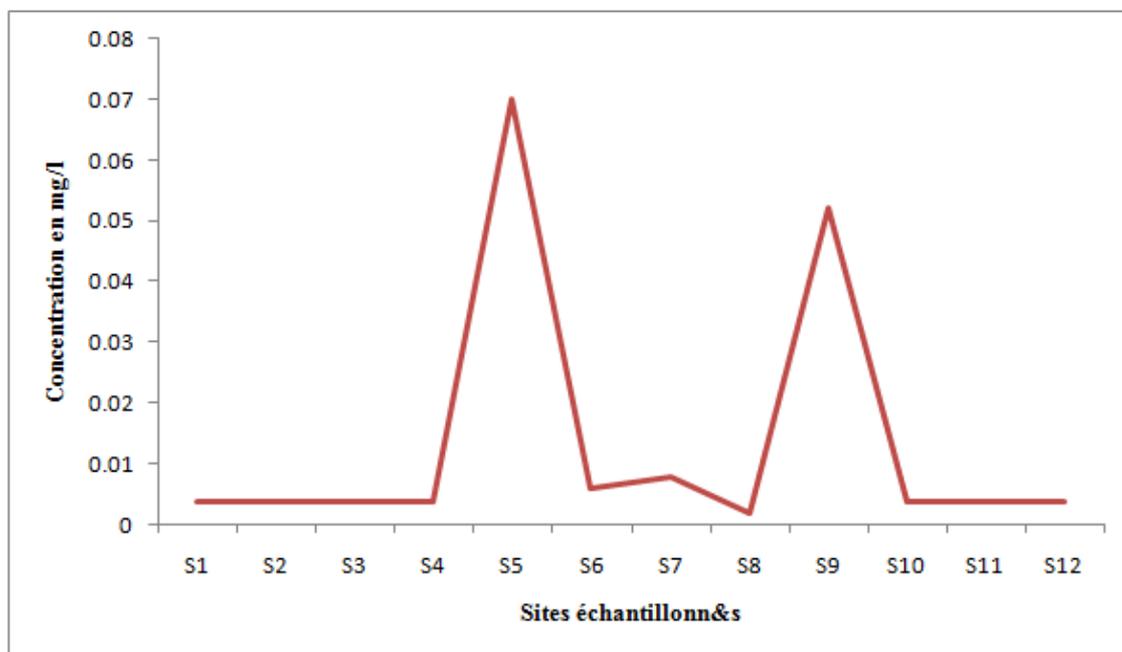


Figure 57 : Variation spatiale du Manganèse dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013.

Les résultats de l'analyse des teneurs en manganèse des eaux de surface de la Seybouse amont et ses principaux affluents montrent que les valeurs les plus élevées sont relevées en S5 et S9; c'est, en revanche, en S8 que la teneur minimale est relevée. Bien que les concentrations de cet élément soient souvent faibles dans les eaux bien aérées (Mouchara, 2009), les teneurs en manganèse relevées dans la présente étude pour oued Sekhoune et oued Seybouse coté Boumahra sont nettement élevées que celles admises par la CE (Fixées à 0.05 ppm soit 0.049 mg/l) (Talbi, 2008). Donc l'origine probable, du manganèse dans ces deux sites, peut être expliquée par un apport de pollution accidentelle ou par les rejets de déchets industriels acides et les drainages de mines qui peuvent augmenter les problèmes liés au manganèse dans les eaux de surface. Le manganèse peut apparaître également dans l'eau à un potentiel Redox plus élevé. Nos valeurs sont comparées avec la teneur la plus élevée en Mn observée au niveau de l'oued Charef, et au point Sb5 en amont de l'oued Seybouse par Mouchara, (2009). Les teneurs étaient inférieures à la norme fixée à 0,1 mg/l pour les eaux de surface. Mouassa dans ses travaux en 2006 a pu montrer que Les teneurs en manganèse, au niveau de l'oued Skhoûn et de l'oued Maïz, au mois d'août, étaient plus élevées que celles dans les seuils d'irrigation, elles dépassent légèrement la norme fixée pour les eaux de surface, oued Skhoûn présente la plus grande teneur avec 0,159 mg/l, et oued Maïz présente une teneur de 0,118 mg/l, la teneur à oued Boussora était plus faible (0.09 mg/l).

❖ Le nickel (Ni)

Le nickel est un élément métallique très répandu dans la croûte terrestre. Cet élément peut également être émis par activité volcanique et être présent au sein de météorites et de nodules polymétalliques. Les composés principaux du nickel sont l'acétate de nickel, le chlorure de nickel, le nitrate de nickel, l'oxyde de nickel, le sulfate de nickel ou encore le sulfure de nickel. Les sources d'émission vers les eaux superficielles sont les rejets diffus agricoles, du fait de la présence naturelle de Nickel dans les sols, et aussi de la présence artificielle en provenance d'engrais phosphatés très employés dans les dispositifs électroniques et comme revêtement protecteur et ornemental pour les autres métaux, ce métal fini forcément dans la nature et l'industrie semble être une source non négligeable (Gueddah, 2003).

Le nickel ne forme généralement pas de précipités insolubles dans les sols et la rétention de Ni est donc contrôlée par les mécanismes de précipitation de phases solides secondaires et d'adsorption. Le nickel s'adsorbe sur les argiles, les oxydes de fer et de manganèse ainsi que sur la matière organique. La formation de complexes de Ni avec des ligands organiques et inorganiques augmente la mobilité du nickel dans les sols.

La Norme de qualité environnementale provisoire de l'Etat du Canada par exemple (NQE) du Nickel est de 20 $\mu\text{g/l}$ soit 0.02 mg/l en eaux douces de surface et en eaux côtières et de transition. L'OMS dans ses directives de qualité pour l'eau de boisson (2004) indique une valeur seuil de 0,02 mg/l de nickel (Naoura ,2011).

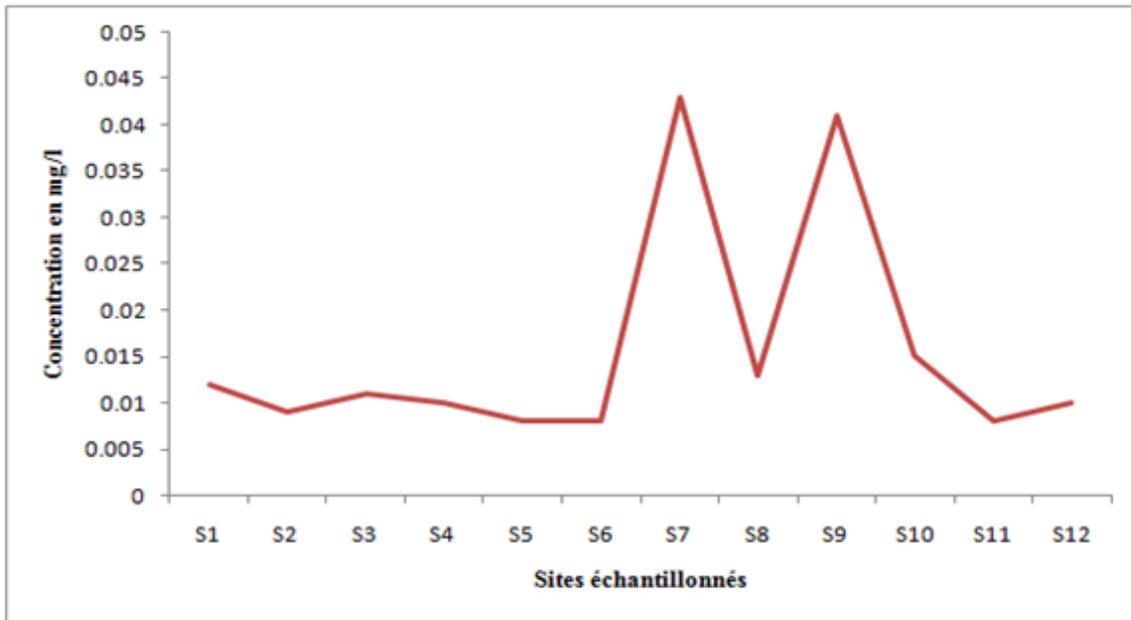


Figure 58: Variation spatiale du Nickel dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013.

Les concentrations observées au niveau de la région d'étude sont présentées dans la figure 58. Les teneurs les plus élevées sont observées au niveau de l'oued Maiz (S7) et l'oued Seybouse en aval de la commune de Boumahra (S9) et qui sont de l'ordre respectivement de 0.043 mg/l et 0.041 mg/l. Ces valeurs dépassent la norme indiquée par l'OMS pour les eaux soit 0.02 mg/l. Ces deux valeurs assez significatives auraient une origine anthropique en particulier l'utilisation d'engrais et les produit cosmétiques. Pour le reste des stations, les teneurs fluctuent entre 0.008 mg/l et 0.013 mg/l, se situent en dessous de la norme OMS ce qui rend cet élément indispensable et bénéfique pour les plantes.

❖ Le zinc (Zn)

Le Zinc entre naturellement dans l'atmosphère à partir du transport par le vent de particules du sol, des éruptions volcaniques, des feux de forêts et d'émission d'aérosols marins. Les apports anthropiques de Zinc dans l'environnement résultent des sources minières industrielles (traitement minéral, raffinages, galvanisation du Fer, gouttières de toitures, piles électriques, pigments, matières plastiques, caoutchouc), des épandages agricoles (alimentation animale, lisiers) et des activités urbaines (trafic routier, incinération ordures). Dans les zones portuaires, le Zinc est introduit à partir de la dissolution des anodes destinées à la protection des coques de bateaux contre la corrosion, et est contenu dans certaines peintures antisalissure (CASAS, Stello, 2005 in Bendada, 2011).

Le Zinc est un oligo-élément nécessaire au métabolisme des êtres vivants, essentiel pour de nombreux metallo enzymes et les facteurs de transcription qui sont impliqués dans divers processus cellulaires tels que l'expression des gènes, transduction du signal, la transcription et la réplication. Le Zinc est l'un des métaux les moins toxiques et les problèmes de carence sont plus fréquents et plus graves que ceux de toxicité. Les risques tératogènes, mutagènes et cancérogènes sont pratiquement nuls aux doses utilisées chez l'homme. Si les signes digestifs aigus n'apparaissent qu'à dose élevée, une anémie sévère par interaction avec le Cuivre peut survenir avec des doses peu supérieures aux apports recommandés. En outre, des problèmes non résolus persistent dans des domaines importants en santé publique: maladie d'Alzheimer, patients diabétiques ou séropositifs (GUNNAR et al., 2007; PICHARD, 2005 in Bendada, 2011).

Les teneurs en zinc relevées dans les eaux de surface des oueds dans notre zone d'étude ne dépassent pas 0.052 mg/l, et sont de ce fait, inférieures aux valeurs admises (fixées à 5 mg/l) par la CE; toutefois de légère augmentation est observée en S12 à l'oued Seybouse à Nador. Cette présence de zinc dans cette station située en aval de toutes les activités vient appuyer l'hypothèse de l'origine anthropique de la pollution par le zinc. Les teneurs en zinc relevées dans les eaux de la Seybouse et oued Maiz varient selon Mouchara, (2009) entre 0.03 et 0.6 mg/l.

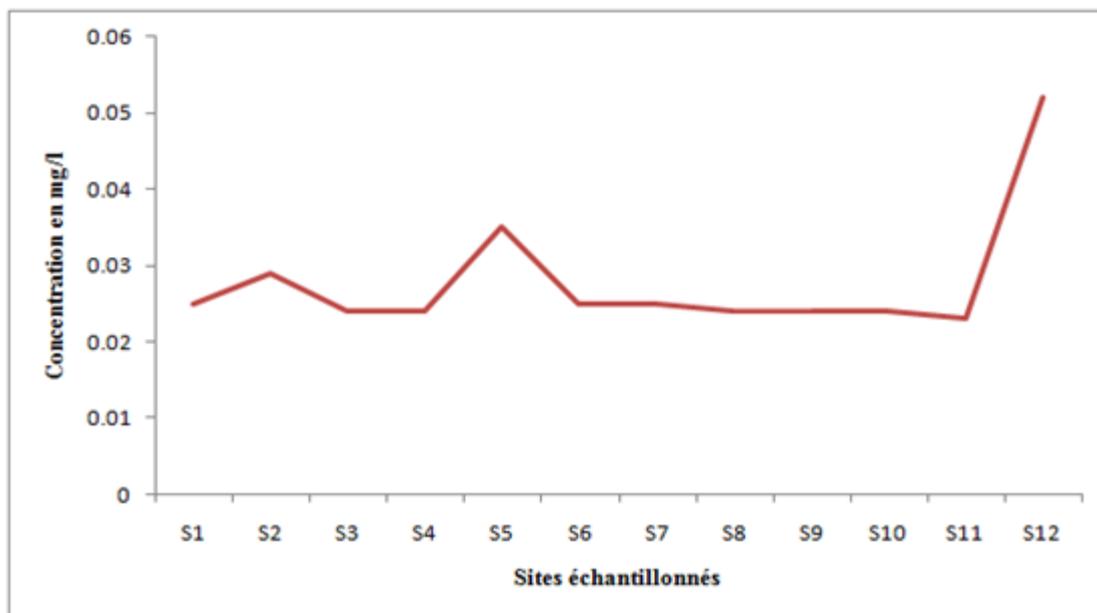


Figure 59 : Variation spatiale du Zinc dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013.

❖ Le plomb (Pb)

Le plomb est un constituant naturel, largement réparti dans la croûte terrestre à des teneurs de l'ordre de 13 mg/kg. Les sols acides sont généralement moins riches en plomb que les sols alcalins. Il peut être présent sous forme de carbonates (cérusite), de phosphates (pyrophosphite), mais surtout de sulfure (galène). Ce dernier sel, très peu soluble, peut cependant se transformer en hydroxyde ou en carbonate, après avoir été oxydé en sulfate. Il a été estimé qu'environ 160000 tonnes de plomb sont ainsi libérées annuellement dans le monde; seulement 1/6 de ce plomb est sous forme dissoute, le reste est associé aux matières en suspension. De ce fait, la majorité du plomb véhiculé par les eaux de surface se retrouve dans les sédiments. La nature des matières organiques édaphiques joue aussi un rôle important dans la concentration en plomb des sols. Cependant, les végétaux absorbent peu le plomb tellurique et le métal ne se concentre pas au long de la chaîne alimentaire.

Le plomb constitue un agent de pollution atmosphérique, c'est ainsi que les pluies peuvent être des vecteurs d'enrichissement des eaux de surface en plomb, en France les concentrations des eaux de pluie détectées sont de l'ordre de 40 µg/l (Cabridenc et al., 1994 in Naoura, 2011).

Certaines études ont montrés que les engrais phosphatés peuvent contenir 3.5 mg/Kg de Pb (Mermut et al., 1996 in Naoura, 2011), pour d'autres ces engrais peuvent contenir 7à 92 mg/Kg de Pb (Cabridenc et al., 1994in Naoura, 2011). Les ordures ménagères peuvent induire des concentrations en Pb allant jusqu'au 450 mg/Kg (Berrow et Webber, 1972 ; Berggren et Oden, 1974 in Naoura, 2011). Les concentrations élevés du Pb s'explique aussi par les sources de pollution : canalisations d'eau ; bacs de batteries ; peintures ; additifs pour l'essence ; eaux de ruissellement des voies de circulation ; industries pharmaceutiques et sidérurgiques (Baize et Janiec ,1994 in Naoura, 2011). Le plomb soluble ajouté au sol réagit avec des argiles, phosphates, sulfates, carbonates, hydroxydes et la matière organique, si bien que la concentration du plomb en phase aqueuse est fortement diminuée. Pour des pH supérieurs à 6, le plomb est soit adsorbé à la surface des argiles soit sous forme de carbonate de plomb.

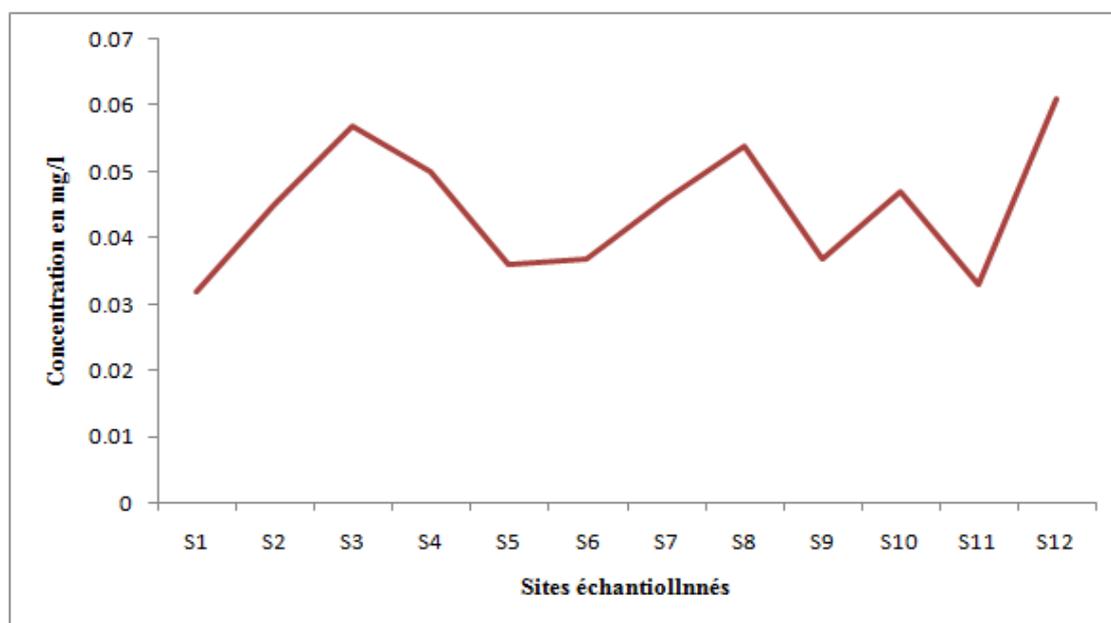


Figure 60 : Variation spatiale du Plomb dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013.

Les teneurs en plomb relevées dans les eaux de surface des stations S3, S8 et S12 sont nettement plus élevées que celles obtenues dans le reste des stations échantillonnées. Nous notons que les valeurs enregistrées en plomb dans les trois stations citées ci-avant dépassent les valeurs guides retenue par la CE (fixées à 0.05 ppm soit 0.05 mg/l). Pour le restes des stations les teneurs en plomb restent assez proche des valeurs guides retenues.

Dans les eaux de la basse Seybouse, Debieche (2002) trouve des quantités en plomb inférieures aux normes qui sont entre 0,01 et 0,04mg/l. Egalement, la plus grande valeur enregistrée par Mouassa (2006) était de l'ordre de 0.075 mg/l dans les eaux de surface de l'oued Seybouse dans la région de Guelma. Le plomb aurait une origine essentiellement anthropique car il est largement utilisé dans l'industrie, les peintures et les carburants automobiles. L'usage de plomb dans l'essence comme antidétonant est à l'origine de l'accroissement des apports anthropiques en plomb dont la voie atmosphérique représente la source principale de contamination.

❖ Le cadmium (Cd)

Le cadmium est un métal d'un blanc argenté, brillant mais qui se ternit; il est malléable et ductile. Il ressemble beaucoup au zinc et le remplace, isomorphiquement dans presque tous ses minerais. Il est réparti uniformément dans la croûte terrestre, où sa concentration moyenne serait de 0,15 à 0,2 mg/kg. La proportion de cadmium par rapport au zinc peut varier considérablement dans la plupart des minéraux et des sols, Dans la nature, on le trouve sous forme de divers composés minéraux et de complexes des chélateurs naturels. Les principaux composés du cadmium sont l'oxyde de cadmium, le chlorure de cadmium et le sulfure de cadmium (Brignon et Malherbe, 2005).

Les émissions de cadmium dans l'environnement proviennent ainsi soit de sources ponctuelles (ex : accidents industriels), soit de sources diffuses (ex : engrais phosphatés). Les activités industrielles telles que le raffinage des métaux non ferreux, la combustion du charbon et des produits pétroliers, les incinérateurs d'ordures ménagères et la métallurgie de l'acier constituent les principales sources de rejet du Cadmium dans l'atmosphère. Dans l'eau, le Cadmium provient de l'érosion naturelle, du lessivage des sols (engrais phosphatés) ainsi que des décharges industrielles et du traitement des effluents industriels et des mines.

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

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

Dans les écosystèmes aquatiques, le cadmium peut être accumulé en quantité très importante par certains mollusque bivalves (moules, huîtres) qui doivent filtrer l'eau pour collecter leur nourriture (International Cadmium Association's website, 2009). En 1967, selon la Commission européenne, le cadmium est une « substance classée comme dangereuse par la directive 67/548 /CEE1 ou par ses modifications ultérieures ». Ce texte classe le cadmium comme un métal lourd, tout comme le chrome, l'antimoine, l'arsenic, le cuivre, le plomb, le mercure, le nickel, le sélénium, le tellure, le thallium et l'étain et qui n'ont pas de caractère indispensable pour le bon fonctionnement d'un organisme. En 1998, la directive « Eau potable » 98/60/CE. , considère le cadmium comme un élément trace toxique, tout comme l'arsenic, le chrome, le mercure, le nickel, le plomb, l'antimoine et le sélénium (Blum et al., 2002).

L'absorption du cadmium par l'homme se fait essentiellement par la nourriture. Cet élément est bioaccumulable dans l'organisme et est un des rares éléments chimiques à être dénué d'utilité biologique. Il présente également une très forte toxicité sous ses formes sulfures et oxyde de cadmium (Levet, 2008 in DAMY Pierre-Clément, 2011). Cet élément se concentre principalement dans le foie, le cortex des reins, le pancréas et la thyroïde avec un temps de demi vie de vingt ans (Zielonka et al., 2009 in DAMY Pierre-Clément, 2011).

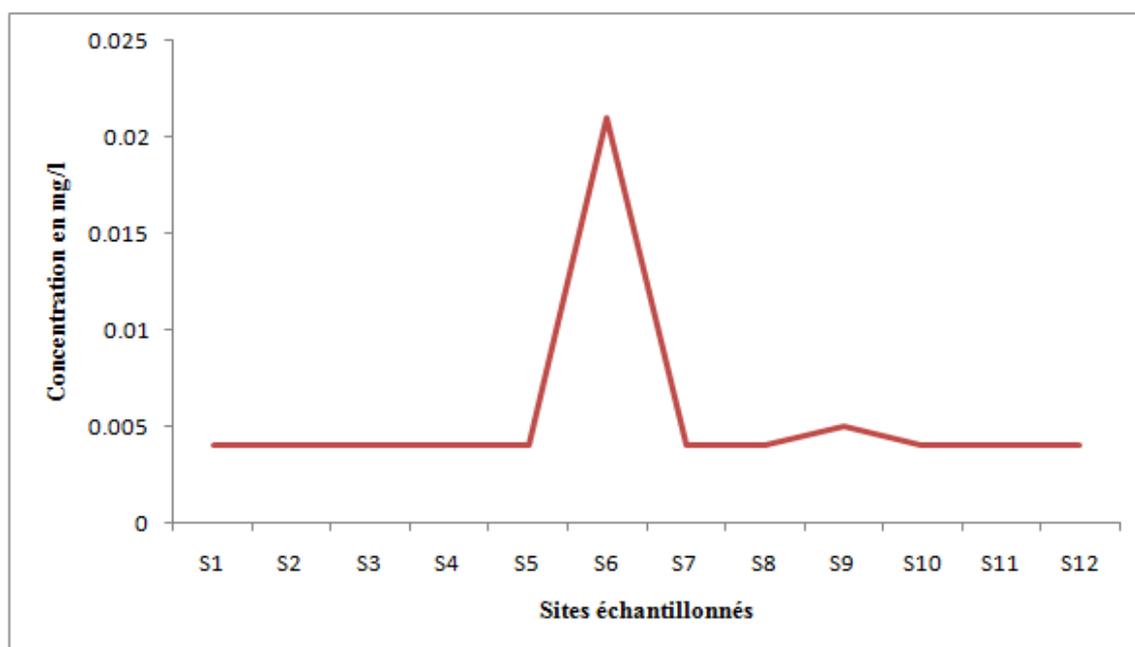


Figure 61 : Variation spatiale du Cadmium dans les sites échantillonnés au cours de la campagne de 2013.

Dans les de surface de l'oued Seybouse, dans sa partie amont, les teneurs en cadmium relevées sont sensiblement proches de la norme requise par la communauté européenne (fixée à 0.005 mg/l), à l'exception de l'oued Bradaa où la valeur enregistrée est supérieure à la valeur guide et atteint 0.021 mg/lce qui traduit une contamination métallique.

Le cadmium a été détecté au niveau de tous les sites échantillonnés contrairement aux études faites par Mouassa (2006) où ce métal était présent uniquement dans la station de l'oued Sekhoune avec une teneur de 0.009 mg/l. Debièche, (2002) de sa part n'est pas arrivé à confirmer la présence du cadmium dans les eaux de surface de la basse Seybouse du fait que les analyses chimiques rapportées sur tous les points d'eau montrent entre temps des valeurs inférieures à la concentration minimale de détection de l'appareillage (< 0,025 mg.l-1). A la lumière des résultats obtenus, on peut établir les ordres d'enrichissements des stations pour chaque métal et on obtient le résultat présenté dans le Tableau34.

Tableau 34: Ordre d'enrichissement des stations d'étude pour chaque métal dans l'eau.

Eléments métalliques	Ordres d'enrichissement
Al	S9> S11>(S2=S1)>S8>S7> S10> S4>S3>(S12=S6)> S5
As	S2> S7>S5>S3>S6>S9> S12> S4>S8>S11>S1> S10
Cd	S6> S9>(S1=S2=S3=S4= S5= S7=S8=S10=S ¹ 1= S12)
Cr	S6>(S12=S8=S7=S5=S4= S3= S2=S1)>S11>S10> S9
Cu	S5> S6>S7>S10>S8>S11> S9> S4>S2>S3>S1> S12
Fe	S9> S12>S5>S10>S7>S2> S6> S11>S3>S4>S1> S8
Mn	S5> S9>S7>S6>S8>(S12= S11=S10=S4=S3=S2= S1)
Ni	S7> S9>S10>S8>S1>S3>(S12= S4)>S2>(S6=S11= S5)
Pb	S12> S3>S8>S4>S10>S7> S2>(S9=S6)>S5>S11> S1
Zn	S12> S5>S2>(S7=S6=S1)>(S10= S9=S8=S4=S3)> S11

A partir du classement donné dans le tableau ci-dessus, il en résulte que les stations les plus contaminées par la pollution métallique sont la S5 et la S6 correspondant à deux effluents de rejets domestique et industriel respectivement oued Sekhoune et oued Bradaa situés à l'amont de la zone d'étude. Un peu plus loin à l'aval de la zone d'étude la S9 et la S12 implantées en plein lit de l'oued Seybouse qui sont respectivement Seybouse Boumahra et Seybouse Nadhor.

Ces deux stations reçoivent de grands cumuls de flux de pollution déchets agricoles et rejets domestiques de la ville de Guelma, Belkheir, Boumahra et Nadhor situés sur le même axe parallèle avec le lit de l'oued Seybouse.

V.6. Dosage des huiles et graisses totales dans l'eau de surface

V.6.1. Généralités

Les huiles et les graisses totales représentent la somme des huiles et des graisses animales, végétales et minérales. Les huiles et les graisses minérales proviennent de la distillation du pétrole et se divisent en deux catégories : les hydrocarbures aliphatiques et les hydrocarbures aromatiques. Une huile est constituée d'hydrocarbures contenant de 17 à 22 atomes de carbone, tandis qu'une graisse est constituée d'hydrocarbures contenant plus de 22 atomes de carbone.

Les huiles et les graisses d'origine végétale proviennent de la décomposition de la végétation (terrestre ou aquatique) qui libère des produits secondaires gras et huileux. Les huiles et les graisses d'origine animale proviennent de l'industrie alimentaire (domestique et industrielle), de l'industrie laitière (laiteries et fromageries) et des abattoirs.

Les hydrocarbures pétroliers sont des polluants aux propriétés physiques, chimiques et toxiques variées. Les principales sources d'émission dans l'environnement sont produites par l'industrie pétrolière et par les effluents d'industries utilisant des produits pétroliers à l'intérieur de leurs procédés industriels. De plus, un entreposage inadéquat de ces produits, un déversement accidentel ou un lessivage par les eaux de précipitation sont autant de causes susceptibles d'entraîner une contamination ponctuelle par les hydrocarbures pétroliers. L'hydrocarbure ou l'huile est l'un des polluants de l'eau les plus importants. Une petite quantité de l'huile peut produire le film vastement couvrant la surface de l'eau, lequel affecte le transfert de l'oxygène et par conséquent ruine l'écosystème aquatique.

V.6.2. Appareillage

Le dosage a été effectué par un analyseur à infrarouge portable modèle OCMA-310 HORIBA (figure 62) permettant la quantification de la teneur en huile dans l'eau douce et l'eau salée. Le Tétrachloréthane (CCl₄) est le solvant d'extraction requise pour les mesures d'échantillons avec cette instrumentation. La chambre d'extraction automatisée de l'instrument permet à l'utilisateur d'effectuer des analyses sans avoir à effectuer une étape de mélange et filtration pour séparer l'eau du solvant. L'OCMA-310 fournit des analyses rapides, très précis dans la plage de 0 à 200 ppm.



Figure 62: Analyseur de la teneur en huile HORIBA OCMA-310.

L'appareil dispose d'un système à deux vannes permet d'assurer que l'échantillon est mesuré correctement. L'injection de l'échantillon d'eau dans la chambre d'extraction se fait au moyen d'une seringue de 20 ml, puis appuyez sur le bouton bleu d'extraction qui commence le processus de mélange et de séparation, sachant qu'on peut confirmer visuellement ce processus à travers la fenêtre d'échantillon. On ouvre ensuite la vanne noire d'extraction supérieure et l'échantillon sera écoulé dans la cellule de mesure. Un filtre de séparation huile d'eau empêche l'eau de pénétrer dans la cellule. Alors qu'un Système de trop-plein décharge tout excès d'échantillon. La vanne inférieure (vanne de vidange) nous permet de vidanger l'échantillon après qu'il a été mesuré. L'ordinateur interne de l'appareil fonctionne automatiquement, une fois, la valeur mesurée est stabilisée il maintient cette valeur sur l'afficheur.

V.6.3. Mode opératoire

1. Allumer et laisser l'analyseur se réchauffer en moins de 30 minutes.
2. Prendre au moyen d'une seringue 10 ml d'eau de l'échantillon qu'on voudrait analyser.
3. Mélanger dans un bécher la quantité d'eau avec 2 ml de solvant CCl_4 .
4. Mettre le mélange sur un agitateur magnétique et laisser bien remuer pendant 5 minutes.
5. Au moyen d'une autre seringue injecter le contenu dans la chambre d'extraction.
6. Vérifiez que la vanne de vidange est fermée, puis ouvrez la vanne d'extraction.
L'échantillon s'écoule dans la cellule de mesure où il sera mesuré.
7. Appuyer sur le bouton d'extraction
8. Fermez la vanne d'extraction et ouvrez la vanne de vidange. L'échantillon mesuré précédemment s'écoule hors de l'unité.
9. Pour assurer une mesure correcte de votre échantillon d'huile, le temps d'extraction peut être réglé en incréments de 10 secondes à tout intervalle souhaité de 10 secondes à 10 minutes.

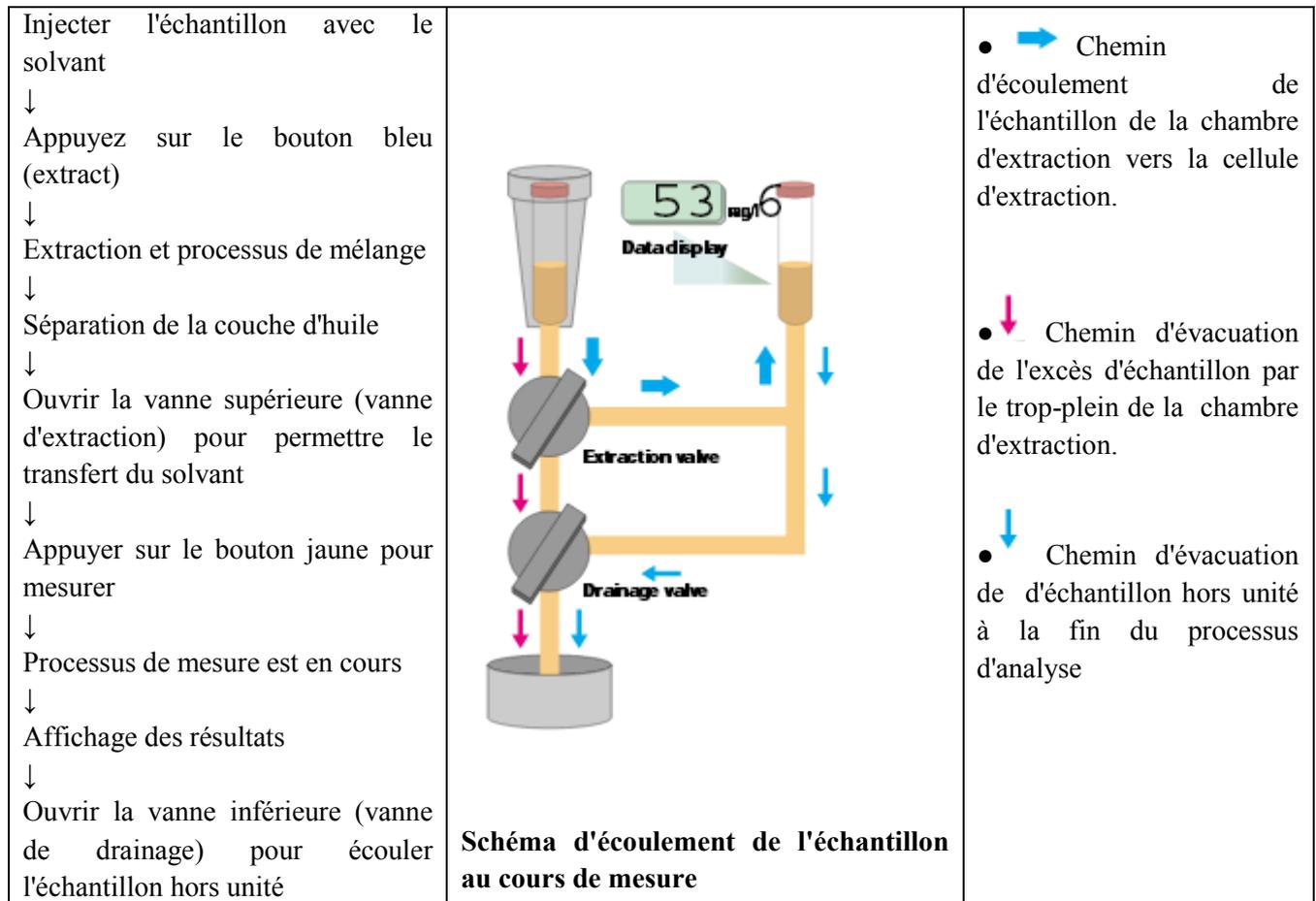


Figure 63: Schéma représentant le processus de mesure.

V.6.4. Résultats et discussion

Les résultats obtenus pour le dosage des huiles et graisses totales dans les eaux de surface de l'oued Seybouse et ses principaux affluent sont illustrés dans la figure 64. Pour la campagne de l'année 2013, Les teneurs en huiles fluctuent entre 0.4 mg/l à la station S12 (Seybouse à Nadhor) et 0.8 à la station S10 (oued Boussora). A l'exception de la valeur de la station S₆ (oued Bradaa) et celle de la station S9 (Seybouse à Boumahra), respectivement de l'ordre de 1 mg/l et 0.9 mg/l, l'ensemble des valeurs baissent en 2014 et se situent entre 0 mg/l pour la station S9 (oued Helia) et 0.5 mg/l (oued Boussora).

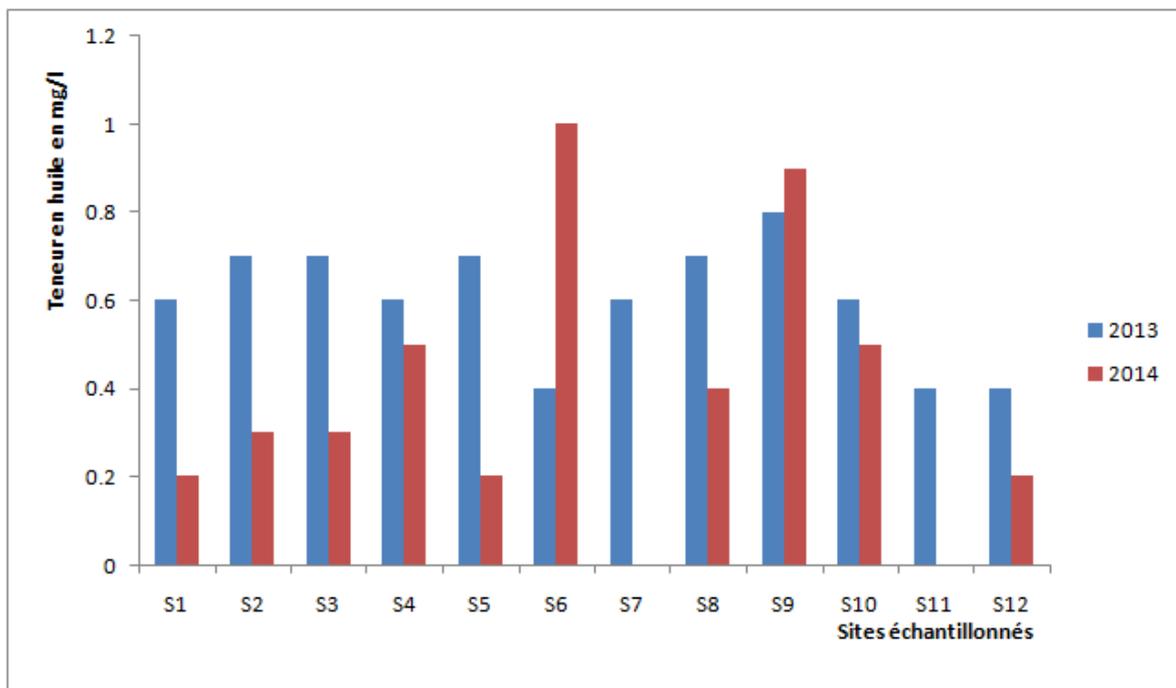


Figure 64: Evolution des teneurs en huiles et graisses dans les eaux de surface.

Les sources des huiles et graisses rencontrés sur le site oued Seybouse sont multiples : des rejets terrestres introduits par les affluents de l'oued, rejets domestiques introduits par les émissaires, l'industrie para-chimique et agroalimentaire, le raffinage d'olive, l'emploi des huiles dans les stations de carburant, de lavage et vidange. Néanmoins les teneurs mesurées dans les échantillons d'eau prélevées pour les deux campagnes restent inférieures aux valeurs limites fixées par la norme Algérienne (20 mg/l).

La réduction, remarquable, de la teneur en huiles et graisses dans les eaux de surface de l'oued Seybouse revient, en premier lieu, au rôle majeur joué par la STEP en matière de dégraissage et déshuilage des eaux usées collectées des deux effluents principaux de la ville de Guelma, oued Sekhoune et oued Maiz .

Les opérations dégraissage-déshuilage consistent à séparer de l'effluent brut, les huiles et les graisses par flottation. Ces derniers étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau. L'injection des micros bulle d'air permet d'accélérer la flottation des graisses. Souvent ces opérations sont combinées dans un même ouvrage où la réduction de vitesse dépose les sables et laisse flotter les graisses. On enlève ainsi de l'eau les éléments grossiers et les sables de dimension supérieure à 200 microns ainsi que 80 à 90 % des graisses et matières flottantes (ONA Guelma, 2014).

En outre, un autre facteur naturel, ayant probablement contribué à la dégradation des huiles et graisses dans les eaux de surface. Il s'agit de la décomposition spontanée de ces produits, non toxiques, dans le milieu naturel (l'eau) par les microorganismes (bactéries, algues et champignons) en réduisant les effets négatifs sur l'environnement.

Conclusion

Les connaissances sur l'origine et la disponibilité de différents types de polluants métalliques dans les eaux de surface ont été synthétisées dans ce chapitre. Ce travail concernant ce secteur géographique n'a pu être réalisé que de façon superficielle, et seule une énumération des possibles causes de pollutions diffuses susceptibles d'augmenter les teneurs en métaux lourds de ces eaux continentales a été effectuée. En effet, n'ayant pas pu multiplier les fréquences de ces mesures, il n'a pas été possible d'approfondir les recherches. Plusieurs points importants restent à développer afin de mieux comprendre ce phénomène et de pouvoir ainsi lutter contre cette pollution.

Une étude détaillée de l'évolution des pratiques agricoles, et plus particulièrement des engrais utilisés, dans le bassin versant de la Moyenne Seybouse semble nécessaire. Un suivi particulier des teneurs en éléments métalliques traces mesurées sur les piézomètres du bassin versant devraient également être réalisés. Ces deux études permettraient une comparaison avec l'évolution des teneurs en métaux lourds dans la Basse Seybouse où le tissu industriel est bien développé, pour ainsi savoir si les activités agricoles sur le secteur sont responsables du phénomène observé.

Il serait également important de s'intéresser plus précisément au devenir des eaux de ruissellement des principales agglomérations situées sur les deux rives de la Seybouse, à la présence des anciennes décharges sur le secteur ou encore aux activités industrielles pouvant être source de contamination.

Chapitre VI : Recherche et identification des pesticides

VI.1. Introduction

Les rives de la Seybouse sont essentiellement à vocation agricole. En effet, différents types de cultures céréalières (7000 ha) et maraichères (tomate industrielle avec cinq variétés sur une superficie de 150 ha et la pomme de terre de saison et arrière-saison dont la superficie est estimée à 160 ha), arbres fruitiers (500 ha) (DSA, 2014) sont pratiqués dans la région d'étude. Les agriculteurs utilisent d'une manière frauduleuse, abusive et sans contrôle divers produits phytosanitaires et engrais pour contrôler les attaques parasitaires et assurer des productions élevées ou du moins pour subsister pour la majorité. Cependant, ceci n'est pas sans conséquence pour l'environnement. L'usage de ces produits diffuse le long de l'oued et contribue à la détérioration de la qualité des eaux de surface en provoquant souvent un impact négatif sur l'écosystème aquatique. Les rejets de périmètres irrigués vont directement dans l'oued ou sont évacués à côté de ce dernier. Cette attitude ne permet pas de protéger les eaux de l'oued car le lessivage est important en périodes de pluie, le transport de particules du sol par le vent après leur assèchement paraît comme une autre source potentielle de contamination du milieu aquatique (Kane, 1985 in Derwich, 2008).

VI.2. Définition des pesticides

Les pesticides désignent tous les produits chimiques ou biologiques destinés à détruire des éléments vivants considérés comme nuisibles (microbes, animaux ou végétaux) ou destinés à s'opposer à leur développement, incluant les espèces non désirées de plantes ou d'animaux responsables de dommages durant ou interférant avec la production, le traitement, l'entreposage ou la commercialisation des aliments, des denrées agricoles, du bois, les vecteurs des maladies humaines ou animales et les organismes nuisibles des matériaux, locaux et habitat. Les pesticides désignent tout aussi bien la substance active, la spécialité commerciale ou préparation composée d'une ou plusieurs substances actives ainsi qu'un certain nombre d'adjuvants, solvants, ingrédients inertes, substances résiduelles et métabolites qui sont des molécules qui apparaissent au cours de la dégradation du produit.

L'article de la loi algérienne du journal officiel N° 87-17 du 1 Aout 1987 relatif à la protection phytosanitaire désigne par pesticides. " Toute substance ou mélange de substances destiné à repousser, détruire ou combattre les organismes nuisibles en vue de la protection ou de l'amélioration de la production végétale ". Le terme comprend les agents biologiques, les régulateurs de croissance, les correcteurs de carence, les défoliant, les agents de dessiccation,

les agents d'éclaircissage ainsi que les substances appliquées sur les cultures avant et après récolte, pour protéger les produits contre la détérioration durant l'entreposage et le transport.

Plusieurs autres termes et expressions définissent les pesticides. Ainsi produits phytosanitaires, produits antiparasitaires, à usage agricole, produits agi sanitaires, produits agro pharmaceutiques, produits phytopharmaceutiques sont les autres dénominations de ce terme.

VI.3. Classification des pesticides

Il existe deux façons pour classer les pesticides: selon leur utilisation ou par leur caractéristiques chimiques.

VI.3.1. Selon leur utilisation

Actuellement, les pesticides sont séparés en deux groupes, selon leurs utilisations:

VI.3.1.1. Les pesticides à usage agricole: ou produits phytopharmaceutiques qui sont des substances chimiques minérales ou organiques, de synthèse ou naturelles. Elles sont utilisées pour la protection des végétaux contre les maladies et contre les organismes nuisibles aux cultures.

On distingue:

- Les insecticides (contre les insectes nuisibles).
- Les fongicides (contre les champignons pathogènes).
- Les herbicides (contre les mauvaises herbes adventices des cultures).
- Les acaricides (contre les acariens).
- Les nématicides (toxique pour les verres du groupe nématode).
- Les rodenticides (contre les rongeurs).
- Les molluscides (contre les mollusques, limaces et escargots).

VI.3.1.2. Les pesticides à usage non agricole ou biocides: qui sont similaires aux premiers, utilisés par exemple en hygiène publique (lutte anti-vectorielle) et dans d'autres applications comme la conservation du bois, la désinfection, ou conservation du bois, la désinfection, ou certains usages domestiques.

VI.3.2. Selon leurs familles chimiques

VI.3.2.1. Les organochlorés

Les pesticides chlorés aussi connus sous le nom des " organochlorés " se répartissent en trois groupes de composés. Le premier groupe est le groupe de dichlorodiphényléthanes, dont le plus connu est le dichlorodiphényltrichloroéthane ou DDT, et ses produits de dégradation anaérobie DDD dichlorodiphényldichloroéthane et aérobie DDEdichlorodiphényldichloroéthylène. Le deuxième groupe est le groupe de des cyclodiènes, alors que le troisième regroupe autres composés qui ont des structures différentes (Aissaoui,2013).

La mobilité des pesticides organochlorés dans le sol est généralement limitée, même si elle est plus importante dans les sols sablonneux. Ces composés ont tendance à être confinés dans les sols argileux et leur lessivage est limité. Des résidus du composé d'origine ou des métabolites peuvent rester dans des échantillons de sol, de sédiments ou de végétaux et chez les vertébrés/invertébrés pendant longtemps. Leur solubilité dans l'eau est faible, bien que des résidus puissent être trouvés dans des eaux où la contamination est très élevée et, en particulier, dans des matières en suspension dans l'eau.

VI.3.2.2. Les organophosphorés

Cette famille a été développée à partir de 1944. Les organophosphorés sont des composés organiques du phosphore qui ont des propriétés insecticides. Ayant l'avantage d'être moins persistants et moins stables que les organochlorés et donc plus biodégradables. Ainsi les pesticides organophosphorés présentent des structures très diverses comportant des cycles aromatiques ou des chaînes ramifiées et des compositions chimiques variables avec présence d'atome S, N, O, Cl, Br. Ceci conduit à des propriétés chimiques et toxicologiques très différentes (Aissaoui,2013).

Les pesticides organophosphorés ont une rémanence assez limitée dans l'environnement et leurs résidus, chez les espèces vivantes, ne sont généralement pas détectés ou détectés uniquement sous forme de métabolites dans certains cas. Leur solubilité dans l'eau est variable, mais elle est plus élevée que celle des pesticides organochlorés; leurs résidus sont généralement rapidement dégradés dans l'eau (hydrolyse) et sont rarement détectés, sauf lorsque la contamination est relativement récente. Les résidus dans le sol ont, de même, une durée de vie courte. Les résidus sont présents pendant 5 à 15 jours après le traitement, sauf dans les zones ombragées ou dans les zones où les concentrations appliquées sont élevées.

VI.3.2.3. Les carbamates

La famille des carbamate regroupe les dérivé de l'acide carbamique, habituellement des esters avec la formule chimique suivante: $R-HN-(C=O)O-R'$. Les carbamates sont utilisés dans le monde entier pour combattre les insectes, les champignons, les mauvaises herbes et en tant que régulateur de croissance. Les carbamates présentent les mêmes caractéristiques que les organophosphorés, mais avec une toxicité moins importante.

Les résidus des composés d'origine ne sont généralement pas rémanents dans l'environnement; les métabolites sont rapidement excrétés par les vertébrés. Leur solubilité dans l'eau est modérée; elle est majeure pour les métabolites. La plupart des carbamates sont relativement stables dans une eau à pH neutre. Leur stabilité et leur mobilité dans le sol varient selon les composés. Les résidus sont présents pendant 10 à 20 jours après le traitement, même si dans certains sols et dans l'eau un suivi prolongé peut être nécessaire.

VI.3.2.4 Les triazines

Cette famille couvre un grand champ d'utilisation. La plupart sont utilisés comme herbicides sélectifs. Comme herbicides, les triazines peuvent être utilisés seuls ou combinés avec d'autres composés afin d'augmenter leur efficacité. Le caractère sélectif des triazines vient du fait que certaines plantes peuvent métaboliser ces composés tandis que d'autres ne le peuvent pas. Les triazines comptent parmi les plus anciens herbicides, les recherches sur ces composés ayant commencé dans les années 50.

La structure de la triazine est hétérocycle aromatique, analogue au cycle à six atome du benzène, mais avec trois atomes de carbone remplacés par des atomes d'azote. Les trois isomères correspondent donc aux emplacements respectifs des atomes de carbone et d'azote sur le cycle. On compte ainsi la 1,2,3-triazine, la 1,2,4-triazine, et la 1,3,5-triazine. Les autres hétérocycles aromatiques courant contenant de l'azote sont les azines (en particulier la pyridine) qui contiennent un atome d'azote, les diazines qui contiennent deux et les tétrazines qui en contiennent quatre.

VI.4. Devenir des pesticides dans l'environnement

Lors d'un épandage, une grande partie du produit n'atteint pas l'organisme cible. Par exemple, sur une surface inclinée, le ruissellement des eaux de pluies peut entraîner le pesticide loin de sa cible. Il y a alors gaspillage du produit chimique, diminution de l'effet et risque de pollution du sol et des eaux. De nombreux phénomènes influencent le devenir des pesticides dans l'environnement:

VI.4.1. Phénomènes de transfert

L'adsorption est un phénomène de surface par lequel les molécules se fixent aux particules du sol. La quantité de pesticide adsorbé varie selon le type de pesticide, la nature du sol, le pH du sol.... Les pesticides s'adsorbent facilement sur des sols riches en argile ou en matière organique. Les pesticides adsorbés sont moins susceptibles de se vaporiser ou de migrer dans le sol. Ils sont aussi plus difficilement captés par les plantes.

La volatilisation est la transformation des solides ou des liquides en gaz. Ce processus peut disperser une grande partie du produit épandu dans l'atmosphère. Ce mouvement est appelé dérive gazeuse.

La dérive gazeuse de certains herbicides peut endommager des cultures voisines. Un temps chaud ou venteux accélère le phénomène de volatilisation. La dérive à l'épandage est le déplacement aérien des gouttelettes de produit phytosanitaire vaporisées lors du traitement des cultures. Ce phénomène peut entraîner les pesticides sur de grandes distances. La dérive à l'épandage dépend de : la taille des gouttelettes (plus celles-ci sont petites, plus elles seront entraînées), la vitesse du vent, la distance entre la buse de vaporisation et la plante. La dérive peut contaminer de grandes zones autour des sites traités.

Le ruissellement est l'entraînement des pesticides par l'eau sur des surfaces inclinées. Les pesticides étant soit mélangés à l'eau soit adsorbés sur les particules du sol érodé. L'infiltration est l'entraînement des pesticides par l'eau dans le sol. L'infiltration peut se faire vers le bas, le haut ou horizontalement.

L'absorption est l'assimilation des pesticides par les plantes et les microorganismes. Une fois absorbé le composé peut être dégradé ou peut subsister dans l'organisme et être relâché dans l'environnement lorsque l'animal meurt ou que la plante se décompose. De plus, lors des récoltes les résidus de pesticides peuvent également être déplacés.

VI.4.2. Phénomènes de dégradation

Les pesticides sont dégradés par les microorganismes, par des réactions chimiques et par le rayonnement solaire. La dégradation peut prendre de quelques heures à plusieurs années selon les conditions environnementales et les caractéristiques physico-chimiques du pesticide. Les pesticides qui se dégradent le plus rapidement sont ceux présentant le moins de risques pour l'environnement.

-La dégradation microorganismique se fait par les champignons et les bactéries.

-La dégradation chimique se fait par réactions chimiques dans le sol, l'eau et l'air.

-La photodégradation se fait par le rayonnement solaire. La vitesse de dégradation varie selon l'intensité lumineuse et les propriétés du pesticide. Les pesticides appliqués sur les feuillages sont plus exposés au rayonnement que ceux incorporés au sol.

VI.5. Toxicité des pesticides

L'utilisation des pesticides et la contamination qu'ils peuvent engendrer ne sont pas sans conséquence. En effet l'exposition aux pesticides peut occasionner deux types de dangers sur la santé de la victime; effets aigus à court terme ou des effets chroniques (Gupta,2004 in Derwich, 2008). Les effets aigus sont connues sous le nom d'intoxication et leurs conséquences sont le plus souvent immédiates, alors que les effets chroniques se développent sur une période plus longue et peuvent persister longtemps après le fait. Ces effets peuvent résulter soit d'une exposition à long terme ou répétée à un pesticide à faible dose, soit une dose plus conséquente pendant un court laps de temps. Dans les deux cas les conséquences sont malheureuses ou même désastreuses pour la victime. Les conséquences les plus redoutables pour les pesticides sont leurs potentialités cancérigènes à long terme en grande partie. Les métabolites des pesticides peuvent être dangereux que la matière active elle-même. La synergie des matières actives ou de la matière active dans sa formulation et certaines composantes du milieu récepteur, peut avoir des effets néfastes sur la vie humaine et l'environnement; c'est pourquoi une réglementation tenant compte de la durée de séjour du pesticide dans le milieu naturel s'impose.

VI.6. Matériel et méthodes

VI.6.1. Utilisations des produits phytosanitaires dans la région d'étude

Une enquête menée dans le cadre de la présente étude, sur l'utilisation des produits phytosanitaires, auprès du service de l'agriculture de la wilaya de Guelma en juillet 2013 a anticipé le travail expérimental et nous a permis davantage de recueillir les informations suivantes:

Les traitements sont pratiqués selon le type de cultures et selon l'objectif à de différentes périodes de l'année. Pour la tomate industrielle, selon la succession des stades de croissance de la plante, trois traitements sont programmées par les agriculteurs durant toute la période de culture, dont le premier dit traitement en pépinières est effectué pendant le mois de Février à Mars. Le deuxième traitement contre les champignons dit traitement de repiquage juste après le premier qui va de mi-mars à Avril.

Un troisième traitement de couverture vingt jours après le précédent contre les insectes du sol et les insectes ravageurs tout en changeant la matière active à chaque campagne de traitement.

S'agissant de la culture de pomme de terre de saison, le premier traitement fongicide ou traitement de couverture préventif s'applique de la fin Janvier jusqu'à la fin de Février au moment de feuillage (la plante porte de 3 à feuille). Un deuxième traitement deux mois après l'implantation, il s'agit d'un traitement systématique curatif suivi d'un autre traitement périodique suivant un calendrier établie au préalable par l'agriculteur jusqu'à maturation. Un traitement insecticide se fait en parallèle contre les ravageurs de pomme de terre à savoir les verres gris et les verres de nuit. Quant à la pomme de terre arrière-saison, elle est implantée dans la période de fin Aout au début de Septembre pendant laquelle de sept à huit traitements fongicides accompagnés de traitements insecticides sont effectués.

Pour les cultures céréalières, le premier traitement concerne les semences se fait au niveau des entrepôts de l'OAIC par Cruiser, un insecticide très dangereux qui tue tout ce qui est vivant, c'est un produit non commercialisable et interdit à l'échelle internationale. Un mois à deux mois après l'implantation du blé, vers le mois de Février, l'apparition des premières feuilles sur la plante sera l'indicateur de l'agriculteur à procéder à un deuxième traitement. En période de tallage ou la plante fait émettre des tiges secondaires, un troisième traitement de désherbage est pratiqué par les agriculteurs en utilisant généralement des produits anti-dicotylédones et anti-monocotylédones.

VI.6.2. Echantillonnage

La campagne du mois de septembre 2013 a été consacrée pour le prélèvement des sédiments en vue d'analyse et d'identification des pesticides. L'échantillonnage est réalisé donc en fin de période d'étiage comme a été recommandé pour les cours d'eau à régime pluvial (cas de la Seybouse) afin de maximiser les chances d'obtenir des sédiments fins auxquels, les produits recherchés ont une grande affinité. Les mêmes sites échantillonnés auparavant et décrits dans le chapitre V, ont été retenus, en tenant compte toujours des zones les plus anthropisées dans la région d'étude.

VI.6.3. Technique de prélèvement

Au moyen d'une cuillère à soupe en acier inoxydable lavée au solvant et traitée à la chaleur, on prélève dans les cinq centimètres supérieures de la couche de sédiments, sur au moins trois points dans un même site pour former un composite représentatif, 500 grammes de sédiment.

Les échantillons sont placés à l'abri de la lumière dans des récipients en verre à couvercle garni de téflon, recouverts en feuille d'aluminium afin d'éviter une contamination de l'échantillon. Une fois étiquetés, les récipients sont conservés à l'abri de la lumière et transportés au laboratoire dans une glacière à une température de l'ordre de 4 °C.

VI.6.4. Préparation de l'échantillon et analyse chromatographique

Deux difficultés majeures sont associées à l'analyse des résidus de pesticides provenant d'échantillons de sédiment, d'eau, de sol, d'air... :

1. Ils sont présents à l'état de traces.
2. Ils sont inclus dans une matrice complexe, susceptible de gêner leur séparation et leur identification ultérieure.

La quantification des résidus de pesticides nécessite donc des méthodes d'analyse particulièrement sensibles et sélectives. Le traitement de l'échantillon du sédiment se fait en plusieurs étapes: une étape de pré traitement, d'extraction, de purification, de concentration et enfin vient l'analyse chromatographique en phase gazeuse.

VI.6.5. Stockage et pré traitement

Arrivée au laboratoire, le sédiment continue à séjourner à froid à une température très basse (- 20°C) dans un congélateur jusqu'au début de prétraitement. Ce dernier consiste à éliminer les débris de coquilles et des cailloux, puis le séchage du sédiment dans une étuve à 40°C et enfin un tamisage à l'aide d'un tamis en cuivre et de maille de l'ordre de 0,5mm.

VI.6.6. Extraction

L'analyse directe des échantillons de sédiments par CPG n'est toutefois pas réalisable, il faut, en effet, transférer les pesticides contaminants ces sédiments dans un milieu compatible avec l'analyse chromatographique. Une étape d'extraction et de séparation est ainsi strictement nécessaire.

Plusieurs techniques d'extraction de toxiques chimiques ont été proposées dans la littérature; les ultrasons, l'agitation, l'extraction au Soxhlet, l'extraction par solvant ou liquide-liquide (LLE), l'extraction par fluide supercritique (SFE), l'extraction sur phase solide (SPE), l'extraction accélérée par solvant (ASE), la micro-extraction sur phase solide (SPME), ou encore l'extraction sur bureau d'agitation (SBME) (Ihdene, 2012 ; Ilisabeth, 2008 in Babesse, 2013).

Pour réaliser une extraction efficace des pesticides, il est impératif de choisir le solvant le mieux adapté selon les caractéristiques des substances qu'on veut extraire. Le choix du solvant s'opère parmi une large gamme de produits de polarité et de densité variables: hexane, éther de pétrole, dichlorométhane, chloroforme, octanol, etc (Aqua- ref, 2011).

Notre analyse est une analyse multirésiduelle visant à détecter toute matière active pouvant se trouver dans les sédiments quel que soit le groupe chimique auquel cette dernière appartient, nous avons choisi ainsi le dichlorométhane comme solvant d'extraction. Le fait de choisir le dichlorométhane permet d'augmenter l'efficacité d'extraction dès lors que ce dernier est capable d'extraire une large gamme de pesticides avec des polarités très différentes. En effet, en utilisant le dichlorométhane, non seulement les pesticides non polaires, mais également les pesticides polaires voire même les plus solubles dans l'eau peuvent être retenus sans perte dans la phase organique. En outre, le dichlorométhane présente l'avantage d'être très volatil facilitant ainsi l'étape de concentration d'échantillon (Rodier, 2008).

Nous avons réalisé l'extraction dans un bain ultrason à partir de 100 mg de sédiment versé et bien étalé sur le fond un bécher de 500 ml auxquels nous avons ajouté 100 ml de dichlorométhane, puis l'ensemble est bien remué, recouvert avec du papier aluminium avant que l'ensemble ne soit agité durant 10 minutes.

On place le bécher dans le bain ultrason et laisser agir pendant 1 heure de temps pour pouvoir attaquer les cavités internes inclus dans les sédiments et faire ressortir les composés chimiques qui s'abritent dedans. Sur un papier filtre Wattman (110 ϕ , membrane 220 μ m), on fait passer le contenu, sol et solvant, deux fois consécutives. Ensuite la phase organique récupérée est filtrée pour la troisième fois sur un filtre contenant 30 g de sulfate de sodium anhydre pour éliminer toute trace d'eau du solvant.

VI.6.7. Evaporation

L'extrait a été en fin concentré par évaporation en utilisant un évaporateur rotatif (rotavap) sous vide dans un ballon chauffé dans un bain-marie. Après chauffage léger à 40°C, l'extrait est filtré sur une membrane 0.45 μ m et ainsi il peut être analysé directement par CPG sans nécessité de passer par une étape de purification (Tahloub et al., 2005 in Aissaoui, 2013).

VI.6.8. Principe de fonctionnement de CPG/SM

La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-MS) en mode SIM paraît le détecteur le plus sélectif et le plus sensible pour le dosage et la confirmation simultanés des pesticides volatiles et thermostables.

La chromatographie en phase gazeuse (CPG): est une technique qui permet de séparer des molécules d'un mélange éventuellement très complexe de nature très diverses. Elle s'applique principalement aux composés gazeux ou susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans décomposition. L'échantillon (un liquide volatil) est d'abord introduit en tête de colonne par l'intermédiaire d'une micro seringue qui va traverser une pastille en caoutchouc, appelée "septum", pour se retrouver dans une petite chambre en amont de la colonne appelée "injecteur".

L'injecteur est traversé par le "gaz porteur" et porté à une température appropriée à la volatilité de l'échantillon. Les quantités injectées peuvent varier de 0.2 à 5.0 μl . Ensuite, une fois rendus volatils, les différents composés de l'échantillon vont être emportés par le gaz vecteur à travers la colonne et se séparer les uns des autres en fonction de leur affinité avec la phase stationnaire qui va provoquer un phénomène de "rétention chromatographique" avec les différents composés. Plus le composé a d'affinité avec la phase stationnaire, plus il mettra de temps à sortir de la colonne. La rétention chromatographique est le temps qui s'écoule entre l'injection de l'échantillon et l'apparition du signal maximum du soluté au détecteur. Pour favoriser le transport de tous les composés à travers la colonne ; il faut déterminer la bonne température du four. En général, la température doit être supérieure à la température d'ébullition des composés. On peut travailler en isotherme, c'est-à-dire avec une température fixe durant toute l'analyse ou avec un programme de température qui varie.

A la sortie de la colonne, les composés rencontrent un organe essentiel qui est appelé "détecteur". Cet appareil évalue en continu la quantité de chacun des constituants séparés en rapport masse / charge (m / z) et à les détecter au sein du gaz porteur grâce à la mesure de différentes propriétés physiques du mélange gazeux. Le détecteur envoie un signal électronique vers un enregistreur qui dessinera les courbes de chaque pic en fonction de leur intensité (courbe de type Gaussienne). L'ensemble des pics est appelé chromatogramme.

VI.6.9. Appareillage

L'analyse chromatographique en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG/SM) est faite sur un chromatographe de type Perkin Elmer 600, couplé à un spectromètre de masse de type Perkin Elmer 600C à Impact d'électrons opérant en mode EI 70 eV. Le type de colonne capillaire utilisée est la de type Rtx-VMS (longueur 60m, diamètre intérieur 250 μm , épaisseur du film 0.25 μm). L'injection se fait en mode splittes pendant 45 secondes. Ce mode est choisi pour analyser de composés faiblement concentrés voire à l'état de trace. Un volume d'échantillon de 0.2 μl est injecté manuellement à l'aide d'une micro-seringue (Figure 65).

La température du four était programmée comme suit : température initiale 35°C pendant 1 min, suivie d'un premier gradient de température de 35°C/min jusqu'à 150°C pendant une minute, d'une deuxième rampe de 2°C/min jusqu'à 230°C pendant 5 min. L'injecteur et le détecteur étaient respectivement maintenus à 230°C et 260°C. Le gaz vecteur était hélium de haute pureté (Air Liquide Alpha2) avec un débit constant de 1 ml/min.

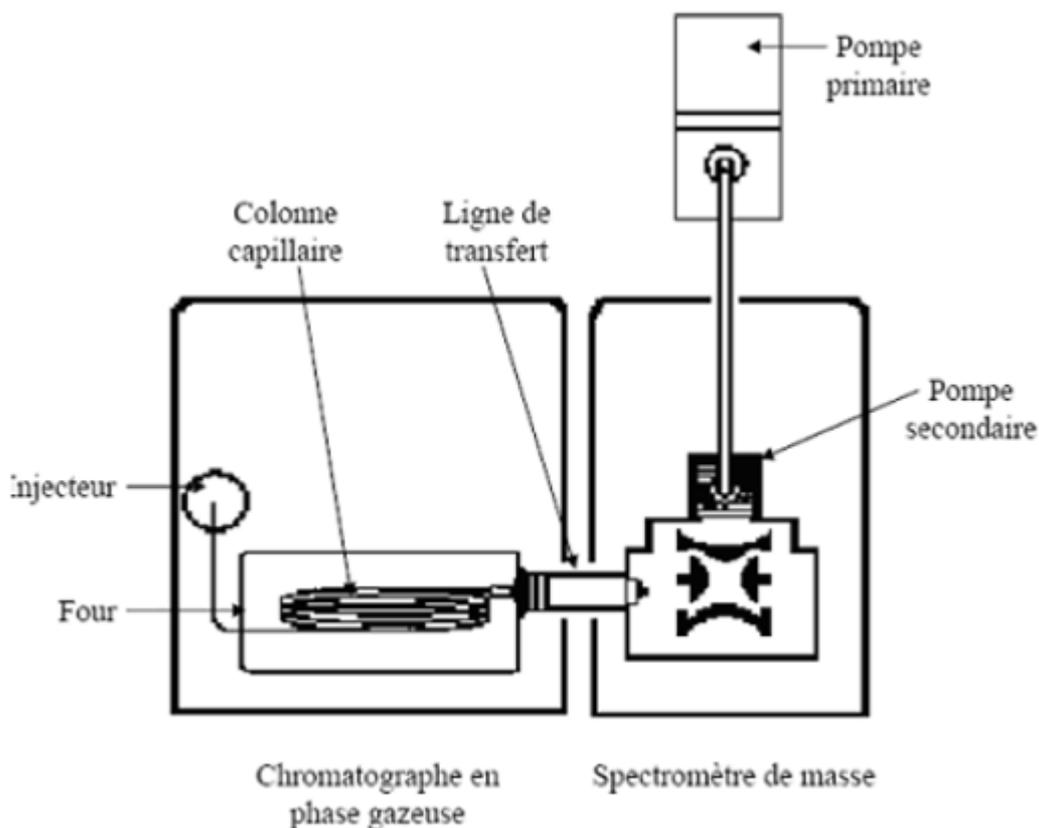


Figure 65 : Schéma d'un couplage appareil de couplage.

VI.7. Résultats

Les études sur la contamination et le devenir des résidus de pesticides dans les différents compartiments environnementaux sont rares en Algérie. Car le suivi de la pollution par les pesticides reste difficile à cause de la multitude de formulation commercialisées et utilisées par les agriculteurs durant la campagne agricole. D'autre part il est également difficile de déterminer l'origine exacte de l'ensemble des pesticides utilisée dans la région pour la simple raison qu'ils sont d'origines multiples et qu'ils ne sont pas déclarés le plus souvent à leur arrivée dans le pays.

Le but de cette analyse n'est pas d'obtenir une quantification des substances, mais de mettre en évidence une éventuelle contamination par les résidus de pesticides. Il s'agit donc d'une analyse qualitative.

Les résultats obtenus pour les différentes stations sont illustrés ci-dessous sous forme de chromatogrammes (Figures 66-79). Chaque chromatogramme est composé de plus de trois pics correspondant chacun à un composé ou produit chimique.

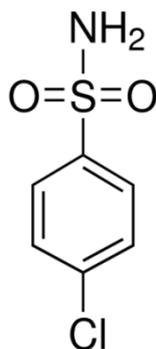
La technique d'identification de composés repose principalement sur l'interprétation de spectre de masse (figure 67). Cette identification est faite par comparaison avec la bibliothèque de spectres de masse (NISTT 2005) « The National Institute of Standards and Technologie » comportant des références pour 147198 molécules différentes (Figure 68). Cette banque de données fournit pour chaque spectre une liste de substances (Figure 69) avec leurs poids moléculaires, leur pics de base, leur pureté et leur fit (ajustement).

L'analyse globale des spectres obtenus montre l'existence de certaine similitude des composés décelés avec toutefois des pics d'intensité variable d'un échantillon à l'autre. On constate globalement, peu de variation dans la nature des molécules identifiées dans l'ensemble des échantillons analysés.

Malgré la performance du chromatographe utilisé, l'analyse des profils spectraux des différents échantillons n'a pas permis de déceler de molécules pesticides à des doses décelables par la méthode analytique employée.

L'interprétation de spectres de composés se trouvant à l'état de trace dans certains échantillons analysés a, en effet, été limité notamment par un fort bruit de fond, qui empêche de distinguer les spectres de masses des composés traces et qui nous a permis de détecter la présence seulement d'une seule substance active, et qui ne figure pas, malheureusement, sur la liste des principales substances actives appliquées dans la région d'étude.

La seule molécule, est détectée à la station S₉, en quantité étonnante, après un temps de rétention de 140 minutes, il s'agit du 4-chloro benzenesulfonamide ou appelé aussi Terpinéol-4, classée dans le groupe des substances actives toxiques des Chlorsulfuron, sa formule et sa structure chimique sont les suivantes : C₆H₆ClNO₂S



L'analyse nous a permis également de détecter plusieurs substances organiques tels que les composés d'alpha pinène (S₉, pic 54.29) utilisés dans la synthèse de certains insecticides, le Bicyclo (2 2 1) heptane, 2chloro appelé encore Norbornane, 2-chloro- (S₁, pic 34.58) qui n'a pas autant d'utilisations pratiques que l'éthylène ou d'autres produits chimiques de base. Il est utilisé pour faire des produits pharmaceutiques intermédiaires, composés de pesticides, les parfums de spécialité et en synthèse organique générale. Lorsqu'il est combiné avec de l'éthylène, le norbornène va réagir et se transformer en un copolymère d'oléfine cyclique.

Nous avons aussi détecté, presque dans tous les échantillon analysés, des composés d'esters méthyliques d'acides gras saturés (EMAG) suivantes en quantités notoires (Pentadecanoic acid, 14-methyl, methyl ester: en S₂ S₃ S₆ S₁₁ S₁₂, 13,16-octadecadiynoic acid, methyl ester: en S₂ S₄ S₁₂, 7-hexadecenoic acid, methylester,(z)-: en S₃ et S₁₀, tridecanoic acid, methylester: en S₇ et S₁₁). Ces composés sont fortement mélangés dans le carburant d'alimentation des moteurs Diesel modernes. C'est pourquoi elles sont « estérifiées », c'est-à-dire transformées en esters d'acide gras, par une réaction chimique de transestérification.

Les EMAG trouvent plusieurs utilisations comme solvants (De Caro, 2008 in Fatim et al., 2012). L'utilisation la plus répandue est celle d'agent nettoyant pour les pièces métalliques et en imprimerie offset (Stautz in Fatim et al., 2012). Les EMAG peuvent remplacer les solvants traditionnels dans la formulation des agents de démoulage du béton dans le domaine de la construction (De Brito, J et al in Fatim et al., 2012) mais aussi dans celle des fluidifiants

pour le bitume dont le rôle est de ramollir le bitume pendant son stockage et sa mise en œuvre (Antoine, 2005). Par ailleurs, ils peuvent également se retrouver dans la formulation d'encres pour l'imprimerie offset.

Ce travail basé sur l'utilisation des plantes aromatiques comme insecticide nous ouvre de larges perspectives d'une part dans le domaine des connaissances fondamentales et d'autre part dans le domaine appliqué, pour ce là nous recommandons des recherches sur des substances organiques aromatiques ont été également détectés tels que : 9,12-octadécadienoyl chloride, (z,z) appelé encore Linoleoylchloride(en S6 , S7, S10 et S11), bicyclo(3 1 0)hexan-2-one, 5-(1-méthylethyl)-ou sabinakéto (en S1). En effet, ces substances ne sont que des huiles essentielles ayant, fort probablement, une activité insecticide antiparasitaire efficace utilisées et elles sont donc utilisées en tant que produits additifs dans la synthèse des pesticides.

Cette hypothèse peut être appuyée par les études menées par (Kim et al.,2003) dans lesquelles il a pu confirmer que Les plantes peuvent fournir des solutions de rechange potentielles aux agents actuellement utilisés contre les insectes parce qu'elles constituent une source riche en produits chimiques bioactifs. Beaucoup d'effort a été donc concentré sur les matériaux dérivés de plante pour les produits potentiellement utiles en tant qu'agents commerciaux de lutte contre les insectes.

De sa part (Shaaya et al.,1997) estime que Les plantes aromatiques sont parmi les insecticides les plus efficaces d'origine botanique et les huiles essentielles constituent souvent la fraction bioactive des extraits de plantes. L'effet insecticide des huiles essentielles par contact, ingestion et par fumigation a été bien démontré par (Isman, 1994) contre les déprédateurs des denrées entreposées, de nombreux travaux ont porté sur l'amélioration des formes d'utilisation des plantes qui permettent de renforcer et de rentabiliser leur activité insecticide. Plusieurs travaux, également, ont été menés sur l'effet toxique de certaines essences et de leurs composants Contre *Varroa jacobsoni*(parasite des colonies d'abeilles) (Calderone et al., 1997 in Benazzeddine, 2010).

Les profils chromatographiques des différents extraits peuvent justifier l'activité toxique efficace de certaines substances utilisées en industrie chimique à savoir le méthyletétradécanoate détecté en (S4) utilisé dans la fabrication des détergents, le bicyclo(2 2 1)heptane, 2chloro ou appelé aussi norbornène (S1) .

Il est utilisé pour faire des produits pharmaceutiques intermédiaires, composés de pesticides, de parfums de spécialité et en synthèse organique générale. Lorsqu'il est combiné avec de l'éthylène, le norbornène va réagir et se transformer en un copolymère d'oléfine cyclique.

De toute façon, ces substances bioindégradables peuvent exercer un effet neurotoxique chez l'homme à la suite d'une exposition répétée ou chronique. En effet, l'exposition pendant des mois ou des années à des concentrations modérées peut entraîner progressivement des effets néfastes sur le système nerveux.

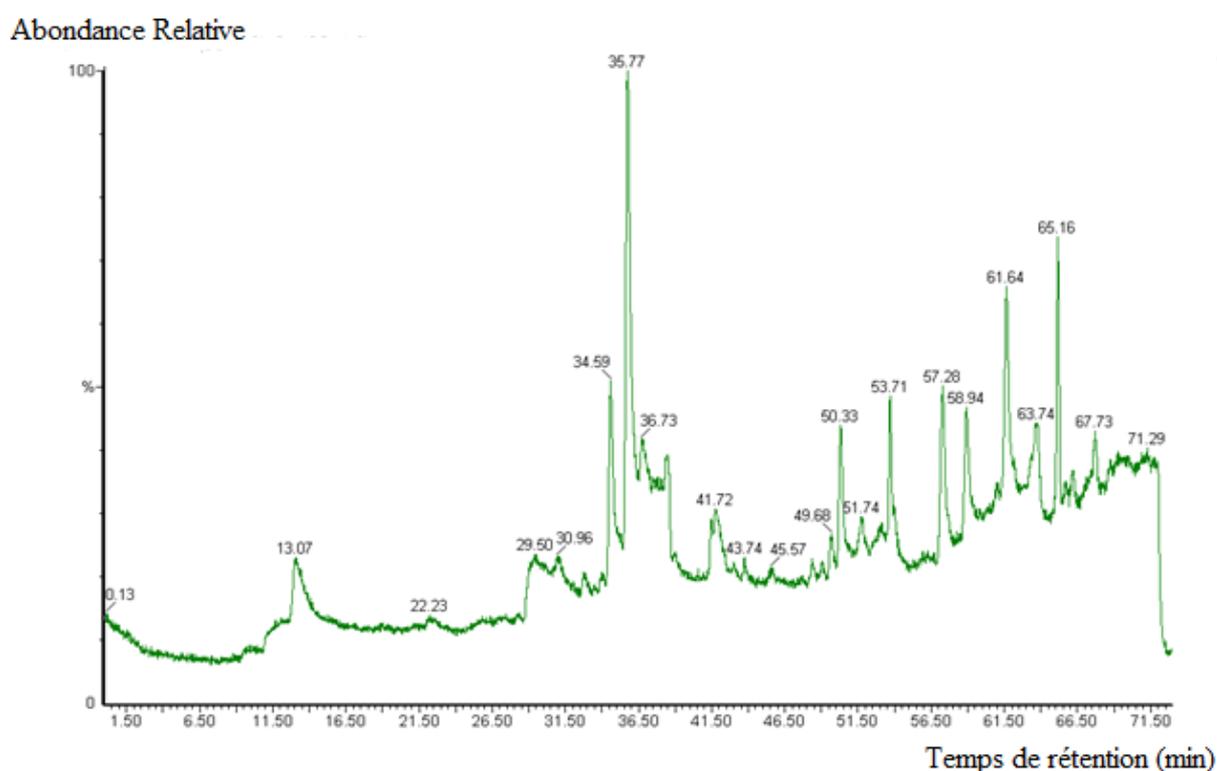


Figure 66: Profil chromatographique de la station S1.

- ❖ **Temps de rétention en minute :** temps que met la substance depuis son introduction dans la colonne (injection) jusqu'au moment où elle arrive au détecteur.
- ❖ **Abondance Relative:** caractéristique de la quantité de substance initialement présente dans le volume qui a été injecté.

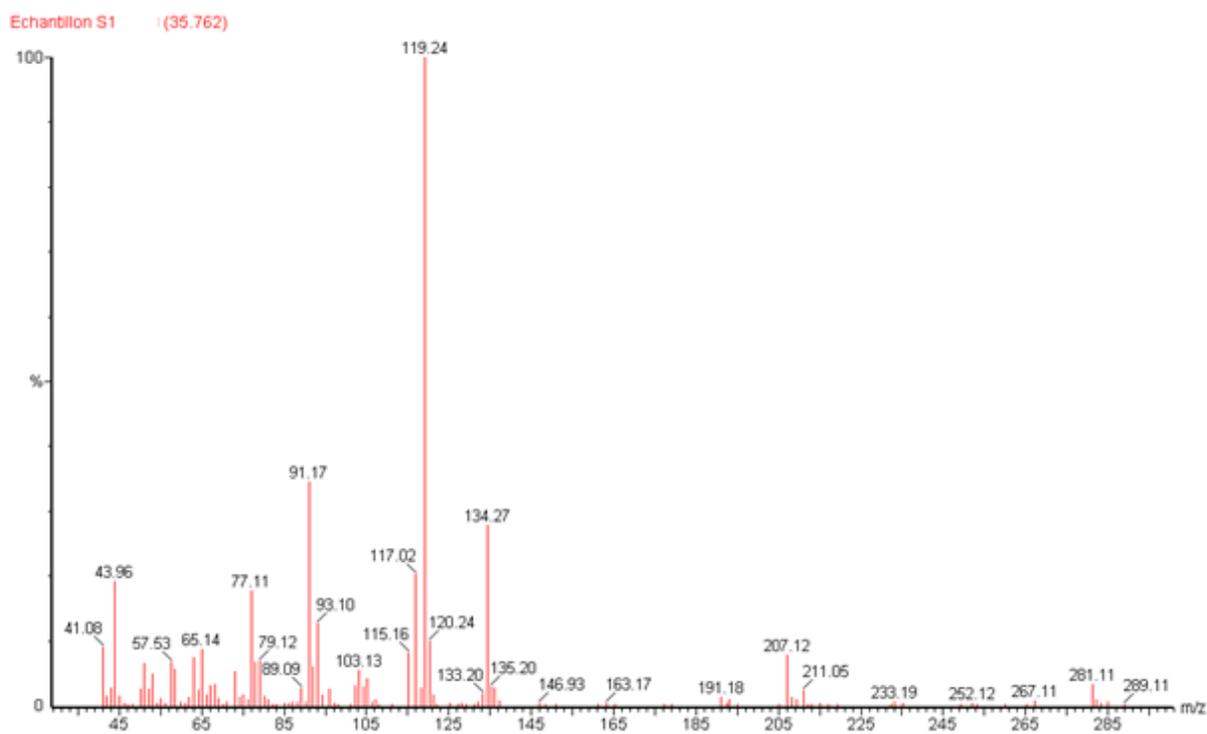


Figure 67: Exemple d'un spectre de masse correspondant d'un composé chimique sur le chromatogramme de la station S1 dont le temps de rétention égale à 35.77 minute.

Hit	rev	FOR	Name	Mol Wt	CAS
1	903	816	BENZENE, 1-METHYL-2-(1-METHYLETHYL)-	134	527-84-4
2	915	815	BENZENE, 1-METHYL-4-(1-METHYLETHYL)-	134	535-77-3
3	901	814	BENZENE, 1-METHYL-2-(1-METHYLETHYL)-	134	527-84-4
4	901	814	BENZENE, 1-METHYL-3-(1-METHYLETHYL)-	134	99-87-6
5	900	813	BENZENE, 1-METHYL-2-(1-METHYLETHYL)-	134	527-84-4
6	912	813	BENZENE, 1-METHYL-4-(1-METHYLETHYL)-	134	535-77-3
7	910	811	BENZENE, 1-METHYL-2-(1-METHYLETHYL)-	134	527-84-4
8	892	806	BENZENE, 1-METHYL-2-(1-METHYLETHYL)-	134	527-84-4
9	894	804	BENZENE, 1-METHYL-2-(1-METHYLETHYL)-	134	527-84-4
10	899	800	BENZENE, 1-METHYL-3-(1-METHYLETHYL)-	134	535-77-3
11	878	800	BENZENE, 1-METHYL-4-(1-METHYLETHYL)-	134	99-87-6
12	877	799	TRANS-3-CAREN-2-OL	152	900151-75-4
13	892	799	1,3,5-CYCLOHEPTATRIENE, 3,7,7-TRIMETHYL-	134	3479-89-8
14	890	793	BENZENE, 1-ETHYL-2,4-DIMETHYL-	134	874-41-9

Figure 68: Liste de substances fournit par labibliothèque NIST T 2005.

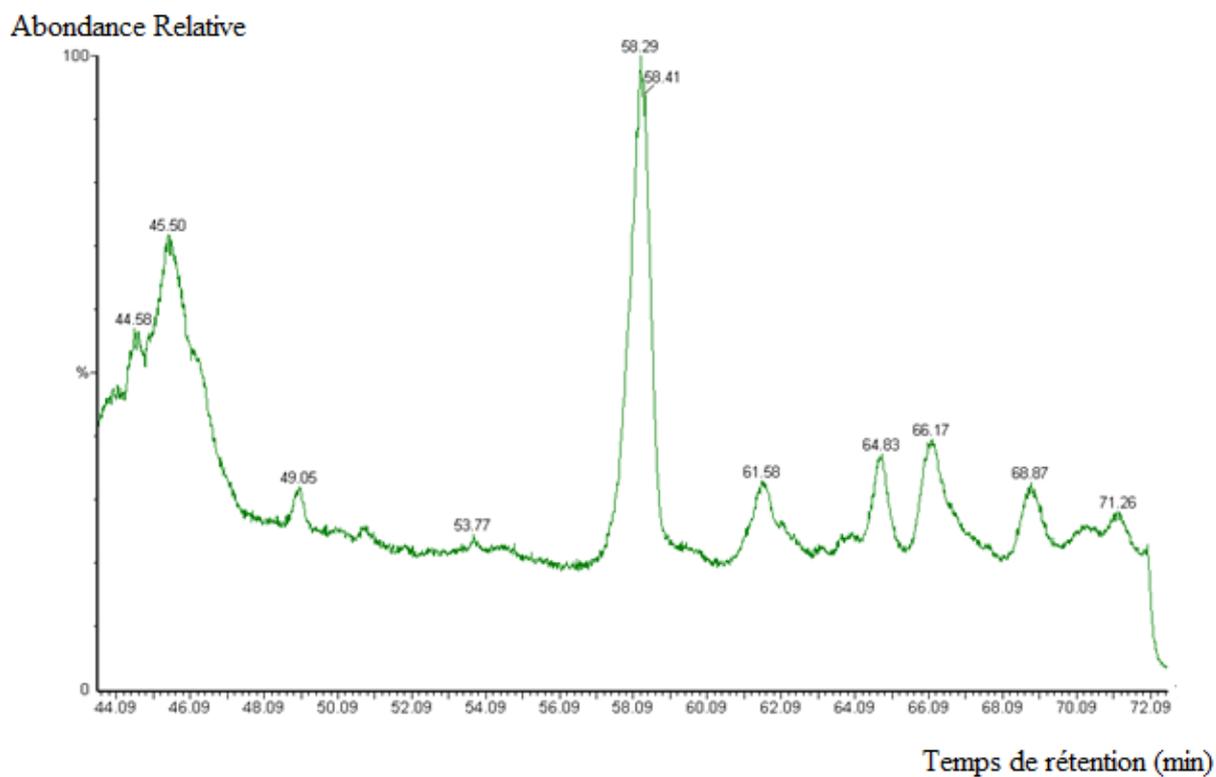


Figure 69: Profil chromatographique de la station S2.

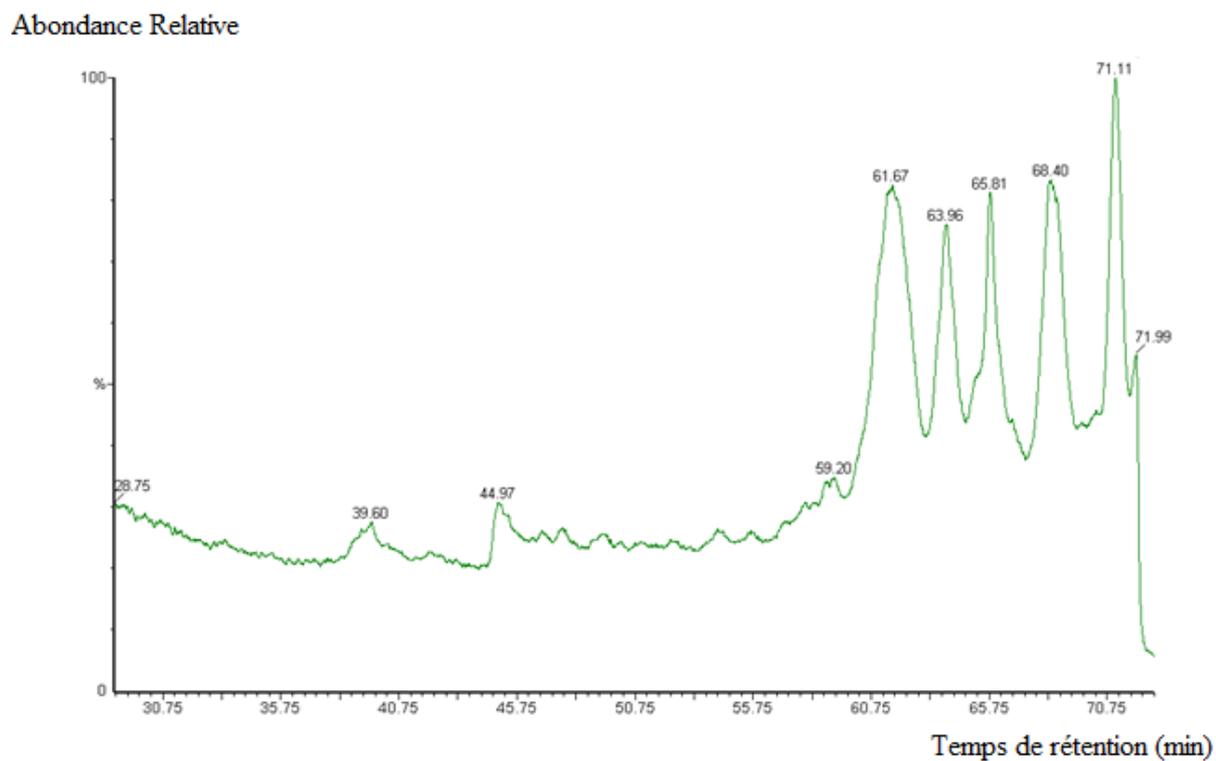


Figure 70: Profil chromatographique de la station S3.

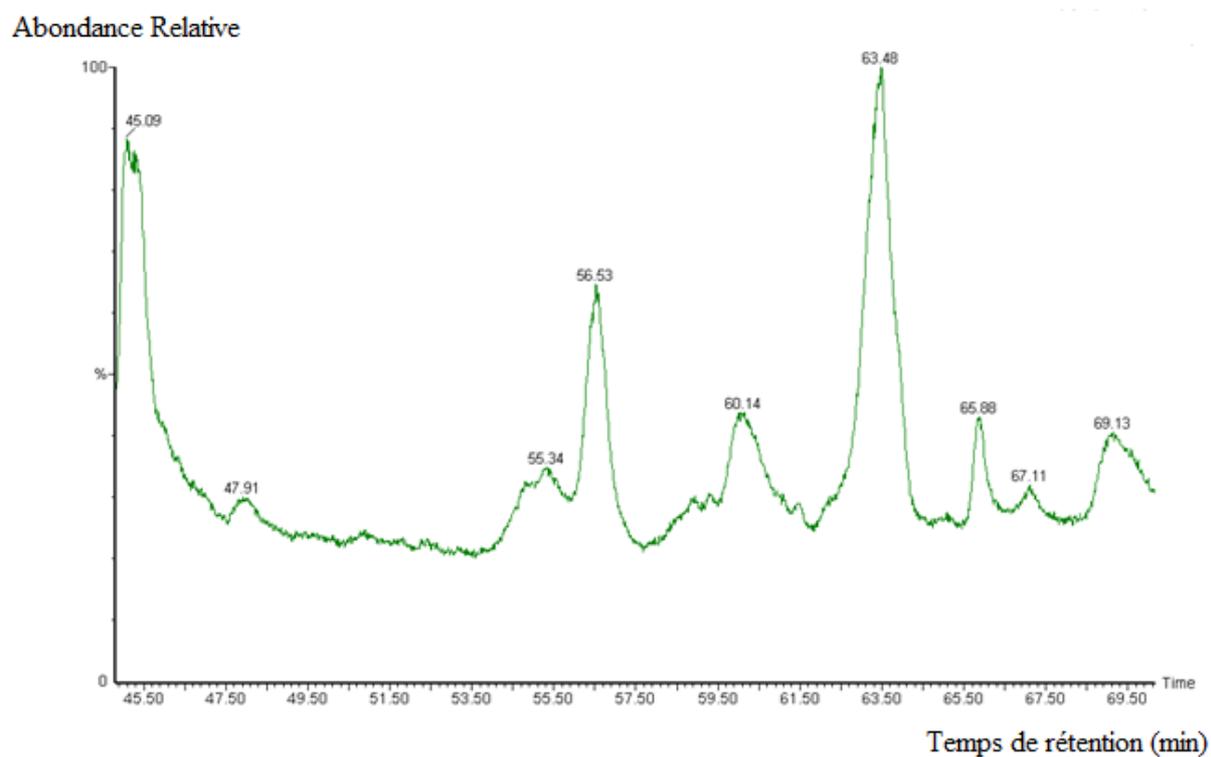


Figure 71: Profil chromatographique de la station S4.

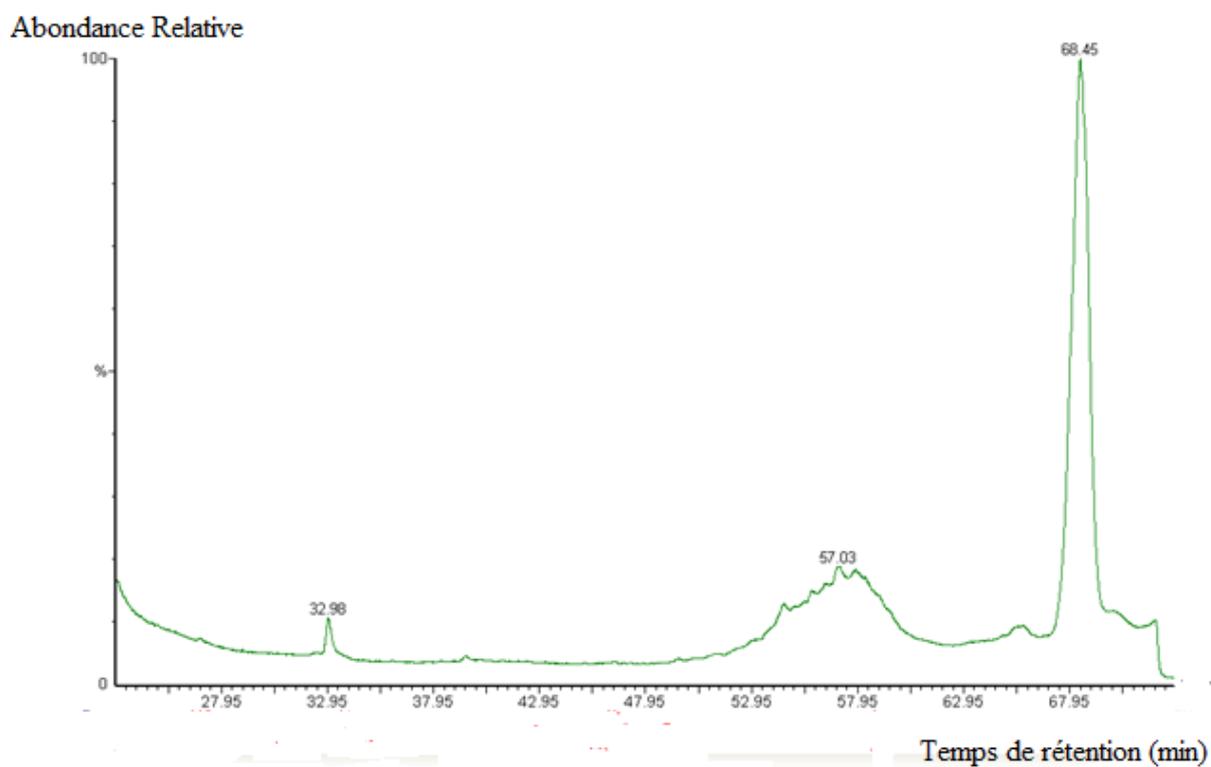


Figure 72: Profil chromatographique de la station S5.

Abondance Relative

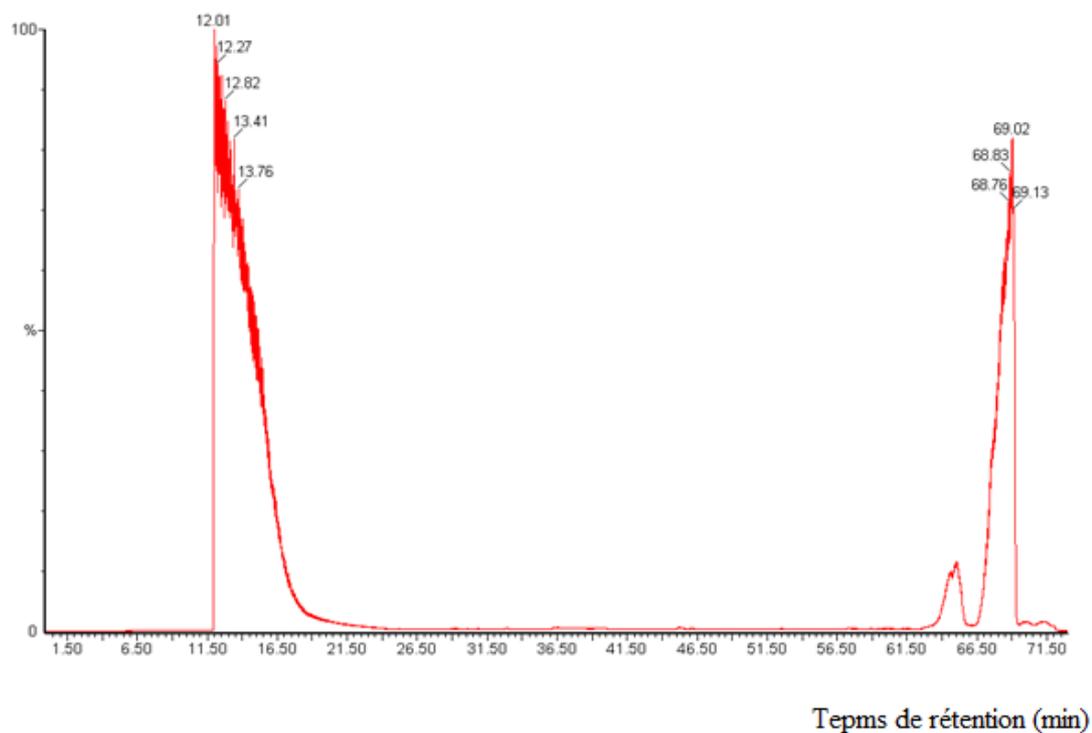


Figure 73: Profil chromatographique de la station S6.

Abondance Relative

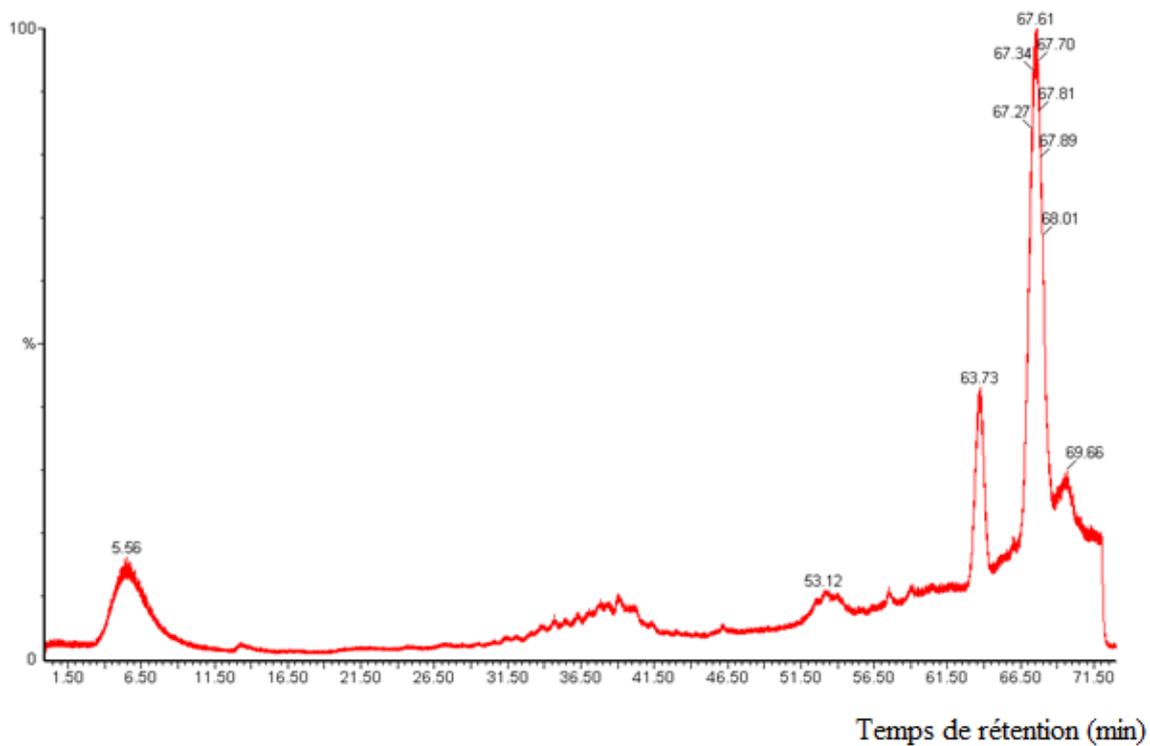
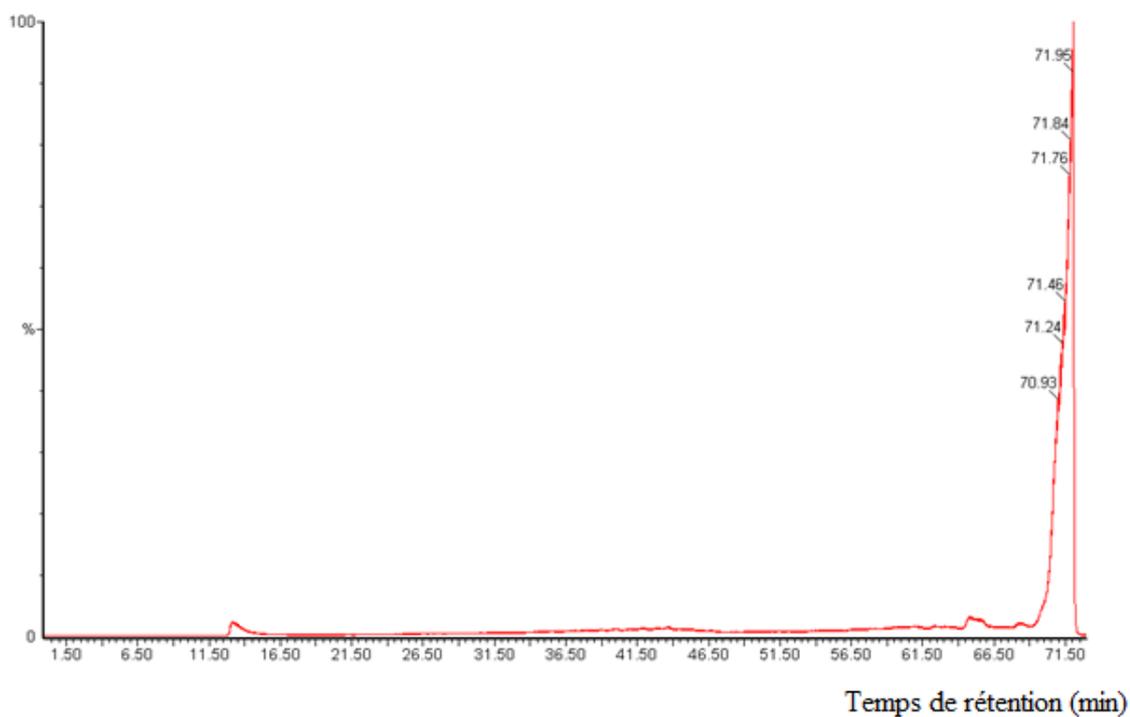
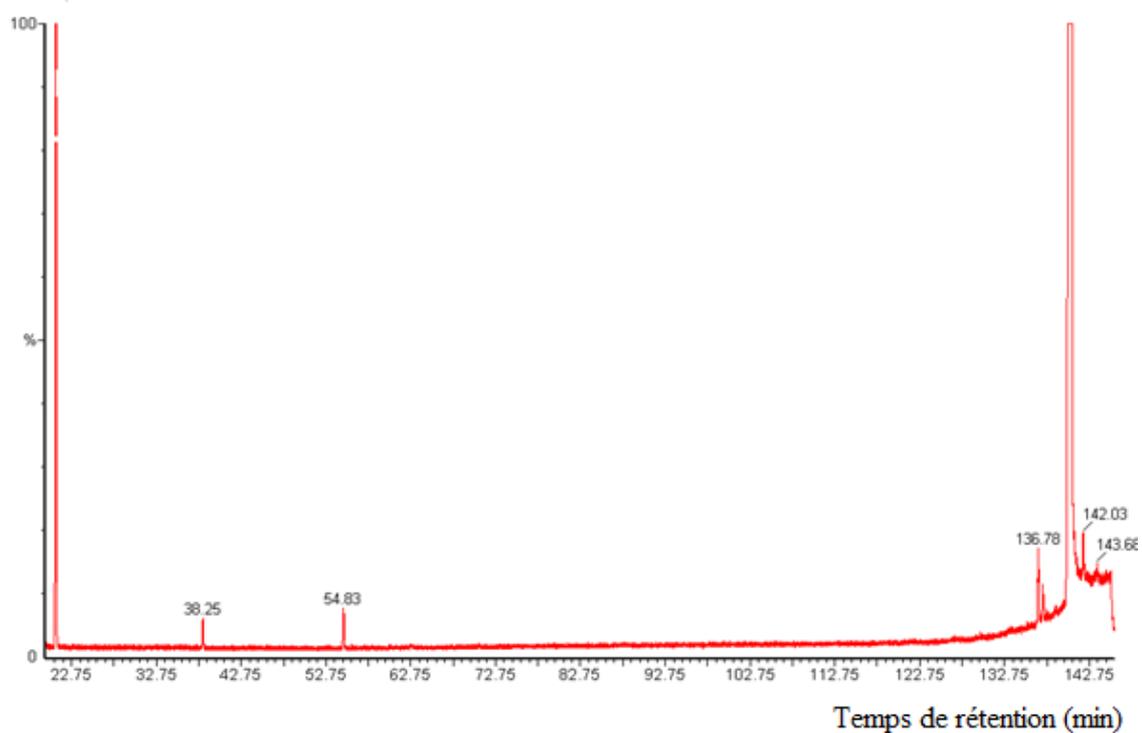


Figure 74: Profil chromatographique de la station S7.

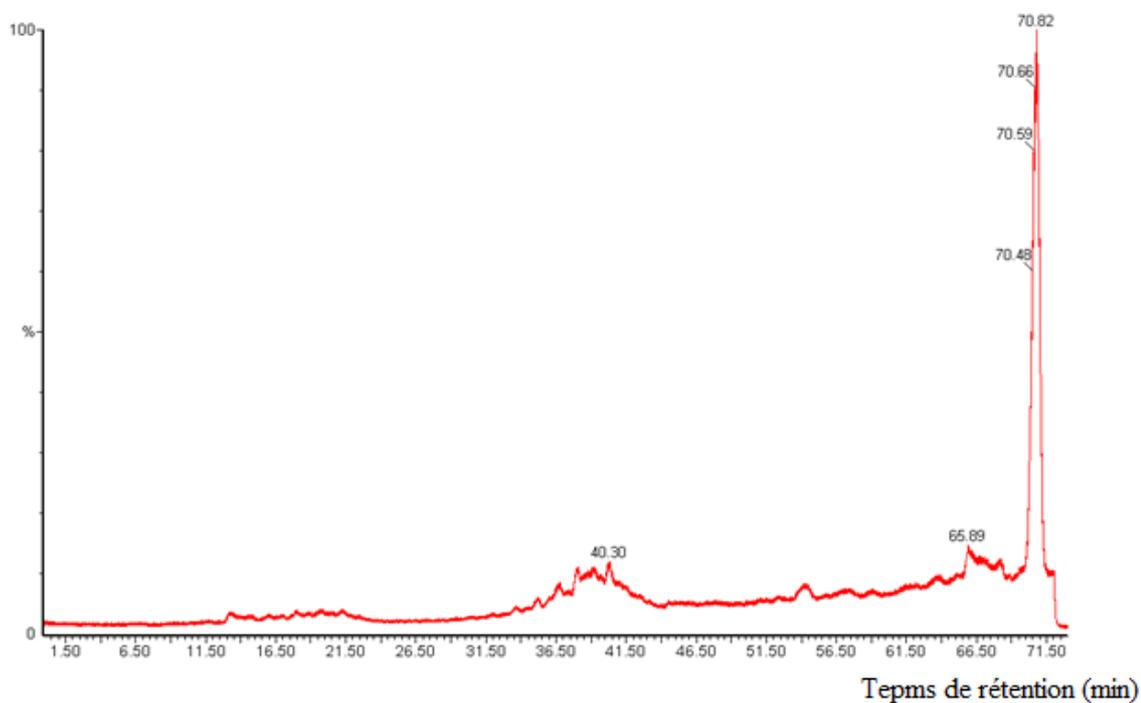
Abondance Relative

**Figure 75:** Profil chromatographique de la station S8.

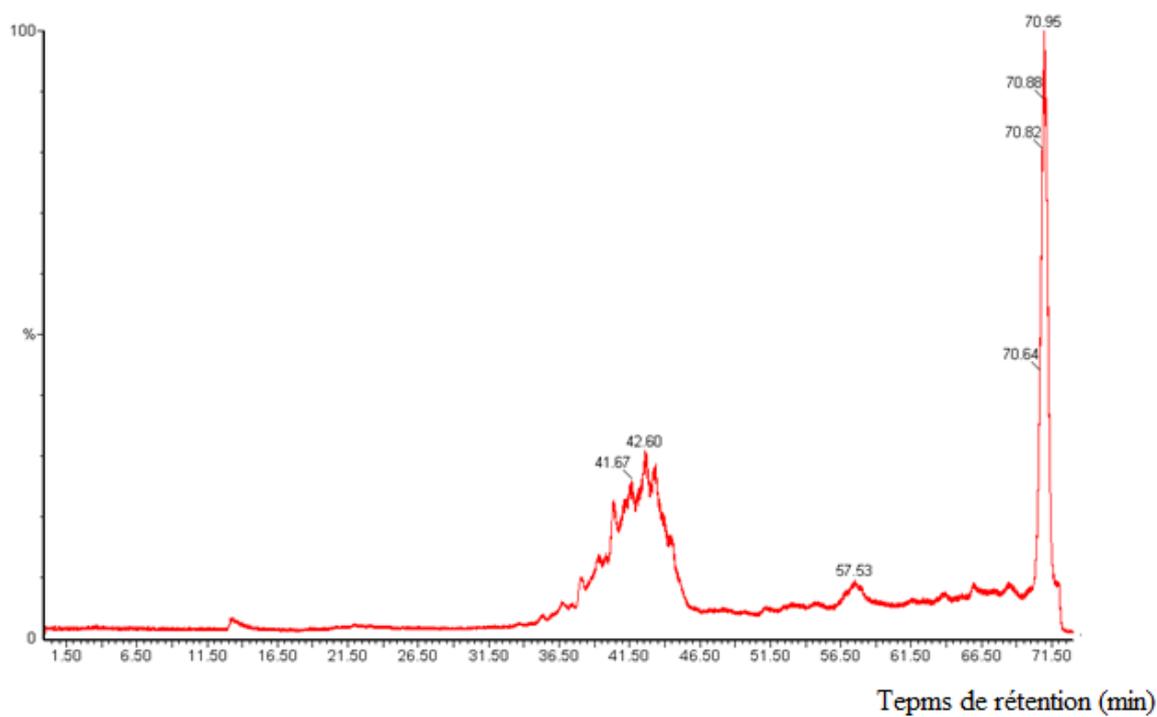
Abondance Relative

**Figure 76:** Profil chromatographique de la station S9.

Abondance Relative

**Figure 77:** Profil chromatographique de la station S10.

Abondance Relative

**Figure 78:** Profil chromatographique de la station S11.

Abondance Relative

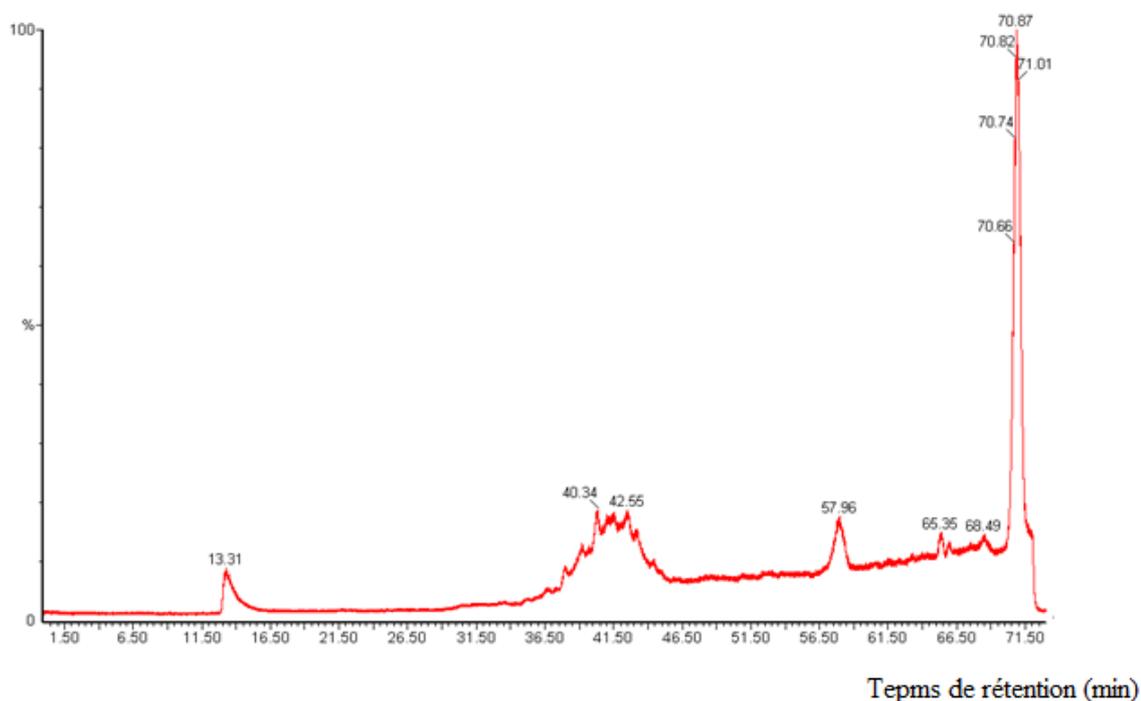


Figure 79: Profil chromatographique de la station S12.

VI.8. Discussion

Les activités agricoles intenses dans la région d'étude sont accompagnées par une large utilisation des produits phytosanitaires, plus de 70 produits EN 2014 pesticides déclarés par la DAS. Cette utilisation a montré ses avantages notamment dans l'augmentation des rendements de productions par l'élimination ou la réduction des déprédateurs de cultures. Toutefois, derrière ces bienfaits, peuvent se cacher des effets insidieux dont les méfaits sur l'environnement, sur la qualité des produits agricole et sur la santé des populations. Les mécanismes impliqués dans la présence de pesticides dans les écosystèmes aquatiques sont nombreux, complexes (de nature physique, chimique et biologique), interagissent les uns avec les autres, et pour la plupart, jouent un rôle de filtre protecteur à l'égard de ces écosystèmes (Mouvet et al., 2005).

L'analyse des profils spectraux des différents échantillons prélevés lors de la campagne de septembre 2013 n'a permis de mettre en évidence qu'une seule substance active. Le facteur primordial pouvant expliquer la non-détection des résidus de pesticides dans la presque totalité des échantillons prélevés sont les conditions climatiques particulières ayant précédé l'étape de l'échantillonnage.

En effet les conditions climatiques notamment la pluviométrie sont considérées par plusieurs auteurs comme étant les plus impliquées dans le déterminisme du transfert des pesticides dans l'écosystème aquatique (Grébil et al., 2003).

La pluviométrie doit, en effet, être considérée sous différents aspects, à la fois dans son intensité et sa distribution dans le temps. Les résultats de plusieurs travaux indiquent que le temps qui sépare l'application du pesticide de la première pluie efficace serait le facteur qui contrôle les pertes par lessivage des pesticides. Ainsi, à mesure que le temps passe entre l'application et la pluie, les auteurs observent une baisse ou pertes totales des pesticides (Amaltric et al., 2003)

Autres hypothèses pouvant expliquer la non-détection des pesticides dans les échantillons de sédiments prélevés se trouvant dans la méthodologie.

a)-La substance recherchée n'a pas été retrouvée.

- La substance était absente dans l'échantillon soumis à l'analyse, d'où la question essentielle qui met en cause la qualité du travail sur le terrain. Est-ce que l'échantillonnage a été bien fait en nombre et en qualité ?
- La substance était présente mais en trop faible concentration.
- La substance était présente mais elle s'est dégradée et est donc devenue « invisible ». Il peut s'agir d'un processus de métabolisation naturel mais aussi d'une dégradation de la substance pendant le transport ou le stockage. Certaines substances s'altèrent si rapidement qu'il est aussi pertinent de rechercher les produits de dégradation ou de métabolisation (les métabolites) que la molécule d'origine. C'est par exemple le cas pour le fipronil, l'imidaclopride, le thiaméthoxame, la clothianidine etc...

b)-La substance est présente mais on ne peut la mesurer. Là encore, il y a plusieurs explications:

- La substance est effectivement en trop faible quantité pour être quantifiée.
- La substance était présente et en quantité mesurable mais elle s'est dégradée sans toutefois devenir « invisible ».
- Dans le cas de molécules comme le fipronil ou l'imidaclopride ou d'autres insecticides systémiques, l'analyse chimique peut révéler aussi la présence de métabolites toxiques, mais sans pouvoir les doser individuellement (en-dessous de la limite de quantification).

Conclusion

L'analyse des analyses des échantillons , prélevés lors de la campagne 2013, a permis de mettre en évidence une forte contamination des sédiments échantillonnés par de nombreuses substances chimiques très toxiques y compris de résidus et des matières additives des pesticides. Cependant, la non-détection d'un grand nombre de substances actives recherchées reviendrait aux facteurs climatiques, pluviométriques particulièrement et méthodologiques.

La dégradation des pesticides résulte de l'action du milieu naturel sur la matière active de la formulation chimique. La durée de vie de ces substances, et donc leur persistance dans l'environnement, est conditionnée par leur réactivité vis-à-vis des processus que l'on qualifie d'abiotiques (Photolyse, hydrolyse, réaction d'oxydoréduction...) ou biotiques (biodégradation, métabolisation).

CONCLUSION GÉNÉRALE

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, représentant 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, représentant 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.

Les concentrations en MES et en DCO sont assez élevées en période pluvieuse dans la station S₃ située à Bentabouche en aval de l'usine de carrelage et dans les stations S₇ et S₈ situées respectivement en aval de l'oued Maiz et oued Zimba.

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 Sekhouné et oued Maiz, à contribuer d'une manière significative à l'amélioration de la qualité physicochimique des eaux de la Seybouse.

Ainsi, les résultats obtenues, pendant toute la durée de travaux effectués par (Hamel et al, 2013) sur le fonctionnement de la STEP, montrent que le processus d'épuration biologique des eaux usées entraîne une baisse très appréciable de la charge considérable en matière organique qui se traduit par les valeurs de DBO₅ et DCO enregistrées à l'entrée et à la sortie (la DCO passe de 400mg/l à l'entrée → 25 mg/l à la sortie), (la DBO₅ 270 mg/l à l'entrée → 32 mg/l à la sortie).

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 6,3 à 8,05, pour une moyenne de 7,02, ces eaux sont dans l'ensemble fortement minéralisées, mais restent admissibles, avec une conductivité électrique qui varie de 303 µS/cm dans la station S₁ de oued Charef mesurée pendant la période d'étiage à 1999 µS/cm dans la station S₅ de oued Sekhouné pendant la période de crues, pour une moyenne de 1382,95 µS/cm pour l'ensemble des stations. 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'étude statistique des résultats par l'ACP, a montré que les sulfates, les bicarbonates et le sodium sont fortement corrélés à la conductivité électrique, d'une part, la DBO₅ et la DCO aussi sont corrélées à la conductivité d'autre part.

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.

L'analyse 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. D'autre part les teneurs des métaux lourds dangereux (As, Cd, Pb) pour la santé publique, étaient au-dessous de la limite de la norme recommandée par l'OMS, malgré la diversité des sources d'une pollution anthropique intense dans la zone.

En ce qui concerne les teneurs en huiles et graisses dans l'eau de surface. Malgré la multitude de sources de contamination, domestiques, stations de lavage et graissage, raffinage d'olive, stations de carburant, motorisation industrielle, les résultats obtenus, pour l'ensemble des échantillons prélevés, sont en grande partie rassurants. Toutes les valeurs étaient faibles, varient entre 0 et 1 mg/l, et n'atteignent pas la norme fixée par la législation algérienne (20mg/l).

L'élimination, d'une manière considérable, de ce type de polluants, aussi bien en amont qu'en aval de la région d'étude, ne peut être expliquée que par la mise en service de la station d'épuration des eaux usées en 2008, où le processus de dégraissage-déshuilage est destinée à réduire, environ 80 %, des graisses et huiles non émulsionnées par simple sédimentation physique en surface.

Les engrais et les pesticides forment un groupe important de substances chimiques qui peuvent contaminer l'écosystème aquatique et affecter la santé humaine. Malgré les efforts fournis pour développer des méthodes alternatives, les pesticides sont toujours le moyen de lutte prédominant et leurs résidus constituent une menace potentielle. 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.

Les résultats obtenus, par analyse chromatographique, pour la première expérience dans cette région, montrent que les sédiments de l'oued Seybouse et ses principaux affluents sont fortement contaminés avec une certaine hétérogénéité dans leur composition. En plus de la molécule de 4-chloro benzènesulfonamide, détecté en quantité inattendue à la station S₉, beaucoup d'autres substances chimiques toxiques ont été mis en évidence, telles que les esters méthyliques d'acides gras, des huiles essentielles, des antibiotiques vétérinaires, des produits pharmaceutiques, etc. Il est donc certain que les cours d'eau dans notre région d'étude subissent l'influence d'une pollution d'origine agricole. Ces influences seront aggravées au cours du temps si les pouvoirs publics locaux et nationaux n'adoptent pas une politique environnementale rigoureuse.

Ce travail, qui a pour objectif de rechercher et identifier les résidus de pesticides utilisés dans cette région, est certes très intéressant et ouvre de larges perspectives d'une part dans le domaine des connaissances fondamentales et d'autres part dans le domaine appliqué, il mérite d'être complété par d'autres investigations notamment une étude quantitative des pesticides au niveau des différents compartiments environnementaux.

PERSPECTIVES

PERSPECTIVES

Au terme de ce travail, il nous paraît utile de proposer quelques recommandations complémentaires afin de sauvegarder et améliorer la qualité des eaux dans le bassin versant de la Moyenne Seybouse.

- Application d'une réglementation plus rigoureuse et adoption d'une nouvelle stratégie faisant une attention particulière à l'environnement.
- La lutte contre l'installation des décharges non contrôlées est impérative. Les ordures ménagères doivent être triées et placées dans des stations de traitement.
- Réduire l'utilisation des engrais ou fertilisants minéraux et les remplacer par des produits naturels non polluants tels que les boues d'épuration, lagunage etc...
- Installation des stations d'épuration à l'aval immédiat des points de rejets : Industriels ou urbains.
- Impliquer pleinement les différents secteurs dans la mise en œuvre et le suivi environnemental.
- Encourager les études épidémiologiques, toxicologiques et biologiques afin de progresser dans la connaissance des impacts sanitaires des pesticides.
- L'évaluation de la qualité des eaux et des effluents ne devrait plus être limitée aux quelques paramètres classiques (tels que DBO ou DCO et matières en suspension), mais également inclure les paramètres physiques, chimiques, biologiques et de toxicité qui sont nécessaires.
- Les techniques de mesures et de surveillance doivent être activement développées, étant un outil essentiel de lutte contre la pollution.
- Les autorités devraient favoriser l'information et la participation du public. Il est donc primordial d'entamer des campagnes de sensibilisations et d'informations. Cette sensibilisation, doit en outre faire partie intégrante d'un système d'information et d'enseignement scolaire et universitaire.
- Améliorer et développer la stratégie de surveillance dans son ensemble et, en particulier, la métrologie des pesticides.
- Renforcer la bio-surveillance environnementale afin qu'elle puisse avoir une fonction d'alerte, en s'appuyant sur l'utilisation de compartiments biologiques intégrateurs et de biomarqueurs d'effet ou d'exposition.
- Assurer la continuité écologique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Alloway, B.J., Ayres, D.C, 1997 :Chemical Principles of Environmental Pollution. Blackie Academic and Profesional, an imprint of Chapman and Hall, London, 394 pp.

Amaltric L., Baran N., Jeannot R., Martin J. C., MouvetC. b. 2003 :Les mécanismes de transfert des produits phytosanitaires du sol vers les nappes et les méthodes d'analyse des produits phytosanitaires dans les eaux BRGM/RP-51590-FR. 223p.

Anderson M.C., Malotky D.T. 1979:The adsorption of protolyzable anions on hydrous oxides at the isoelectric pH.J. Colloid Interface Sci. 72, 413-427.

Aqua- ref. 2011 :Guide des prescriptios techniques pour la surveillance physico-chique des milieux aquatiques: opération d'échantillonnage en cours d'eau (eau et sédiments) en milieu continental. 32p.

Awomesso A. 1990 :Qualité des eaux souterraines et maladie hydriques au Nigeria. Thèse de doctorat de l'Université de Besançon –mention science de la terre111.

Babesse N., Ghriss R. 2013 :Décontamination chimique en solutions des modèles orgaonophosphorés toxiques. memoire d'ingénieur d'Etat .Ecole Militaire Poly Technique Bordj El Bahri Alger.

Bagnouls F., Gaussen H. 1953 :Saison sèche et indice thermique xérothermique. Doc. Carte product.Végét ,sér . Généralités, 3(1), 47 p.+ carte.

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.

Bedouh Y.2014 :Evaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « *Allium cepa*». Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, Algérie, 113 p.

Bellara S et al 1999 :Application de la méthode drastique dans la plaine alluviale Guelma-Boucheougouf-Annaba. Mémoire d'ingénieur, Université d' Annaba- 60 p.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ben Ameer W 2012 :Etude des polluants organohalogénés (Pesticides, PCB et PBDE) dans le mullet (*Mugilcephalus*) et le loup (*Dicentrarchuslabrax*) de la lagune de Bizerte : Niveau de Contamination & Toxicité. Thèse de doctorat en Sciences Biologiques, Université de Carthage. Tunisie. 191p.

Benazzeddine S. A. 2010 :Activité insecticide de cinq huiles essentielles vis-à-vis de *Sitophilusoryzae* (Coleoptera ; Curculionidae) et *Triboliumconfusum* (Coleoptera ; Tenebrionidae).Mémoire d'ingénieur d'Etat en sciences agronomique, Ecole Nationale Supérieure Agronomique EL- Harrach, Alger.120p.

Bendada K., Boulekradeche M. 2011 :Optimisation des conditions de dosage par spectroscopie d'absorption atomique (SAAF et SAAET): Application à la détermination de la pollution et de la bioaccumulation des métaux lourds. Mémoire de master, USTHB Alger. 57p.

Blum A., Barbier J., Chery L., Petelet-Girard E., 2001 :Contribution à la caractérisation des états de reference géochimique des eaux souterraines. Outils et méthodologie. Rapport BRGM/RP-51093-Fr, Orléans, pp 57-68.

Bolton K.A., Evans L.J. 1996 :Capacité d'adsorption du Cd de quelques sols de l'Ontario. *Can. J. SoilSci.*, 76, pp: 183-189.

Bouchet R.J. 1963 :Evapotranspiration réelle et potentielle. significationclimatique. Tnt. Assoc. Sci. Hydrol, Proc. Berkeley, Calif. Symp..Publ. 62: 134 142.

Boukrouh F. (2005) : Etude géologique des dépôts évaporitiques du bassin de Guelma. Mémoire de magister, Univ. Mentouri. Constantine. Algérie.107p.

Bounouira H. 2007 :Etude des Qualités Chimiques et Géochimiques du bassin versant du Bouregreg. Thèse doctorale, Université IBN TOFAIL, Kenitra, 295p.

Boussis A. 2009 :Développement durable: une approche intégrée pour la gestion des ressources en eau dans la wilaya de Guelma. Mémoire de magister ,Université d' Annaba- 60-112p.

Brignon J.M., Malherbe L. 2005 :Cadmium et ses dérivés. INERIS – Données technico-économiques sur les substances chimiques en France, Verneuil en Halatte, 25 p.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Chang H. 2005: *Spatial and Temporal Variation of Water Quality in the Han River and Its Tributaries, Seoul, Korea, 1993–2002.* *Water Air Soil Pollut.*, **161**, 267–284.

Commission européenne, 2009 : Document de référence sur les meilleures techniques disponibles Gestion des résidus et stériles des activités minières, 632p.

Damy P.C. 2011 : Synthèse des connaissances sur l'origine et la disponibilité du cadmium dans les eaux continentales - Synthèse documentaire - Office international de l'eau France 27p.

Davies. C.W. 1962: Ion association, Ed. Butterworths . Washington . 190p.

De Martonne E. 1923 : Aréisme et indice d'aridité .Compte rendus de l'académie des sciences, Paris 182 :1395-1398.

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.

Derwich E. 2008 : Physicochimie, Métaux lourds, Bactériologie et étude des pesticides dans les eaux de surfaces et profondes du Haut Sebou. Thèse 3ème cycle, Université Ibn Toufail, Fac.Sc.Kenitra. Maroc.188p.

Dieye O. 1998 : Etude analytique et toxicologique de pesticides présents dans les effluents liquides d'une usine de formulation: Senchim AG. Thèse de doctorat d'état en sciences pharmaceutiques, Université Cheikh AntaDiob de Dakar Sénégal.198p.

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.

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.

El Morhit M, 2009 : Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences écotoxicologiques sur des différentes composantes d'un écosystème estuarien, Thèse de Doctorat, Université Mohammed V – Agdal, Faculté des sciences, Rabat, 260p.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Elkhatib, E.A., Bennett, O.L., Wright, R.J. 1984:Kinetics of arsenite sorption in soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 48, 758-762.

Erhard C. A., Margat, J. 1979: Introduction à l'économie générale de l'eau. BRGM, Orléans, France.46p.

Eugène A. 2000 :Ecologie des eaux courantes professeur émérite à l'université Paul Sabatier-Toulouse III France. édition TEC & DOC, p. 25-60.

Fatim B., Diallo D. B., Michel G. 2010 :La substitution des solvants par les esters méthyliques d'acides gras d'huiles végétales. Rapport B-079,fr Institut de recherche Robert-Sauvé Montréal (Québec) Canada 60p.

Fritz B. 1975 :Etude thermodynamique et simulation des réactions entre minéraux et Solutions .Application à la géochimie des altérations et des eaux continentales. Mémoire N°41, SciencesGéologiques, Univ. LouisPasteur de Strasbourg. 152p.

Gaud B. 1988 :Etude de la nappe alluviale de la plaine de Guelma, rapport inédit, DMRH, Annaba. 85p.

Gbénonchi M.2008 : Bilan environnemental de l'utilisation de pesticides organochlorés dans les cultures de coton, café et cacao au Togo et recherche d'alternatives par l'évaluation du pouvoir insecticide d'extraits de plantes locales contre le scolyte du café (*Hypothenemushampei*Ferrari). Thèse de doctorat, Université de Toulouse France. 172p.

Ghachi. A. 1982 :Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie: le bassin de la Seybouse. Office des publications universitaires - 508p.

Ghachi A et al. 2004 :Analyse de l'écoulement de surface et ses formes extrêmes dans le bassin versant de la Seybouse (Nord Est Algérien) Colloque International « TERRE et EAU » Annaba, 21, 22 & 23 Novembre 2004 journal algérien des régions arides numéro spécial 2006.12p.

Chaguer M. 2013 :Analyse et Spéciation des Métaux dans un Oued en zone Minière Cas de l'Oued Essouk. Thèse de doctorat es-science en chimie de l'environnement. Université. de Constantine. 130p

Grébil G., NovaK S., Ganier C. P., Schiavon M. 2003 :La dissipation des produits phytosanitaires appliqués au sol. ENSALA INRA. 128p.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Griffin R.A., Shimp N.F. 1978:Attenuation of pollutants in municipal landfill leachate by clay minerals, National Service Center for Environmental Publications (NSCEP). USA. 159p.

Gueddah D. 2003 :Evaluation de la pollution industrielle et urbaine: dans la région de Skikda impact sur l'écosystème marin côtier. Mémoire de magistère, Université d'Annaba. 114 p.

Halimi S. 2008 :Ressources et essai de gestion intégrée des eaux du bassin versant d'oued Cherf / Sedrata (Nord – Est Algérien). Mémoire de magistère, Université d'Annaba ; 102 p.

Hamel W., Allel M., Benkirat A. 2013 :Suivi de l'efficacité du fonctionnement de la station d'épuration de la ville de Guelma (Nord-est Algérien). Mémoire de master, Université 8 mai 45 Guelma.66p.

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-EMAG-esters-methyliques-d.html>.

Ingersoll C.G., MacDonald D.D., Wang N., Crane J.L., Field L.J., Haverland P.S., Kemble N.E., Lindskoog R.A., Severn C. et Smorong D.E. 2000 :Prediction of sediment toxicity using consensus-based freshwater sediment quality guidelines, U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Chicago.24p.

International Cadmium Association'swebsite. 2009 : Cadmium Disponible www.cadmium.org sur Internet : , [consulté le 06/11/2014].

Isman, M.B. 2005:Botanical insecticides, deterrents and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. Annu. Rev. Entomol., N° 51, pp. 45-66.

Issaoui A. 2013 :Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam HammamGrouz de la région de Oued Athmania (wilaya de Mila) par les activités agricoles..Mémoire de magister, Université Mouloud Maammeri Tizi-Ouzou. 171 p.

Jacon. G. 1974 :Débits de base de l'oued Seybouse dans la région de Guelma, rapport inédit, SDRE, Annaba. 22p.

Jamal N. 2011 :Caractérisation hydrologique et qualitative des eaux de surface du bassin versant du haut inaouene. Thèse de Doctorat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Maroc 279p.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Journal Officiel de la République Algérienne (JORA). (1983) :Annexe relative à la protection de l'environnement, n° 6, Février page 250.

Journal Officiel de la République Algérienne (JORA). (1993) :n° 42 Décret n° 93-161 du 10 juillet 1993 réglementant le déversement des huiles et lubrifiants dans le milieu naturel, pp: 08.

Kali S., Benidir M., Belkheir B., Bousbia A. 2011:Eléments d'analyse de la filière lait dans la wilaya de Guelma (Algérie). *Livestock Research for Rural Development* 23(5), 1-10 p.

Kayalto B. 2009 : Contribution à l'évaluation de la contamination par les métaux lourds, de trois espèces de poissons, des sédiments et des eaux du lac Tchad. Mémoire Présenté en vue de l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en Sciences Alimentaires/Nutrition, Université de Ngaoundere Cameroun. 65p.

Khadri S. 2009 : Qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie aval : Impacts des nouveaux facteurs de pollution. Mémoire de magistère, Université d' Annaba . 105p.

Khanchoul K et al .2000 :La ressource en eau de surface dans le bassin de Oued Seybouse (Nord-est de l'Algérie). Article *Mosella* 2000 –tome XXV- N° 3-4 12p.

Landreau A., Mouvet C., Normand B. 2007 :Quelques aspects hydrologiques de transfert de solutés de l'infiltration vers les nappes << nitrates et phytosanitaires >>. *Agriculture et Environnement* << Les produits entraînés par l'eau >>. Colloque d'Hydrotechnique 159^e Session du Comité Scientifique et Technique. Document de la société hydrotechnique de France. 380p.

Louamri A. 2013 :Le bassin-versant de la Seybouse (Algérie orientale): hydrologie et aménagement des eaux. Thèse de doctorat, Université. Constantine. Algérie. 300p.

Madier S. 2007 :De la mesure à la modélisation de transferts de produits phytosanitaires à l'échelle du bassin versant : quantification des incertitudes et définition de stratégies d'échantillonnage. Thèse de doctorat l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement(Agro Paris Tech). 506p.

Mansouri Z. 2009 :Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant de l'oued Bouhamdane (Nord-Est Algérien). Mémoire de magistère. Université d'Annaba . 125 p.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

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.

Matías M., Salvarredy A. 2008 :Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique, pp 25-30.

McLean, J.E., Bledsoe, B.E. 1992 :Behaviour of metals in soils. Ground water issue.EPA/540/S-92/018.

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.

Melghit M. 2009 :Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau / Sédiments de l'Oued Rhumel,et des barrages Hammam Grouz et Beni Haroun. Mémoire de magistère, Université de Constantine. 132 p.

Meybeck M., de Marsily G.,Fustec E. (1998) :La Seine en son bassin. Fonctionnement écologique d'un système fluvial anthropisé. Elsevier.22p.

Mouassa S. 2006 :Impact du périmètre d'irrigation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe alluviale de Guelma, et sur les sols..Mémoire de magistère, Université d'Annaba. 158 p.

Mouvet C., Baran N. 2005 :Contamination des eaux souterraines par les produits phytosanitaires: mécanismes impliqués et concentration observées. 325p.

Mrad D., Dairi S., Djebbar Y. 2013:Impact of climatic variability on the water resources in the catchment Seybouse, Seventeenth International Water Technology Conference, IWTC17.

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.

Oscarson D.W., Huang P.M., Hammer U.T. 1983:Oxidation and sorption of arsenite by manganese dioxide as influenced by surface coatings of iron and aluminium oxides and calcium carbonate. Water, Air, SoilPollut., 20, 233-244.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Pierce M.L., Moore C.B. 1980 :Adsorption of arsenite on amorphous iron hydroxyde from dilute aqueous solution. Environ. Sci. Technol., 14, 214-216.

Rahila F M, 2011 : Diagnostic des effluents d'une unité de production cas GL2/Z. Mémoire de magister, Université d'Oran. 156p.

Ramaroson J. 2008 :Calcination des Sédiments de Dragage Contaminés. Etudes des Propriétés Physicochimiques, Thèse de Doctorat, Institut des Sciences Appliquées de Lyon. 181p.

Rodier J. 2008 :Analyse de l'eau naturelle, des eaux résiduaires et des eaux de mer, 8ème édition DUNOD. Paris. 1578p.

Rodier J. 1996 :Analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires et de mer. Ed, DUNOD.1996. Paris. 1383p.

Rouidi S. 2014 :Evaluation de la contamination par les hydrocarbures des sédiments superficiels (fluviaux et marins) de la région de Skikda (nord-est algérien). Analyse statistiques. Thèse de doctorat en Sciences Biologiques, Université d'Annaba. 146p.

Sánchez L., Petkov n., Alegre E. 2006:Statistical approach to boar semen evaluation using intracellular intensity distribution of head images Cellular and Molecular Biology TM 52, N°6, 38-43p.

Savadogo P W et al. 2006:Variation de la teneur en résidus de pesticides dans les sols de la zone cotonnière du Burkina Faso article publié dans le journal (journal africain des sciences de l'environnement)29-39 p.

Shaaya E., Kostjukovski M., Eilberg J., Sukprakarn C. 1997 :Plant oils as fumigants and contact insecticides for control of stored product insects, Journal Stored Product Research.N° 33, pp 7-15.

Sogreah . 1989 : Etude générale des aires d'irrigations de la wilaya de Guelma, 182p.

Sogreah. 2007 :Bilan des flux de contaminants entrant sur les sols agricoles de France métropolitaine. Bilan qualitatif de la contamination par les éléments tracés métalliques et les composés tracés organiques et application quantitative pour les éléments tracés métalliques- Rapport final. ADEME. Angers. 330 p.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Talbi H. 2008 : Niveau de contamination par les métaux lourds dans les oueds Meboudja et Seybouse Annaba (Algérie). Mémoire de magister, Université d' Annaba. 126p.

Vila J.M. 1980 :La chaine alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse de doctorat ès-Sciences, Univ, Pière et Marie Curie. Paris VI, France pp (58-72).

Woolson E.A. 1977:Fate of arsenicals in different environmental substrate. Environ. Health Perpect., 19, 73- 81.

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.

Annexes

Annexe 1 : Valeurs brutes de la première campagne d'échantillonnage en date du 17/04/2010

Code su site	Nom du site	Coordonnées GPS	précisions	Altitudes en m	NTU	O ₂ en mg/l	O ₂ en %	PH	Salinité ‰	Conductivité en µs/cm	Température en °C	EH	NO ₂ ⁻ en mg/l	NO ₃ ⁻ en mg/l	NH ₄ ⁺ en mg/l
S1	Qued Cherf	N 36 26592 E 7 18665	4.6	238.8	8.89	5.2	47.1	7.95	0.5	1475	18	-71	0.071	2.39	0.044
S2	Qued Bouhamdane	N 36 26595 E 7 18618	4.6	239.6	5.51	4.75	45.5	7.87	0.1	760	17.7	-65	0.037	0.88	0.067
S3	O,Seyb. (Bentabouche)	N 36 27906 E 7 20409	4.6	225.5	13.78	4.46	41.2	7.7	0.3	973	19	-58	0.007	1.43	0.05
S4	O,Seyb. (Pont Heliopolis)	N 36 29131 E 7 26279	4	185.3	36.4	3.8	34.9	7.8	0.3	1065	23.4	-63	0.07	2.72	0.02
S5	Qued Sekhoune	N 36 29090 E 7 26297	4.3	186.6	11.43	4.9	44.7	7.8	0.1	745	23.3	-64	0	1.5	0.023
S6	Qued Bradaa	N 36 29376 E 7 26483	4.8	197.8	15.19	3.38	33.1	7.56	0.2	938	21.7	-49	0.18	0.92	4.92
S7	Qued El Maiz	N 36 27876 E 7 28073	5.7	204	13.53	0.42	3.9	7.25	0.4	1267	19.3	-32	0.02	6.63	0.95
S8	Qued Zimba	N 36 27897 E 7 29254	3.8	203	9.28	1.93	18.9	7.39	0.4	1160	19.9	-47	0.007	0	6.71
S9	O,Seyb. (Boumahra)	N 36 28113 E 7 32064	4	159.5	14.19	4.6	43.8	7.48	0.3	1120	19.4	-45	0.041	1.47	2.96
S10	Qued Boussora	N 36 27427 E 7 31498	4.4	168.8	243	4.71	47.1	8.3	0.3	1075	19.4	-90	0.35	4.43	1.62
S11	Qued Hella	N 36 24759 E 7 36690	4.7	136.6	390	4.77	44.2	8.08	0.2	852	19.7	-79	0.144	2.92	3.99
S12	O,Seyb. (Nador)	N 36 25017 E 7 37485	5.1	119.2	107	4.39	40.7	7.88	7.88	1162	19.9	-66	0.028	2.46	0.294

Annexe 1 : Valeurs brutes de la première campagne d'échantillonnage en date du 17/04/2010

Code su site	SO ₄ ⁻ en mg/l	Fe ²⁺ en mg/l	HCO ₃ en mg/l	TAC °F	TA	Ca ²⁺ en mg/l	Mg ²⁺ en mg/l	Na ²⁺ en mg/l	K ⁺ en mg/l	Cl ⁻ en mg/l	M O en mg/l	MES en mg/l	DBO ₅ en mg/l	DCO en mg/l	OPO ₄ en mg/l
S1	215.55	0.19	172.02	14.1	00.00	93.29	25.4	25.4	180	213	2.8	127.5	05.07	28.80	00.15
S2	137.63	0.11	147.62	12.1	00.00	66.64	19.28	19.28	90	85.2	4.8	34	04.86	19.20	00.01
S3	159.75	0.24	159.82	13.1	00.00	78.4	23.52	23.52	125	127.8	7.5	274.5	20.33	143.36	00.15
S4	177.94	0.21	189.1	15.5	00.00	90.16	28.22	28.22	150	142	5.2	173.5	27.00	48.00	00.03
S5	66.08	0.1	248.88	20.4	00.00	72.12	22.1	22.1	68	42.6	0.1	24	11.00	19.90	00.06
S6	95.12	0.1	295.24	24.2	00.00	94.86	23.52	23.52	101	71	5.2	125.5	13.58	38.40	00.20
S7	143.11	0.37	361.12	29.6	00.00	112.11	8.46	8.46	164	142	9	144.5	129.00	171.00	00.45
S8	105.43	0.27	292.8	24	00.00	109.76	23.52	23.52	122	142	9.3	132.5	20.00	48.00	00.19
S9	164.1	0.08	212.28	17.4	00.00	92.51	25.4	25.4	115	142	5.2	43.5	09.35	24.00	00.18
S10	193.07	0.11	172.02	14.1	00.00	65.85	41.86	41.86	117	99.4	2.6	41.15	136.40	155.00	00.08
S11	242.79	> 1	217.16	17.8	00.00	88.59	25.87	25.87	118	56.8	6.2	42.35	91.00	480.00	08.25
S12	185.97	> 1	204.96	16.8	00.00	82.32	33.39	33.39	136	142	5.9	987	98.80	124.80	00.38

Annexe 2: Valeurs brutes de la deuxième campagne d'échantillonnage en date du 09/08/2010

Code su site	Nom du site	Coordonnées GPS	précisions	Altitudes en m	NTU	O ₂ en mg/l	O ₂ en %	PH	Salinité ‰	Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$	Température en °C	EH	NO ₂ ⁻ en mg/l	NO ₃ ⁻ en mg/l	NH ₄ ⁺ en mg/l
S1	Oued Cherf	N 36 26592 E 7 18665	04.60	238.80	49.3	04.00	55	7.28	1.5	303	21	-37	0.024	4.63	0.216
S2	Oued Bouhamdane	N 36 26595 E 7 18618	04.60	239.60	48.70	06.00	65.8	7.3	0.1	698	14.5	-50	0.027	3.02	0.094
S3	O,Seyb. (Bentabouche)	N 36 27906 E 7 20409	04.60	225.50	43.90	05.30	58.5	7.8	0.2	805	15.5	-62	0.024	3.38	0.045
S4	O,Seyb. (Pont Heliopolis)	N 36 29131 E 7 26279	04.00	185.30	97.60	03.80	45	7.53	0.2	863	18.8	-55	0.035	3.62	0.0235
S5	Oued Sekhoune	N 36 29090 E 7 26297	04.30	186.60	31.10	03.50	44	7.51	0.2	850	22	-76	0.008	4.651	0.012
S6	Oued Bradaa	N 36 29376 E 7 26483	04.80	197.80	34.90	01.20	15.1	7.61	0.3	1075	22.5	-54	0.046	5.7	6.65
S7	Oued El Maiz	N 36 27876 E 7 28073	05.70	204.00	72.60	00.76	9.1	7.6	0.7	1742	25	-53	0.48	0.53	0.287
S8	Oued Zimba	N 36 27897 E 7 29254	03.80	203.00	42.10	01.01	14	7.3	0.5	1394	25	-30	0.016	0	34.55
S9	O,Seyb. (Boumahra)	N 36 28113 E 7 32064	04.00	159.50	23.50	02.41	30	7.1	0.3	1048	23.5	-26	0.056	0.7	0.053
S10	Oued Boussora	N 36 27427 E 7 31498	04.40	168.80	41.30	03.35	43	7.9	0.6	1523	26.7	-70	0.096	6.84	0.429
S11	Oued Hella	N 36 24759 E 7 36690	04.70	136.60	20.10	03.90	52.5	8.02	0.5	1435	26.3	-79	0.018	4.37	0.032
S12	O,Seyb. (Nador)	N 36 25017 E 7 37485	05.10	119.20	25.10	03.08	42.2	7.8	0.3	1408	29	-66	0.036	6.46	0.08

Annexe 2: Valeurs brutes de la deuxième campagne d'échantillonnage en date du 09/08/2010

Code su site	SO ₄ ⁻ en mg/l	Fe ²⁺ en mg/l	HCO ₃ en mg/l	TAC °F	TA	Ca ²⁺ en mg/l	Mg ²⁺ en mg/l	Na ²⁺ en mg/l	k ⁺ en mg/l	Cl ⁻ en mg/l	M O en mg/l	MES en mg/l	DBO ₅ en mg/l	DCO en mg/l	OPO ₄ en mg/l
S1	111.37	0.34	137.86	11.3	00.00	152.09	42.33	42.33	80	596.4	3.3	339	13.05	20.00	00.12
S2	65.16	0.03	108.58	8.9	00.00	50.96	12.23	17.23	94	85.2	0.5	150	24.10	35.80	00.62
S3	243.1	0.13	115.9	9.5	00.00	68.2	23.99	23.99	106	113.6	0	250	25.90	36.40	00.10
S4	516.9	0.12	134.2	11	00.00	71.34	23.04	23.04	102	127.1	2.9	42	02.00	27.36	00.00
S5	125.905	0.03	172.02	14.1	00.00	70.56	27.28	27.28	101	71	0.6	119	03.95	33.60	00.75
S6	65.09	0.17	220.82	18.1	00.00	72.91	16.46	16.46	182	56.8	3.3	217	07.01	44.00	00.05
S7	69.41	0.93	469.7	38.5	00.00	94.86	25.4	25.4	245	21.3	8.9	3642	304.90	959.00	01.40
S8	120.96	0.55	356.24	29.2	00.00	144.46	30.1	30.1	145	184.6	7.1	204	11.57	301.00	00.45
S9	625.75	0.1	165.92	13.6	00.00	76.83	25.4	25.4	187	99.4	2.9	23.5	05.80	08.88	00.00
S10	193.27	0.13	156.16	12.8	00.00	90.16	43.74	43.74	236	127.8	3.1	1.5	05.96	08.75	00.00
S11	750.8	0.2	162.26	13.3	00.00	138.76	52.21	52.21	134	127.8	0.8	112	19.00	39.10	00.00
S12	59.46	0.2	159.82	13.1	00.00	78.4	29.63	29.63	228	1434.2	2.2	75	13.00	53.00	00.01

Annexe 3: Valeurs brutes de la troisième campagne d'échantillonnage en date du 15/01/2011

Code su site	Nom du site	Coordonnées GPS	précisions	Altitudes en m	NTU	O ₂ en mg/l	O ₂ en %	PH	Salinité ‰	Conductivité en µs/cm	Température en °C	EH	NO ₂ ⁻ en mg/l	NO ₃ ⁻ en mg/l	NH ₄ ⁺ en mg/l
S1	Qued Cherf	N 36 26592 E 7 18665	04.60	238.80	29.1	05.40	55	7.5	0.6	1641	11	-43	0.093	12.91	0.058
S2	Qued Bouhamdane	N 36 26595 E 7 18618	04.60	239.60	27.11	04.03	45	7.1	0.7	1540	14	-33	0.129	0	0.231
S3	O,Seyb. (Bentabouche)	N 36 27906 E 7 20409	04.60	225.50	28.84	05.50	54.5	7.4	0.6	1290	13	-42	0.088	19.77	0.368
S4	O,Seyb. (Pont Heliopolis)	N 36 29131 E 7 26279	04.00	185.30	67	04.85	53.3	6.6	0.6	1300	14	-43	0.109	15.99	0.289
S5	Qued Sekhounne	N 36 29090 E 7 26297	04.30	186.60	21.27	02.37	30.3	7.3		1652	15	-52	0.012	12.28	0.35
S6	Qued Bradaa	N 36 29376 E 7 26483	04.80	197.80	25.05	02.37	27	6.7	0.2	810	16	-45	0.36	4.06	0.571
S7	Qued El Maiz	N 36 27876 E 7 28073	05.70	204.00	43.07	03.94	43.6	6.7		1723	17.6	-48	>0,2	48.42	0.824
S8	Qued Zimba	N 36 27897 E 7 29254	03.80	203.00	25.69	03.35	35	6.9	0.4	1130	16	-42	1.66	0	0.959
S9	O,Seyb. (Boumahra)	N 36 28113 E 7 32064	04.00	159.50	18.85	03.40	35	6.4	0.7	1440	17	-48	0.55	0	0.326
S10	Qued Boussora	N 36 27427 E 7 31498	04.40	168.80	142.2	04.60	50	7.1	0.5	1200	14	-42	0.145	13.64	0.602
S11	Qued Heilia	N 36 24759 E 7 36690	04.70	136.60	205.1	03.80	43	6.3	0.3	990	16	-46	0.035	0	0.08
S12	O,Seyb. (Nador)	N 36 25017 E 7 37485	05.10	119.20	66.05	04.12	47	6.7	0.6	1330	17	-28	0.195	4.74	0.568

Annexe 3: Valeurs brutes de la troisième campagne d'échantillonnage en date du 15/01/2011

Code su site	SO ₄ ⁻ en mg/l	Fe ²⁺ en mg/l	HCO ₃ en mg/l	TAC °F	TA	Ca ²⁺ en mg/l	Mg ²⁺ en mg/l	Na ²⁺ en mg/l	k ⁺ en mg/l	Cl ⁻ en mg/l	MO en mg/l	MES en mg/l	DBO ₅ en mg/l	DCO en mg/l	OPO ₄ en mg/l
S1	162.9	0.05	103.7	8.5	00.00	124.65	37.63	37.63	181	213	6.7	25	05.40	27.36	00.00
S2	167.4	0.46	120.78	9.9	00.00	134.84	33.39	33.39	167	213	6.7	52	20.78	54.72	00.00
S3	150.1	0.21	120.78	9.9	00.00	113.68	36.69	36.69	162	213	0	95	16.20	18.24	00.00
S4	199.25	0.08	159.82	13.1	00.00	127	37.63	37.63	168	213	5.4	45	01.99	09.12	00.00
S5	100.75	> 1	145.18	11.9	00.00	120.73	36.22	36.22	228		8.5	60.1	36.48	72.96	00.10
S6	197.75	0.18	224.48	18.4	00.00	98.78	23.99	23.99	155	56.8	5.4	10	05.70	63.80	00.02
S7	223.35	0.51	159.82	13.1	00.00	130.14	19.75	19.75	206		10.5	20	334.28	702.00	00.00
S8	142.1	0.43	236.68	19.4	00.00	114.46	28.22	28.22	147	156.2	9.4	116	12.97	291.80	00.02
S9	220.36	0.2	261.08	21.4	00.00	128.57	53.62	53.62	152	156.2	7.2	13	10.97	100.00	00.10
S10	172.79	0.07	143.96	11.8	00.00	114.46	40.92	40.92	158	127.8	8.8	420	04.21	27.36	00.04
S11	245.38	0.11	97.6	8	00.00	119.16	52.21	52.21	143	85.2	9	48	25.53	27.36	00.01
S12	221.35	0.05	152.5	12.5	00.00	130.92	37.63	37.63	107	170.4	8.7	34	22.50	54.12	00.00

Annexe 4: Valeurs brutes de la quatrième campagne dechantillonnage en date du 23/04/2011

Code su site	Nom du site	Coordonnées GPS	précisions	Altitudes en m	NTU	O ₂ en mg/l	O ₂ en %	PH	Salinité %	Conductivité en μS	Température en °C	EH	NO ₂ ⁻ en mg/l	NO ₃ ⁻ en mg/l	NH ₄ ⁺ en mg/l
S1	Qued Cherf	N 36 26592 E 7 18665	04.60	238.80	39.2	05.50		7.8	0.8	1422	18	-53	0.029	3.167	0.429
S2	Qued Bouhamdane	N 36 26595 E 7 18618	04.60	239.60	37.9	03.90		7.8	0.4	783	16.5	-56	0.032	1.149	0.184
S3	O,Seyb. (Bentabouche)	N 36 27906 E 7 20409	04.60	225.50	36.37	04.50		7.6	0.6	1700	17.8	-57	0.173	2.585	0.333
S4	O,Seyb. (Pont Heliopolis)	N 36 29131 E 7 26279	04.00	185.30	82.3	03.80		8	0.9	1790	20	-47	0.088	3.17	0.555
S5	Qued Sekhounne	N 36 29090 E 7 26297	04.30	186.60	26.18	04.10		7.7	1.2	1999	20	-55	>0,2	0.233	0.13
S6	Qued Bradaa	N 36 29376 E 7 26483	04.80	197.80	29.97	03.20		7.7	0.6	1170	19	-57	0.09	4.874	0.334
S7	Qued El Maiz	N 36 27876 E 7 28073	05.70	204.00	57.83	03.50		7.5	1.2	1830	20	-72	>0,2		0.317
S8	Qued Zimba	N 36 27897 E 7 29254	03.80	203.00	33.9	02.50		7.68	0.4	1260	22.5	-80	0.05	1.376	0.393
S9	O,Seyb. (Boumahra)	N 36 28113 E 7 32064	04.00	159.50	21.17	02.10		7.56	0.6	1650	20.4	-49	0.085	1.531	>0,8
S10	Qued Boussora	N 36 27427 E 7 31498	04.40	168.80	91.73	02.69		7.99	0.6	1622	20.8	-74	0.063	2.112	>0,8
S11	Qued Heilia	N 36 24759 E 7 36690	04.70	136.60	112.6	02.48		8.05	0.5	1380	22.7	-9	0.033	2.553	0.168
S12	O,Seyb. (Nadhor)	N 36 25017 E 7 37485	05.10	119.20	45.58	02.29		7.84	0.7	1990	21.6	-69	0.09	2.356	0.793

Annexe 4: Valeurs brutes de la quatrième campagne d'échantillonnage en date du 23/04/2011

Code su site	SO ₄ ⁻ en mg/l	Fe ²⁺ en mg/l	HCO ₃ en mg/l	TAC °F	TA	Ca ²⁺ en mg/l	Mg ²⁺ en mg/l	Na ²⁺ en mg/l	k ⁺ en mg/l	Cl ⁻ en mg/l	M O en mg/l	MES en mg/l	DBO ₅ en mg/l	DCO en mg/l	OPO ₄ en mg/l
S1	264.39	0.11	296.46	24.3	00.00	117.6	33.86	33.86	226	213	8.8	2316	19.40	38.40	00.12
S2	239.38	0	161.04	13.2	00.00	74.48	15.05	15.05	150	85.2	5.6	71	30.40	76.80	00.01
S3	156.88	0.05	200.08	16.4	00.00	90.94	25.87	25.87	199	142	9.1	30.7	70.00	139.20	00.02
S4	141.95	0.03	186.66	15.3	00.00	100.35	22.57	22.57	198	156.2	8.7	149	08.90	19.20	00.00
S5	140.05	0.59	528.26	43.3	00.00	108.97	19.28	19.28	300	156.2	11.6	138	278.20	556.50	00.35
S6	128.29	0.01	300.12	24.6	00.00	72.12	15.05	15.05	236	42.6	8.4	143	40.50	86.40	00.00
S7	94.46	0.28	286.7	23.5	00.00	111.32	23.04	23.04	222	127.8	8.5	38	110.00	355.20	00.11
S8	120.07	0.01	215.94	17.7	00.00	68.99	16.93	16.93	221	71	8.1	192	104.00	240.00	00.03
S9	132.56	0.17	192.76	15.8	00.00	80.75	33.39	33.39	217	113.6	9.1	172	38.04	96.80	
S10	275.05	0.15	279.38	22.9	00.00	97.21	35.75	35.75	202	71	4.7	3908	55.00	132.00	
S11	274.05	1.9	230.58	18.9	00.00	90.16	9.4	9.4	205	42.6	10.5	1645	74.80	149.60	
S12	269.32	0.44	233.02	19.1	00.00	119.95	29.16	29.16	201	156.2	5.4	339	79.20	158.40	

Annexe 5: Valeurs brutes de la cinquième campagne d'échantillonnage en date du 20/11/2013

Code su site	Nom du site	Coordonnées GPS	précisions	Altitudes en m	conductivité en $\mu\text{s/cm}$	PH	O2 en mg/l	NTU	TDS en mg/l	Température en $^{\circ}\text{C}$	NO2 mg/l	OPO4 en mg/l	NH4 en mg/l	Huiles et graisses totales en mg/l
S1	Oued Cherf	N 36 26592 E 7 18665	04.60	238.80	1848	7.3	0.08	49.3	1410	18	0.198	0.2763	0.247	0.6
S2	Oued Bouhamdane	N 36 26595 E 7 18618	04.60	239.60	1060	8.3	0.07	48.7	380	17.7	0.858	0.2149	1.118	0.7
S3	O,Seyb. (Bentabouche)	N 36 27906 E 7 20409	04.60	225.50	1455	7.2	0.12	43.9	270	19	0.33	0.7368	0.247	0.7
S4	O,Seyb. (Pont Heliopolis)	N 36 29131 E 7 26279	04.00	185.30	1035	7.47	0.35	31.1	340	23.4	0.198	0.6447	0.624	0.6
S5	Oued Sekhounne	N 36 29090 E 7 26297	04.30	186.60	9214	7.3	0.3	97.6	760	23.3	0.429	6.5391	4.459	0.7
S6	Oued Bradaa	N 36 29376 E 7 26483	04.80	197.80	730	7.8	0.18	34.9	460	21.7	1.584	3.3463	3.328	0.4
S7	Oued El Maiz	N 36 27876 E 7 28073	05.70	204.00	1090	7.55	0.67	72.6	890	19.3	0.957	1.6578	1.521	0.6
S8	Oued Zimba	N 36 27897 E 7 29254	03.80	203.00	932	7.6	0.93	42.1	660	19.9	1.485	0.5219	2.912	0.7
S9	O,Seyb. (Boumahra)	N 36 28113 E 7 32064	04.00	159.50	1620	7.2	1.15	23.5	470	19.4	1.782	0.3991	1.976	0.8
S10	Oued Boussora	N 36 27427 E 7 31498	04.40	168.80	1392	7.6	1.92	41.3	690	19.4	0.792	0.5219	0.403	0.6
S11	Oued Helia	N 36 24759 E 7 36690	04.70	136.60	1071	7.69	1.6	20.1	670	19.7	0.231	0.4605	0.26	0.4
S12	O,Seyb. (Nador)	N 36 25017 E 7 37485	05.10	119.20	1334	8.13	1.61	25.1	520	19.9	1.155	0.3684	1.248	0.4

Annexe 6: Valeurs des métaux lourds en mg/l enregistrées pendant la cinquième campagne d'échantillonnage en date du 20/11/2013

Code su site	Nom du site	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
S1	Qued Cherf	0,02	0,024	≤0,004	0,036	0,15	0,039	≤0,004	0,012	0,032	0,025
S2	Qued Bouhamdane	0,02	0,108	≤0,004	0,036	0,155	0,048	≤0,004	0,009	0,045	0,029
S3	O,Seyb. (Bentabouche)	0,013	0,059	≤0,004	0,036	0,153	0,044	≤0,004	0,011	0,057	0,024
S4	O,Seyb. (Pont Heliopolis)	0,014	0,034	≤0,004	0,036	0,16	0,04	≤0,004	0,01	0,05	0,024
S5	Qued Sekhoune	0,011	0,064	≤0,004	0,036	0,196	0,06	0,07	0,008	0,036	0,035
S6	Qued Bradaa	0,012	0,046	0,021	0,037	0,185	0,047	0,006	0,008	0,037	0,025
S7	Qued El Maiz	0,017	0,07	≤0,004	0,036	0,184	0,052	0,008	0,043	0,046	0,025
S8	Qued Zimba	0,018	0,03	≤0,004	0,036	0,177	0,037	0,002	0,013	0,054	0,024
S9	O,Seyb. (Boumahra)	0,027	0,045	0,005	0,035	0,165	0,172	0,052	0,041	0,037	0,024
S10	Qued Boussora	0,016	0,022	≤0,004	0,035	0,178	0,058	≤0,004	0,015	0,047	0,024
S11	Qued Helia	0,022	0,025	≤0,004	0,035	0,166	0,045	≤0,004	0,008	0,033	0,023
S12	O,Seyb. (Nadhor)	0,012	0,037	≤0,004	0,036	0,149	0,062	≤0,004	0,01	0,061	0,052

Annexe 6: Valeurs brutes de la sixième campagne d'échantillonnage en date du 15/09/2014

Code su site	Nom du site	Coordonnées GPS	précisions	Altitudes en m	conductivité en $\mu\text{s/cm}$	PH	O2 en mg/l	NTU	TDS en mg/l	Température en $^{\circ}\text{C}$	NO2 mg/l	OPO4 en mg/l	NH4 en mg/l	Huiles et graisses totales en mg/l
S1	Oued Cherf	N 36 26592 E 7 18665	04.60	238.80	1134	8.27	5.4	8.89	567	21.12	0.396	0.4912	0.195	0.2
S2	Oued Bouhamdane	N 36 26595 E 7 18618	04.60	239.60	811	8.04	4.03	5.51	405	16.54	0.264	0.4605	0.234	0.3
S3	O,Seyb. (Bentabouche)	N 36 27906 E 7 20409	04.60	225.50	830	8.3	5.5	13.78	415	19.34	0.297	0.7061	1.183	0.3
S4	O,Seyb. (Pont Heliopolis)	N 36 29131 E 7 26279	04.00	185.30	871	7.94	4.85	36.4	435	20.79	0.231	0.3684	0.923	0.5
S5	Oued Sekhouna	N 36 29090 E 7 26297	04.30	186.60	1429	7.87	3.15	11.43	715	20.71	0.231	0.3684	0.39	0.2
S6	Oued Bradaa	N 36 29376 E 7 26483	04.80	197.80	928	8.17	2.37	15.19	464	23.49	0.495	6.9689	3.289	1
S7	Oued El Maiz	N 36 27876 E 7 28073	05.70	204.00	1200	8.26	2.11	13.53	600	20.69	1.683	1.7499	2.691	0
S8	Oued Zimba	N 36 27897 E 7 29254	03.80	203.00	1122	8.1	3.35	9.28	561	22.37	1.914	2.149	2.431	0.4
S9	O,Seyb. (Boumahra)	N 36 28113 E 7 32064	04.00	159.50	971	7.77	3.4	14.19	485	21.44	0.198	1.1973	1.43	0.9
S10	Oued Boussora	N 36 27427 E 7 31498	04.40	168.80	1451	8.69	4.6	243	725	23.98	0.528	1.7192	0.52	0.5
S11	Oued Helia	N 36 24759 E 7 36690	04.70	136.60	Période sèche (absence d'eau)									
S12	O,Seyb. (Nador)	N 36 25017 E 7 37485	05.10	119.20	914	8.46	4.12	107	457	21.93	0.528	0.8289	0.611	0.2

Annexe 7 : Substance chimiques détectées par analyse chromatographique au niveau des sites échantillonnés

Composés détectés par chromatographie en S1	Teps de rétention(min)	Formule	N° de CAS	Poids molculaire
METHYLENE CHLORIDE	13.009	CH2Cl2	75-09-2	84
BICYCLO(2 2 1)HEPTANE, 2CHLORO	34.587	C7H11Cl	29342-53-8	130
BENZENE,1-METHYL-2-(1-METHYLETHYL)-	35.762	C10H14	527-84-4	134
3-CYCLOHEXEN-1-OL,4-METHYL-1-(1-METHYLETHYL)-	50.303	C10H18O	562-74-3	154
BICYCLO(3 1 0)HEXAN-2-ONE, 5-(1-METHYLETHYL)-	57.301	C9H14O	513-20-2	138
1-CYCLOHEXENE-1-CARBOXALDEHYDE,4-(1-METHYLETHYL)-	61.638	C10H16O	21 391-98-0	152
Composés détectés chromatographie en S2	Teps de rétention(min)	Formule	N° de CAS	Poids molculaire
PENTADECANOID ACID, 14-METHYL-,METHYL ESTER	58.287	C17H34O2	5129-60-2	270
13,16-OCTADECADYNOIC ACID, METHYL ESTER	64.004	C19H30O2	56846-98-1	290
2,6,10-DODECATRIEN-1-OL,3,7,11-TRIMETHYL	66.200	C15H26O	4606-84-0	222
Composés détectés par chromatographie en S3	Teps de rétention(min)	Formule	N° de CAS	Poids molculaire
1,8-NONADIEN-3-OL	39.624	C9H16O	159010-02-3	140
7-HEXADECENOIC ACID, METHYLESTER,(Z)-	61.653	C17H32O2	56875-67-3	268
6-NONENOIC ACID, METHYL ESTER	65.824	C10H18O2	20731-21-9	170
HEXADECANOIC ACID, 15 METHYL-, METHYLESTER	68.400	C18H32O2	6929-04-0	284
PENTADECANOID ACID, 14-METHYL-,METHYL ESTER	71.166	C17H34O2	5129-60-2	270
Composés détectés chromatographie en S4	Teps de rétention(min)	Formule	N° de CAS	Poids molculaire
13,16-OCTADECADYNOIC ACID, METHYL ESTER	60.103	C19H30O2	56846-98-1	290
METHYL TETRADECANOATE	56.546	C15H30O2	124-10-7	242
(7A-ISOPROPENYL-4,5-DIMETHYLOCTAHYDROINDEN-4-YL)METHANOL	63.419	C15H26O	900187-02-9	222
7-NONENOIC ACID.METHYLESTER	65.875	C10H18O2	20731-22-0	170

Annexe 7 : Substance chimiques détectées par analyse chromatographique au niveau des sites échantillonnés

Composés détectés chromatographie en S5	Teps de rétention(min)	Formule	N° de CAS	Poids molculaire
METHYLENE CHLORIDE	13.009	CH2Cl2	75-09-2	84
DOCOSANOIC ACID, METHYLESTER	57.006	C23H46O2	929-77-1	354
12,15-OCTADECADYNOIC ACID, METHYL ESTER	68.461	C19H34O2	57156-97-5	294
Composés détectés chromatographie en S6	Teps de rétention(min)	Formule	N° de CAS	Poids molculaire
9,12-OCTADECADIENOYL CHLORIDE,(Z,Z)	65.009	C18H31OCl	7459-33-8	298
PENTADECANOID ACID, 14-METHYL-,METHYL ESTER	71.166	C17H34O2	5129-60-2	270
Composés détectés chromatographie en S7	Teps de rétention(min)	Formule	N° de CAS	Poids molculaire
METHYLENE CHLORIDE	13.009	CH2Cl2	75-09-2	84
TRIDECANOIC ACID, METHYLESTER	39.109	C14H28O2	1731-88-0	228
CIS-Z-,ALPHA,BIZABOLENEEPOXIDE	53.18	C15H24O	900131-71-2	220
9,12-OCTADECADIENOYL CHLORIDE,(Z,Z)	67.66	C18H31OCl	7459-33-8	298
Composés détectés chromatographie en S8	Teps de rétention(min)	Formule	N° de CAS	Poids molculaire
11,14-EICOSADIENOIC ACID METHYL ESTER	71.917	C21H38O2	07-02-2463	322
Composés détectés chromatographie en S9	Teps de rétention(min)	Formule	N° de CAS	Poids molculaire
1,3,6-OCTATRIENE, 3,7-DIMETHYL-,(E)-ALPHA.-PINENE	54.810	C10H16	80-56-8	
4-CHLORO-BENZENESULFONAMIDE		C6H6ClNO2S	98-64-6	191.635
Composés détectés chromatographie en S10	Teps de rétention(min)	Formule	N° de CAS	Poids molculaire
9,12-OCTADECADIENOYL CHLORIDE,(Z,Z)	40.349	C18H31OCl	7459-33-8	298
7-HEXADECENOIC ACID, METHYLESTER,(Z)-	65.93	C17H32O2	56875-67-3	268

Annexe 7 : Substance chimiques détectées par analyse chromatographique au niveau des sites échantillonés

Composés détectés chromatographie en S11	Teps de rétention(min)	Formule	N° de CAS	Poids moléculaire
9,12-OCTADECADIENYL CHLORIDE,(Z,Z)	40.35	C18H31OCl	7459-33-8	298
TRIDECANOIC ACID, METHYLESTER	57.532	C14H28O2	1731-88-0	228
PENTADECANOID ACID, 14-METHYL-,METHYL ESTER	70.982	C17H34O2	5129-60-2	270
Composés détectés chromatographie en S12	Teps de rétention(min)	Formule	N° de CAS	Poids moléculaire
13,16-OCTADECADYNOIC ACID, METHYL ESTER	40.43	C19H30O2	56846-98-1	290
9,12-OCTANOIC ACID METHYLESTER	42.53	C19H34O2	2462-80-8	266
NONANOIC ACID, 9-PHENYL-,METHYLESTER	57.922	C16H24O2	24197-55-5	249
TETRADECANOIC ACID METHYLESTER	65.384	C15H26O2	56909-03-6	238
PENTADECANOID ACID, 14-METHYL-,METHYL ESTER	70.902	C17H34O2	5129-60-2	270

Annexe 8: Nom commercial de pesticides et substances actives utilisés par type de culture dans le bassin de Guelma (DSA, 2014)

Type de culture	Nom commercial du Fongicide utilisé	Matière active
-Pomme de terre -Tomate	Aliette Flash	Fosetyl Alimum
	Bayfidan	Triadimenol
	Bellis WG	Boscalid+Pyraclostroabine
	Bravo	Chlorotharlonil
	Cupertir super	Sulfate tetracuire+tricalcique+cymoscanil
	Cuprosate C	Cymoscanil+Cuivre
	Cuprosate M	Cymoscanil+Marcozebe
	Curzate R	Cymoscanil+Cuivre
	Curtrine	Cymoscanil+Marcozebe
	Filex	Propanoscarbe hydrochlorure
	Folrette	Fosethyl Albimne
	Infinito	Propanacurbe+Fluopicalide
	Maneo C	Mancozebe +cymoscanyl
	Melodycopact	Iprovalicarbe Methyl
	Melody-duce	Propube+Iprovalicarbe
	Methyl thiophanate	Thiophanate Methyl
	Ortiva	Azastrobine
	Polyrame	Métirane Zinc
	Priori opti	Azoxy strobine+chlorathenyle
	Revus	Mandipropanid
	Ridomyl Grald	Metalexyle
	Vacomyl MZ	Maucozebe +Metalxyle
Veretra Flash	Renamedone + Fosetyl Al	
-Céréales	Amista Extra	Azoxystrobine+ cypueconazole
	Artea	Propiconazol+ cyproconazole
	Dividen	Diferconazol+ cyproconazole
	Falcon	Spnascamine+Tebuconazole
	Horizon	Tebuconazole
	Opuc	Epoxiconazole
	Punch	Fluzilazol+c abudazine
Tilt	Propiconazole	

Type de culture	Nom commercial d'Acaricide utilisé	Matière active
-Tomate	Dictator	Propargite
	O.B.E.R.O.N	Propargite
	Tina	Propargite
	Vertimec	Propargite

Annexe 8: Nom commercial de pesticides et substances actives utilisés par type de culture dans le bassin de Guelma (DSA,2014)

Type de culture	Nom commercial d'Insecticide utilisé	Matière active
-Pomme de terre -Tomate -Arbres fruitiers	A bamectine	Abamectine
	Ampligo	Lambdacayalothine+chlorantrnile p role
	Agrinate	Methomyl
	Alphythio	Delthamithine
	Calypso	Thiaclopride
	Chlorofet	Chloropyriphase
	Confidos	Imedchlofide
	Cypermethine	Cypermethine
	Decis UCV ou ZC	Delthanimine
	Dur s ban 1,2,3,4,et 5	Chloroperephos+Ethyl
	Engeo	Combacyalathine + Thiamithoxane
	Fastac	Alphacyalathine
	Force	Teflothine
	Karaté	Lambdacayalothine
	Lannate 25	Methionyl
	Malatox	Malatox
	Match	Lufeneron
	Mospilan	Acetampaid
	NoMelt	Teplubenzuron
	Vertimec	Abamectine
Voliam targo	Abamectine+chlororantine+ameliprole	

Type de culture	Nom commercial d'Herbicide utilisé	Matière active
-Céréales	Apyros	Sulfosulféron
	Bazagram	Burtazon
	Chevalier	Mesosulféron+Iodusuferon+Mefenpyre
	Cossack OD	Mesosulféron+Iodusuferon+Mefenpyre
	Diafen super	Dicamba + Z 4 D
	Gran stan	Tribencon Methyl
	Mussan	Fenoscaprop-p-Ethyl +Iodusulfure
	Ouragon	Glyphosate
	Rapide	Trduron Methyl
	Topik	Clodinate Propangyl
	Traxos	Prioscadeneclodenafos