

Résumé

Abstract

الملخص

Remerciement

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale

Chapitre I : Cadre générale

I. Cadre général	1
II. Géomorphologie	1
II. 1. Oro-hydrographie des régions comprises entre l'oued Bouhamdane et Mellah	3
II. 2. Terrasses quaternaires et la morphologie de la vallée de la Seybouse	5
III. Etude géologique et stratigraphique	6
III. 1. Cadre géologique régional	6
III. 2. Stratigraphie des différentes unités structurales	7
III. 2. 1. Formations récentes (Poste-nappes)	7
III. 2. 1. 1. Quaternaire	7
III.2. 1. 2. Mio-Pliocène	8
III. 2. 2. Domaine allochtone	8
III. 2. 2. 1. Nappe numidienne	8
III. 2. 2. 2. Nappe des Flyschs	8
III. 2. 2. 3. Nappe tellienne	10
III. 2. 3. Domaine para-autochtone	11
III. 2. 3. 1. Nappe néritique constantinoise	11
III. 3. Cadre structural	13
III. 3. 1. Phase fini-éocène (atlasique)	13
III. 3 .2. Phase miocène inférieure	13

III. 3. 3. Phase tectonique post-nappe	13
IV. Reconstitution paléogéographique	14
V. Tectonique	14
VI. Grands ensembles lithologiques et leurs caractéristiques hydrogéologiques	16
VI. 1. Bassin de Guelma	16
VI. 2. Bassin de Mellah	17
VII. Couvert végétal	18
Conclusion	19

Chapitre II : Hydroclimatologie

I. Introduction	22
II. Caractéristiques des stations de mesure	22
III. Etude des paramètres climatiques	22
III. 1. Précipitations	23
III. 1. 1. Précipitations moyennes mensuelles	23
III. 1. 2. Précipitations saisonnière	25
III. 1. 3. Précipitations moyennes annuelles	25
III. 2. Température	28
III. 3. Classification climatique en fonction des indices d'aridité	28
III. 3. 1. Indice d'aridité de De Martonne	29
III. 3. 1. 1. Indice d'aridité mensuel	30
III. 4. Diagramme pluviométrique de Gausson ($P = 2T$)	32
III. 5. Estimation des paramètres du bilan hydrique	33
III. 5.1. L'évapotranspiration	34
III.5.1. 1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)	34
III.5. 1. 2. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)	35
III. 5. 2. Calcul du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite	37
III. 3.2.1. Interprétation du Bilan hydrique	37
III. 5. 3. Le ruissellement	40
III. 5. 4. Infiltration	41
Conclusion	41

Chapitre III : Hydrologie

	I. Introduction	46
I. Caractéristiques géométriques		46
II.1 Surface		46
II.2 Périmètre		46
II.3 La forme		47
II.4 Rectangle équivalent		47
III. Paramètres du relief		48
III.1 Courbe hypsométrique		49
III.2 Indice de pente I_p		52
III. 3. La pente moyenne du bassin versant		53
III.4 Indice de pente globale I_g		54
III.5 Dénivelée spécifique		54
IV. Caractéristiques du réseau hydrographique		55
IV.1. Hiérarchisation du réseau hydrographique		55
IV.2 Densité de drainage		57
IV.3. Le profil en long de l'oued Seybouse		58
IV.4. Temps de concentration		58
V. Estimation des débits maximums		59
V. 1. Formule de Maillet Gauthier		63
V. 2. Formule de Possenti		64
Conclusion		64

Chapitre IV : Qualité des rejets urbains par temps de pluie

I. Introduction	66
II. Description de la région d'étude	68
II. 1. Population	68
II. 2. Réseau d'assainissement	70
II. 3. Origine de la pollution dans la région d'étude	70
II. 3. 1. Origine domestique	72
II. 3. 2. Origine industrielle	74
III. 3. 3. Origine agricole	76

III. Les caractéristiques physico - chimique des rejets urbains	79
III. 1. Choix et localisation des stations de prélèvement	79
III. 2.1. Température	82
III.2. 2. Matière en suspension	82
III.2. 3. Conductivité électriques	82
III.2. 4. Oxygène dissous	83
III.2. 5. Les nitrates	84
III.2. 6. Les nitrites	85
III.2. 7. L'ammonium	85
III.2. 8. Phosphate	85
III.2. 9. Cadmium	86
III.2. 10. Plomb	87
III.2. 11. Demande chimique en oxygène (DCO)	87
III.2. 12. Demande biochimique en oxygène (DBO5)	87
III.2. 13. Evaluation de la matière organique (Biodégradabilité de l'effluent)	88
III. 3. Analyse statistique des données physico-chimiques	92
III. 3. 1. L'analyse en composante principale des rejets urbains en temps sec	93
III. 3. 2. L'analyse en composante principale des rejets urbains par temps de pluie	98
III. 3. 3. Classification hiérarchique ascendante	101
Conclusion	104
Chapitre V : Qualité des eaux de l'oued Seybouse	
I. Introduction	105
IV. 1. Caractéristiques physico-chimique des eaux de surface	105
IV. 2. Evaluation de la qualité de l'eau	105
IV. 2. 1. Indice de la pollution organique (IPO)	107
IV. 2. 2. Indice de la qualité de l'eau (WQI)	110
IV. 2. 3. Système d'évaluation de la qualité des eaux (SEQ-eau)	115
Conclusion	127
Chapitre VI : Qualité des eaux usées traitées et possibilité de leur réutilisation	
I. Introduction	128

II. Présentation de la station d'épuration	128
III. La qualité des eaux épurées	129
III. 1. Température	130
III. 2. Potentiel d'hydrogène	130
III. 3. Matières en suspension	130
III. 4. Demande chimique en oxygène (DCO)	134
III. 5. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	134
III. 6. Nitrates	134
III. 7. Ammonium	137
III. 8. Nitrite	137
IV. Les besoins en eau d'irrigation	141
V. Réutilisation des eaux usées traitées en irrigation	141
Conclusion	144
Conclusion générale	145
Bibliographiques	
Annexes	

Liste des figures

Figure 01.	Localisation du bassin versant de la Seybouse.	2
Figure 02.	Carte du relief de la région d'étude (Khadri, 2017).	4
Figure 03.	Carte structurale schématique de la chaîne Maghrébide montrant la disposition des zones internes et externes (d'après Durand et Fontboté, 1980 in Boukrouh, 2004).	7
Figure 04.	Carte géologique de la zone d'étude (Vila, 1980 in Benmarce, 2015)	9
Figure 05.	Coupe des différentes unités telliennes entre Bensmih et Bardou (Nouar, 2007).	12
Figure 06	Carte tectonique schématique du bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines (Blayac, 1912 modifiée).	15
Figure 07.	Couvert végétal du bassin de l'oued Seybouse (Mebarki, 2005 modifiée).	20
Figure 08.	Localisation des stations pluviométriques (Khadri, 2017).	23
Figure 09.	Variation des précipitations moyennes mensuelles.	24
Figure 10.	Répartition saisonnière des précipitations (Khadri, 2017).	25
Figure 11.	Les variations du coefficient pluviométrique.	27
Figure 12.	Les variations annuelles des précipitations Station Belkheir.	27
Figure 13.	Les variations annuelles des précipitations Station Medjez Amar.	27
Figure 14.	Variation des températures moyennes mensuelles.	29
Figure 15.	Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.	31
Figure 16.	Diagramme ombrothermique de la station de Belkheir.	33
Figure 17.	Diagramme ombrothermique de la station de Medjez Amar.	33
Figure 18.	Moyennes pluriannuelles des éléments climatiques à la station de Belkheir (1985-2015).	39
Figure 19.	Moyennes pluriannuelles des éléments climatiques à la station de Medjez Amar (1985- 2012).	39
Figure 20.	Carte hypsométrique (Khadri, 2017).	49
Figure 21.	Courbe hypsométrique du bassin versant de La Seybouse (Khadri, 2017).	50
Figure 22.	Carte des pentes du bassin versant de la région d'étude (Khadri, 2017).	53

Figure 23.	Carte de réseaux hydrographique du bassin versant de l'oued Seybouse (Khadri, 2017).	57
Figure 24.	Profil en long de l'Oued Seybouse et ses affluents (Khadri, 2017).	59
Figure 25.	Ajustement des pluies journalières maximales à une loi de Gumbel.	62
Figure 26.	Carte de population de la Wilaya de Guelma pour l'année 2012 (Khadri, 2017).	69
Figure 27.	Evolution de la population de la Wilaya de Guelma (Khadri, 2017).	69
Figure 28.	Plan du réseau d'assainissement et grands bassin de collecte (DHW, Guelma).	71
Figure 29.	Débordement de réseau d'assainissement à la suite de forte pluie (Hammam debagh à 10 m de l'oued Bouhamdane), (Khadri, 2017).	73
Figure 30.	Carte des différentes sources de pollution (Khadri, 2017).	76
Figure 31.	Carte des points de prélèvements (Khadri, 2017).	81
Figure 32.	Variation des concentrations de Température, Matière en suspension, conductivité et oxygène dissous (Khadri, 2017).	84
Figure 33.	Variation des concentrations de nitrates, nitrite, ammonium et phosphate (Khadri, 2017).	86
Figure 34.	Variation des concentrations de cadmium, plomb, DCO et DBO ₅ (Khadri, 2017).	88
Figure 35.	Estimation de la matière oxydable (Khadri, 2017).	89
Figure 36.	Evolution spatial des valeurs du rapport DCO/DBO ₅ (Khadri, 2017).	90
Figure 37.	Présentation du coefficient de biodégradabilité DCO/DBO ₅ (Temps sec), (Khadri, 2017).	91
Figure 38.	Présentation du coefficient de biodégradabilité DCO/DBO ₅ (Temps de pluie), (Khadri, 2017).	92
Figure 39.	Représentation graphique des valeurs propres (Temps sec).	94
Figure 40.	Cercle de corrélation des différentes variables en temps sec selon le plan F1x F2.	95
Figure 41.	Répartition des individus en temps sec dans le plan factoriel F1x F2.	95
Figure 42.	Cercle de corrélation des différentes variables en temps sec selon le plan F1x F3.	97
Figure 43.	Répartition des individus en temps sec dans le plan factoriel F1x F3.	97

Figure 44.	Représentation graphique des valeurs propres (Temps de pluie).	98
Figure 45.	Cercle de corrélation des différentes variables en temps de pluie selon le plan F1x F2.	99
Figure 46.	Répartition des individus en temps de pluie dans le plan factoriel F1x F2.	100
Figure 47.	Répartition des individus en temps de pluie dans le plan factoriel F1x F3.	102
Figure 48.	Cercle de corrélation des différentes variables en temps de pluie selon le plan F1x F3.	102
Figure 49.	Dendrogramme de classification hiérarchique ascendante des rejets. A: temps sec, B: temps de pluie.	103
Figure 50.	Diagramme de Piper des eaux de l'oued Seybouse (Temps de pluie, 2012).	106
Figure 51.	Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de l'oued Seybouse (Temps de pluie, 2012).	106
Figure 52.	L'évolution de l'indice de pollution organique dans les eaux de l'oued Seybouse (temps sec), (Khadri, 2017).	109
Figure 53.	L'évolution de l'indice de pollution organique dans les eaux de l'oued Seybouse (temps pluie), (Khadri, 2017).	110
Figure 54.	Répartition spatiale de l'indice de qualité des eaux de l'oued Seybouse (Temps de pluie), (Khadri, 2017).	114
Figure 55.	Répartition spatiale de l'indice de qualité des eaux de l'oued Seybouse (Temps de sec), (Khadri, 2017).	115
Figure 56.	Classification des éléments pH, Pb, MES et CE selon la grille de la qualité des eaux superficielles (Khadri, 2017).	118
Figure 57.	Classification des cations selon la grille de la qualité des eaux superficielles (Khadri, 2017).	119
Figure 58.	Classification des éléments Cl et SO ₄ selon la grille de la qualité des eaux superficielles (Khadri, 2017).	120
Figure 59.	Classification des éléments DCO, OD et DBO ₅ selon la grille de la qualité des eaux superficielles (Khadri, 2017).	121
Figure 60.	Classification des éléments NO ₂ , NO ₃ , NH ₄ et PO ₄ selon la grille de la qualité des eaux superficielles (Khadri, 2017).	122

Figure 61.	Carte de la qualité globale des eaux de l'oued Seybouse (Temps de pluie), (Khadri, 2017).	124
Figure 62.	La méthode de détermination de la qualité globale au point O9 à partir du SEQ-eau et des valeurs mesurées (Temps de pluie).	125
Figure 63.	Carte de la qualité globale des eaux de l'oued Seybouse (Temps sec), (Khadri, 2017).	126
Figure 64.	Image satellitaire représentant la localisation de la station d'épuration de Guelma (Google Earth, 2017), (Khadri, 2017).	129
Figure 65.	Variation temporelle de température.	131
Figure 66.	Variation temporelle de pH.	132
Figure 67.	Variation temporelle des matières en suspension.	133
Figure 68.	Variation temporelle de la demande chimique en oxygène (DCO).	135
Figure 69.	Variation temporelle de la demande Biochimique en oxygène (DBO ₅).	136
Figure 70.	Variation temporelle des nitrates.	138
Figure 71.	Variation temporelle de l'ammonium.	139
Figure 72.	Variation temporelle des nitrites.	140
Figure 73.	Evolution dans le temps des besoins en eaux d'irrigation de la wilaya de Guelma (2008-2060).	142
Figure 74.	Variation moyenne mensuelle des débits traités en m ³ /j des eaux usées.	143
Figure 75.	Variation moyenne mensuelle du volume d'eau usée traité.	143

Liste des tableaux

Tableau 01.	Description géologique et hydrogéologique des formations de la région d'étude (D'après Mouassa, 2007 in Mouchara, 2009).	18
Tableau 02.	caractéristiques géographiques et topographiques des stations pluviométriques.	22
Tableau 03.	Les précipitations moyennes mensuelles (mm).	24
Tableau 04.	Variation des précipitations saisonnière.	25
Tableau 05.	Températures moyennes mensuelles.	28
Tableau 06.	Indice annuel d'aridité (A).	30
Tableau 07.	Indices d'aridité mensuels (IDM).	31
Tableau 08.	Résultats de l'ETR par la méthode de Turc.	35
Tableau 09.	Vérification de la condition $1/8\lambda < p \text{ (m)} < 1/2\lambda$.	36
Tableau 10.	ETR selon la méthode de Coutagne	36
Tableau 11.	Corrélation des climats	37
Tableau 12.	Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite Station Belkheir (1985/2015).	38
Tableau 13.	Bilan hydrique selon la méthode de C.W Thornthwaite. Station de Medjez Amar (1985/2012).	38
Tableau 14.	Résultats du ruissellement.	41
Tableau 15.	Estimation de l'infiltration par la méthode de Thornthwaite.	41
Tableau 16.	La répartition hypsométrique.	50
Tableau 17.	Détermination de la pente de Roche Ip.	52
Tableau 18.	Classification de l'O.R.S.T.O.M du relief (Laborde, 2009).	55
Tableau 19.	Classification de réseau hydrographique selon la méthode de Strahler.	56
Tableau 20.	Les coordonnées des stations d'étude.	60
Tableau 21.	Précipitations pour différentes fréquences.	61
Tableau 22.	Récapitulatif des résultats de débit maximum.	64
Tableau 23.	Le réseau d'assainissement de la région d'étude (2007).	72
Tableau 24.	Les décharges sauvages dans la zone d'étude.	75
Tableau 25.	Types et quantités de fertilisants utilisés au niveau de la nappe alluvionnaire de Guelma (2005 / 2006), (Kachi, 2015).	77
Tableau 26.	Principaux engrais utilisés dans le périmètre Guelma-Boumahra (Kachi, 2015).	78

Tableau 27.	Paramètres et classes de l'IPO.	107
Tableau 28.	Grille de degré d'indice de pollution organique.	107
Tableau 29.	Les poids relatifs des paramètres physico-chimiques.	113
Tableau 30.	Classes et indices de qualité.	116
Tableau 31.	Résultats des indices de pondérations et d'altérations (Temps de pluie).	124
Tableau 32.	Résultats des indices de pondérations et d'altérations (Temps sec).	126
Tableau 33.	Evolution des besoins en eau d'irrigation de Guelma (2008 - 2060).	141
Tableau 34.	Les volumes d'eaux usées traitées à la STEP de Guelma (2011/2014).	142

Introduction générale

L'eau est la source de la vie. L'eau est à l'origine de la vie sur terre. Leur abondance ou pénurie est liée principalement aux caractéristiques climatiques, la gestion de l'eau, à la qualité des ressources en eau, l'épuration des eaux usées et la réutilisation des eaux usées épurées. La qualité des eaux est inculpée par des nombreuses substances rejetées dans le milieu naturel, soit ponctuellement, soit de façon diffuse. L'accroissance de la ville et l'activité urbaine est constituée une source de pollution par les rejets domestiques et industriels qui perturbent l'environnement, notamment les milieux aquatiques.

Les rejets urbains de temps de pluie présentent un risque majeur, ils sont des vecteurs de pollution importants pour le milieu naturel. En effet, les diverses activités humaines (transport, industrie, etc.) génèrent des éléments polluants qui se concentrent dans l'air et s'accumulent sous forme de dépôts lors des périodes de temps sec (Chocat et al., 1993). Lors de pluies intenses, les eaux usées et les eaux pluviales sont collectées dans le réseau d'assainissement unitaire ou séparatif, ensuite elles sont évacuées vers la station d'épuration ou rejetées directement dans le milieu naturel sans aucun traitement. Ces polluants peuvent affecter la qualité physico-chimique et biologique des milieux aquatiques récepteurs, mais aussi altérer les usages de l'eau (captage d'eau, pêche, baignade, etc.).

Les rejets urbains de temps de pluie se caractérisent par une grande variabilité de leurs compositions, de par les volumes déversés, ainsi que par le caractère inattendu des événements pluvieux qui les entraînent, ce qui rend leur suivi complexe au niveau du milieu récepteur. Pendant les fortes pluies le réseau d'assainissement est devenu saturer, les volumes reçus par temps de pluie dépassent souvent la capacité de traitement des stations d'épuration. Pour éviter le débordement des stations d'épuration et l'inondation de la ville les eaux excédentaires sont alors rejetées par les déversoirs d'orage sans traitement et polluent le milieu naturel. Les fortes pluies peuvent perturber le bon fonctionnement du réseau d'assainissement, par conséquence l'apparition des regards bouchés et d'égouts à ciel ouvert, exposant ainsi la population aux risques de maladie.

La composition physico-chimique des rejets urbains de temps de pluie varie selon le type de réseau, l'origine des eaux, les caractéristiques morphométriques et hydrologiques du bassin versant et l'activité urbaine. Ce travail s'intéresse à l'évaluation de la qualité des rejets urbains par temps de pluie du bassin versant de la Seybouse. L'étude nécessite une bonne connaissance du milieu naturel du bassin par la détermination des caractéristiques

morphométriques et hydrométriques du bassin versant, en intégrant l'outil SIG pour mieux maîtriser la gestion des données.

Le présent travail comprend six chapitres, au cours de ces derniers nous avons essayé de mettre en exergue les variations spatiales de la qualité des rejets urbains et des eaux de l'oued.

* Ainsi dans le premier chapitre nous donnons un aperçu sur le cadre général de la région d'étude. Nous avons insisté sur la géologie et la géomorphologie de la zone étudiée, les formes géomorphologiques et les formations géologiques décrites peuvent constituer un facteur aggravant de la pollution.

* Le deuxième chapitre est apporté à l'étude du climat de la zone d'étude. Au cours de ce chapitre nous avons quantifié les apports par les précipitations au niveau de deux stations. Nous avons remarqué une variation des précipitations, ce qui peut influencer négativement sur la qualité des eaux, particulièrement lors des événements pluvieuses.

* Le troisième chapitre consacré à l'étude l'hydrologique du bassin versant, il a été commencé par une identification des paramètres morphométriques de la région et l'étude des pluies et débits. Ceci pourra former une première explication au problème de pollution.

* Le quatrième chapitre concerne l'étude physico-chimique des rejets urbains par temps de pluie pour déterminer la pollution apportée lors des événements pluvieux dans les effluents unitaires. L'évaluation de degré de la pollution générée par les rejets urbains et industriels des agglomérations autour de l'oued Seybouse.

* Le cinquième chapitre se concentre sur l'étude de la qualité physico-chimique des eaux de l'oued Seybouse, L'évaluation de la qualité des eaux de l'oued Seybouse a été effectuée par plusieurs indices de qualité (indice IPO, WQI et IPQG). L'application de ces indices pour l'évaluation de la qualité des eaux de l'oued Seybouse après un événement pluvieux.

* Le sixième chapitre est fourni pour étudier la qualité des eaux usées traitées à la station d'épuration de Guelma et leur impact sur l'environnement, afin de voir la possibilité de réutiliser ces eaux dans l'agriculture.

A la fin nous avons extrait des conclusions générales sur les différentes parties du travail, avec quelques recommandations.

Cadre général

*C
H
A
P
I
T
R
E

I*

I. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de la Seybouse est situé dans la région Nord Est de l'Algérie (figure 01). Il est permis les oueds les plus importants de la partie orientale de l'Afrique avec une superficie de 6471 km² et une longueur de 240 km. La Seybouse a ses origines les plus éloignées de la mer dans les hautes plaines qui s'étalent à une altitude de 800 à 1000 m au sud du tell constantinois. Nous compterons donc dans le bassin de la Seybouse trois parties bien différentes (Blayac, 1912) :

- Celle des hautes plaines (Haute Seybouse) ;
- Celle du tell méridional (Moyenne Seybouse englobe notre zone d'étude), qui commence au Moulin Rochefort, point où l'oued Charef pénètre dans le tell et qui finit à Bouchegouf où cet oued devient alors la Seybouse proprement dite (Blayac, 1912) ;
- Celle du tell septentrional (Basse Seybouse), à travers laquelle l'oued garde le nom de Seybouse.

Le bassin de la moyenne Seybouse est vaste ; il est situé entre les hautes plaines et la chaîne numidique, le bassin est limité au Nord par le kef Hahouner, Djebel Taya, Djebel Debar, les monts de Houara et Béni Ahmed, au Sud par la chaîne de Sellaoua et le massif de la Mahouna, à l'Ouest par Djebel El Guettar, Oum Settas (Constantine), et à l'Est par les monts de la Medjerdah et les massifs de Beni Marmi.

La wilaya de Guelma dont fait partie la zone étudiée est située au Nord-Est algérien avec une superficie de 3 686,84 km², groupant le littoral des Wilayas de Annaba, EI Tarf et Skikda, aux régions intérieures telles que les Wilayas de Constantine, Oum EI Bouagui et Souk Ahras.

II. Géomorphologie

Le relief est composé dans sa majorité de (37,82 %) de montagnes et parmi les reliefs les plus élevés de la région d'étude, on trouve au nord une chaîne de montagne va, d'ouest en est, du Djebel Taya avec ses 1208 m constitue le point culminant de tout le tell Nord- Guelmien, en passant par le Djebel Debar (1060 m), un mont faillé, il est le plus étendu des massifs néritiques nord-guelmiens (Marre, 1987). Au sud le Djebel Mahouna qui, dans son ensemble est un vaste

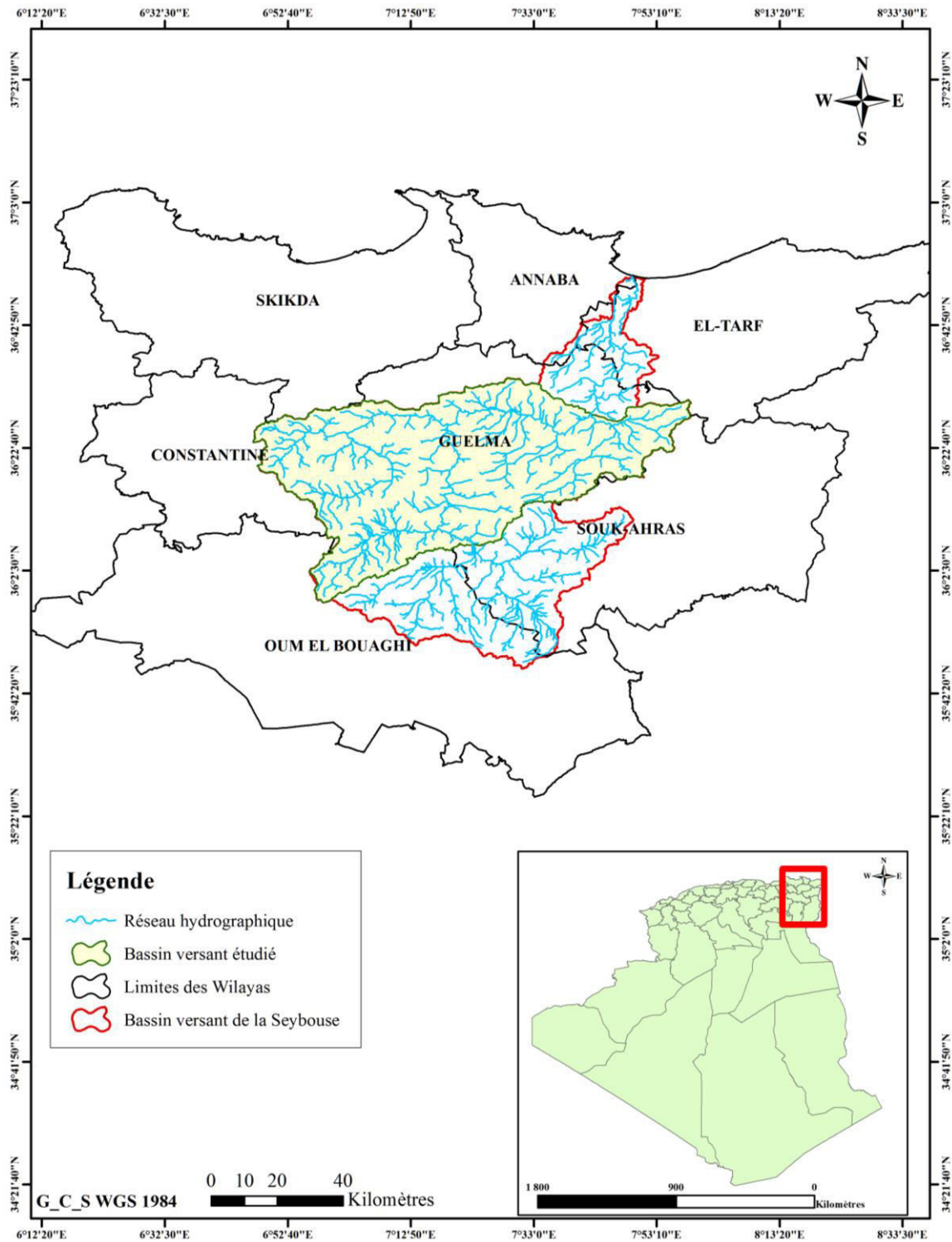


Figure 01. Localisation du bassin versant de la Seybouse (Khadri, 2017).

synclinal de grès medjaniens (Blayac, 1912), dont les strates redressées s'élèvent jusqu'à 1411 m, le grand massif de la Mahouna est coupé en deux parties par l'Oued Charef et le Djebel Houara (1292 m). Au sud-ouest l'important massif du Ras El Alia (1307 m) est inclut dans la chaîne centrale de la Medjerda (Figure 02).

Au-delà de la vallée de la Seybouse, et jusqu'à la frontière tunisienne, le tell présente des altitudes plus modestes où les montagnes boisées du versant septentrional des monts de la Medjerda s'abaissent rapidement par gradins vers la vallée de l'oued Seybouse, dont kef El Ramoul (797 m) et kef Djemmel (812 m), ces monts de la Medjerda constituent une barrière topographique sur le long de la frontière Algéro-tunisienne.

Le reste du relief est composé de plaines et de plateaux (27,22 %) de collines et de piémonts (26,29 %), (Monographie, 2016). La plaine creusée par la Seybouse offre des pentes généralement peu accentuées entre 0 et 12.5 %, plus douces pour les versants exposés au Sud. Son fond est plat et présente une faible pente longitudinale et transversale (Bechiri, 2011). Elle est surmontée d'un ensemble de terrasses emboîtées les unes aux autres, qui s'élèvent à des altitudes diverses.

Les reliefs qui surplombent immédiatement la plaine sont dans leur ensemble de pentes moyennes à sommets arrondies 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.

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

II. 1. Oro-hydrographie des régions comprises entre l'oued Bouhamdane et Mellah

Les volumes montagneux se créent suite à une série de ces mouvements tectoniques à la fin du Pliocène. Ces mouvements tectoniques sont à l'origine du creusement des cours d'eau qui ont alors élaboré de profondes vallées et de gorges. Ce faible réseau hydrographique est surimposé à partir d'une vieille topographie dont l'achèvement date du Mio- Pliocène et il est antécédent par rapport aux derniers mouvements orogéniques fini-Pliocène (D'après Ghachi, 1982 in Mouchara, 2009).

La Seybouse est un cours d'eau héritier d'un réseau hydrographique qui descendait depuis les Aurès et par les paysages naturels de Guelma allait se jeter dans la mer Méditerranée demeure toujours en vigueur. Il parcourt plusieurs domaines et par conséquent, il est normal de trouver

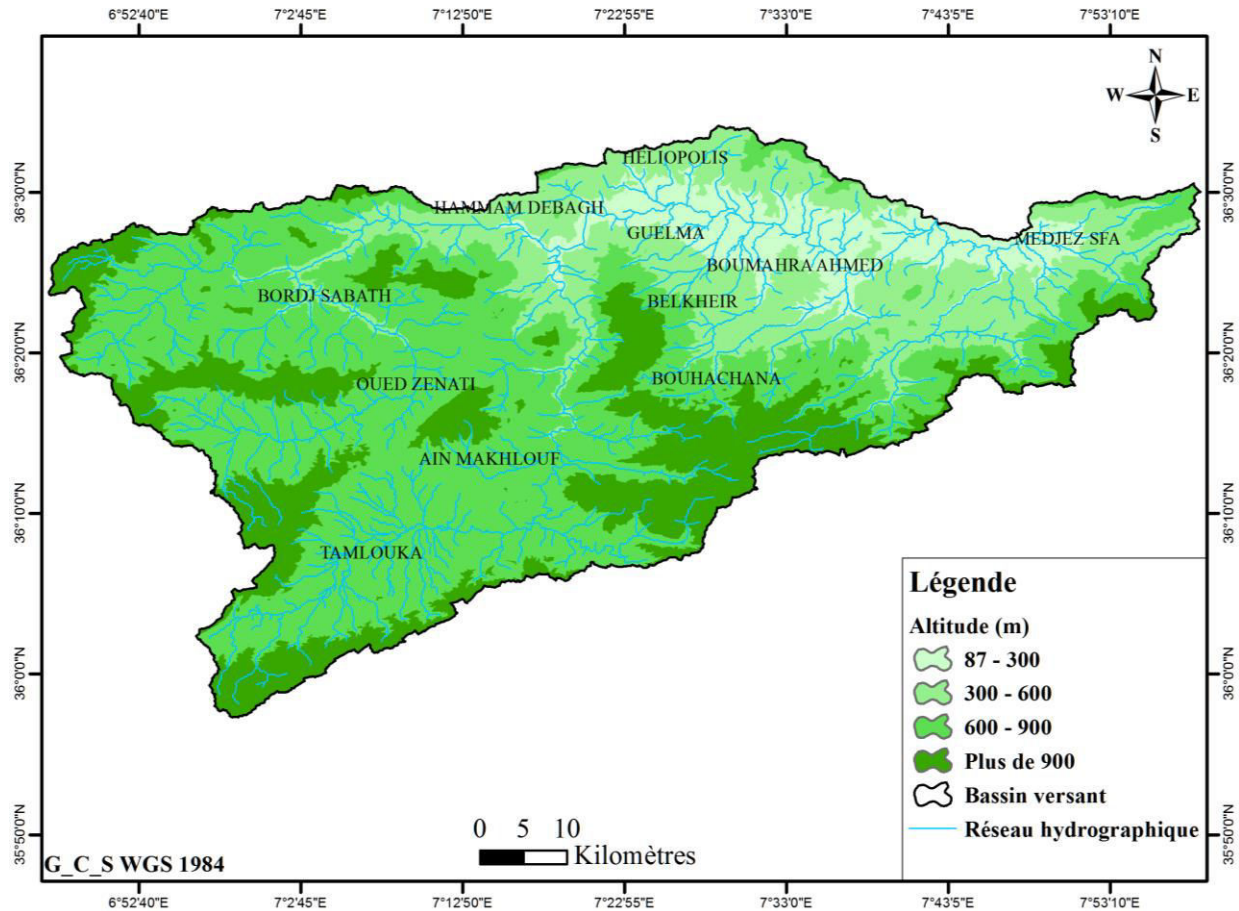


Figure 02. Carte du relief de la région d'étude (Khadri, 2017).

des sections adoptées à la structure géologique (vallée de l'Oued Zenati et de l'Oued Charef), et d'autres qui ne le sont pas (Gorge de Nador), (Mouchara, 2009). Le réseau hydrographique de la moyenne Seybouse possède quatre artères maitresses principales :

- L'oued charef proprement dit, du Moulin Rochefort à Medjez Amar.
- La Seybouse de Medjez Amar jusqu'à Bouchegouf.
- L'oued Bouhamdane qui devient l'oued Zenati dans son cours supérieur.
- L'oued Mellah, qui débouche dans la Seybouse à Bouchegouf.

Ces cours d'eaux occupent un territoire très accidenté (Dareste de la Chavane, 1910). La région est affectée de plis souvent à structure imbriquée, dirigés est-ouest, dans les proximités du lit de l'oued Cherf et NE-SW quand on va vers l'Est. Ainsi s'explique pourquoi l'oued Charef, dans son ensemble, est orienté N-S ; c'est une rivière véritablement sécante, qui a creusé son lit suivant la direction des plissements.

L'oued Bouhamdane qui se jette dans la Seybouse à Medjez Amar, en est l'affluent le plus important avec l'oued Charef. Dans son cours inférieur, entre son confluent et Bordj Sabath, cette rivière a creusé son lit parallèlement à la direction de la chaîne numidique aux pieds même de Djebel Debar et Taya ; elle a mis à nu, sur une partie de son trajet, les terrains crétacés. Ces terrains étaient autrefois recouverts par un épais manteau de marnes et grès rouges siliceux du Néonummulitique (grès medjanien) que l'on retrouve de part et d'autre des deux rives de l'oued (Blayac, 1912).

Le cours d'eau de la Seybouse entre Medjez Amar et le village de Nador est perpendiculaire à celui du Charef ; il est nettement E-W. Là, l'oued s'est heurté à la chaîne numidique qui a cette même orientation. Il y a rencontré la dépression de Guelma et son bassin tertiaire dont il a suivi le grand axe. Entre le Nador et Bouchegouf, il oblique vers le N-E en raison de la direction des plis qui affectent les formations triasiques qui se trouvent en cet endroit (Blayac, 1912). Entre Medjez Amar et Bouchegouf, la Seybouse reçoit, outre l'oued Mellah, l'oued Helia, l'oued Bousorra, l'oued Maiz et oued Zimba dont les directions parallèles sont certainement influencées par les plissements.

De Nador à Bouchegouf, l'oued a creusé son lit dans le dôme triasique de Machrouha – Nador ; il semble qu'il ait profité de la direction NE-SW des plissements de ce dernier pour ce faire jour à travers les marnes et les gypses du Trias. A partir du Nador où il rencontre le bassin tertiaire de Guelma, l'oued suit l'axe de ce bassin orienté E-W ; il est dominé par des massifs formés de marnes et surtout de grès siliceux medjanien ; le Djebel Haouara (932 m) et les monts de Beni Mezzeline (830 m).

II. 2. Terrasses quaternaires et la morphologie de la vallée de la Seybouse

II. 2. 1. Terrasses de la haute Seybouse

On remarque la présence de terrasses, de glacis et de cônes de déjection. En fait, il y a surtout des glacis et un creusement de glacis puisque l'on est dans les hautes plaines avec parfois, quand les conditions s'y prêtent, une petite terrasse.

II. 2. 2. Terrasses de la moyenne Seybouse

Les mouvements tectoniques plio-quaternaires ont:

- a- affecté les glacis qui se situent dans le bassin de Guelma par des déformations;
- b- permis à la Seybouse de s'encaisser progressivement et en relation avec les changements climatiques.

Cinq niveaux sont identifiables dans le bassin, (d'après Cherrad, 1992, in Djabri, 1996)

- Le plus ancien se situe à des hauteurs relatives de plus de 100 m par rapport au lit actuel de la Seybouse.

Le niveau 5 : Est formé par de hautes terrasses et glacis contenant des galets et de blocs de grande taille. C'est aussi la zone d'épandage des blocs (dépôt de pente), environ 100 m d'altitude relative.

Le niveau 4 : Est formé de glacis et également de hautes terrasses qui contiennent des galets et des blocs hétérométriques.

Le niveau 3 : 30 à 50 m d'altitude relative. C'est un niveau de transition, caractérisé par la présence de galets et de blocs hétérométriques avec un certain agencement.

La couche calcaire est également apparente.

Le niveau 2 : 10 à 20 m d'altitude, où terrasses et terminaisons de glacis se confondent. Un litage des éléments est observable. Les sols sont assez consolidés. Ce niveau est très étendu.

Le niveau 1 : Terrasses, datant du quaternaire récent, comportant des argiles et des sables.

La proportion d'argile est plus importante en raison de l'écoulement. Ce niveau est très étendu.

Au niveau des défilés (gorges) ces formations quaternaires perdent de leurs ampleurs et se réduisent considérablement. Dans la section oued Fragha-Chihani, nous retrouvons les niveaux 3, 2 et 1. La haute terrasse (niveau 3) est une terrasse à gros blocs hétérométriques. La moyenne terrasse est, par contre, caillouteuse avec un grano-classement et un litage de galets. Quand à la basse terrasse, elle est argilo-sableuse (Djabri, 1996).

III. Etude géologique et stratigraphique

La région d'étude a suscité l'intérêt de beaucoup de chercheurs par; J. Darest de la Chavanne (1910), J.Blaiac (1992), P.Deleau (1938), J.M.Vila (1968-1980), J .C Lahondere (1983) et A. Chouabbi, (1987).

III. 1. Cadre géologique régional

La région de Guelma fait partie de la chaîne des Maghrébides d'Algérie orientale (la chaîne alpine d'Afrique du Nord) (Figure 3). Cette chaîne fait partie de l'orogène alpin péri-méditerranéen (D'après Durand Delga, 1969 in Benmarce, 2015), d'âge Tertiaire. Elle s'étend de l'Ouest à l'Est sur 2000 km, depuis le sud de l'Espagne (Andalousie) jusqu'à la Calabre (Italie) et englobe notamment ; le Rif marocain, l'Atlas littoral d'Algérie (kabylie et Tell), de Tunisie

(kroumirie- Nefza) et enfin la Sicile Calabre (Italie) (d'après Lahondère, 1987 et Chouabbi, 1987 in Benmarce, 2015).

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

La chaîne des Maghrébides a connu des phases de déformations méso-cénozoïques aboutissant à la mise en place de l'Atlas tellien. C'est le domaine des nappes de charriage ou domaine allochtone (Figure 03).

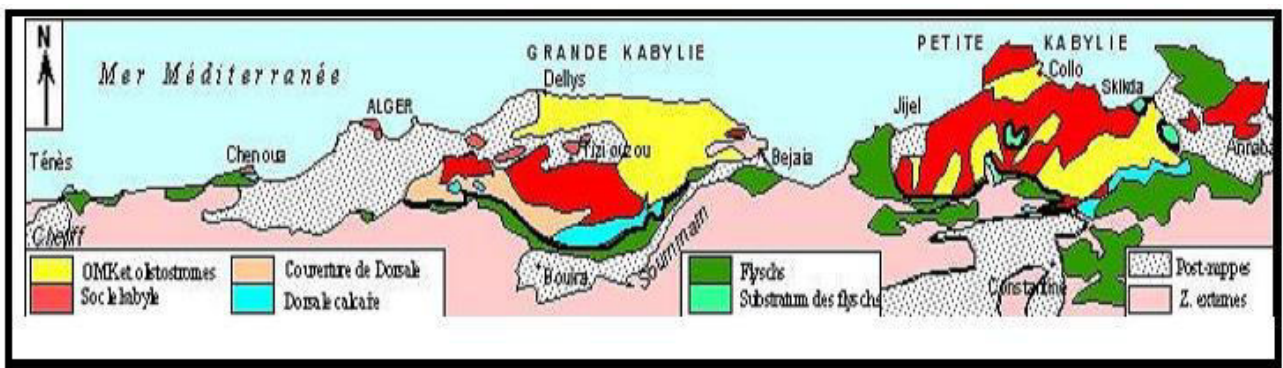


Figure 03. Carte structurale schématique de la chaîne Maghrébide montrant la disposition des zones internes et externes (d'après Durand et Fontboté, 1980 in Boukrouh, 2004).

III. 2. Stratigraphie des différentes unités structurales

La zone d'étude appartient à l'ensemble géologique du Tell externe. On distingue de haut en bas : le Quaternaire, le Mio-Pliocène, la nappe numidienne, les nappes des flyschs, la nappe ultra-tellienne, la nappe tellienne, les écaillés des Sellaoua et enfin la nappe néritique constantinoise (Figure 04).

III. 2. 1. Formations récentes (Poste-nappes)

III. 2. 1. 1. Quaternaire

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

- A. La basse terrasse (Soltanien) :** Elle est constituée des alluvions du lit de l'Oued actuel avec 15 m d'épaisseur (limons et cailloux enroulés brun clair ou grisâtres).
- B. La moyenne terrasse (Tensiftien) :** Elle est située surtout entre 30 à 50 m d'altitude et constituée de sable et limons et des blocs roulés dans une matrice argileuse de couleur ocre.

C. La haute terrasse (Salétien) : Ce sont des formations qui présentent un épandage en pente douce. Elles sont constituées de gros galets de type (Ranà) dans le djebel Zemzouma au Nord et peuvent atteindre les 100 m d'épaisseur. Au Sud, ce sont des calcaires lacustres et tufs d'âge Pliocène supérieur à Quaternaire ancien qui occupent de grandes surfaces. Les croûtes calcaires qui apparaissent aussi au centre d'Héliopolis sont parfois tuffacés ou massifs gris à blanc rosé riches en oogones de (Charophytes), (Vila, 1980).

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

III.2. 1. 2. Mio-Pliocène

Ce sont des argiles grises avec intercalations de marno-calcaires et gypse en couches minces. Elles surmontent des argiles et des conglomérats rouges. La mollasse de Guelma : c'est une épaisse série d'intercalations d'argile et de sable jaunâtres friables bien développée au Sud et à l'Est de Guelma.

III. 2. 2. Domaine allochtone

On distingue de haut en bas :

III. 2. 2. 1. Nappe numidienne

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

III. 2. 2. 2. Nappe des Flyschs

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

A. Sénonien : C'est une série conglomératique et argileuse d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur. Les bancs les plus épais (50 à 60 cm) montrent des figures de convoluté bedding. Ce sont les faciès les plus méridionaux du flysch. Dans les affleurements des talus ouest de la route Guelma-Annaba (col d'El Fedj), (D'après Vila, 1966 in Benmarce, 2015), la microfaune est représentée par (Globotruncana Sheegansi) et de rares (orbitoides Tissoti).

B. Cénomaniens - Turonien : Il est représenté par des niveaux b réchiques clairs bien classés en bancs à bandes silicifiées blanches. Ces formations sont datées par (*Rotalipora* sp), (*Thalmaninella* sp) et (*Globotrucana helvética*).

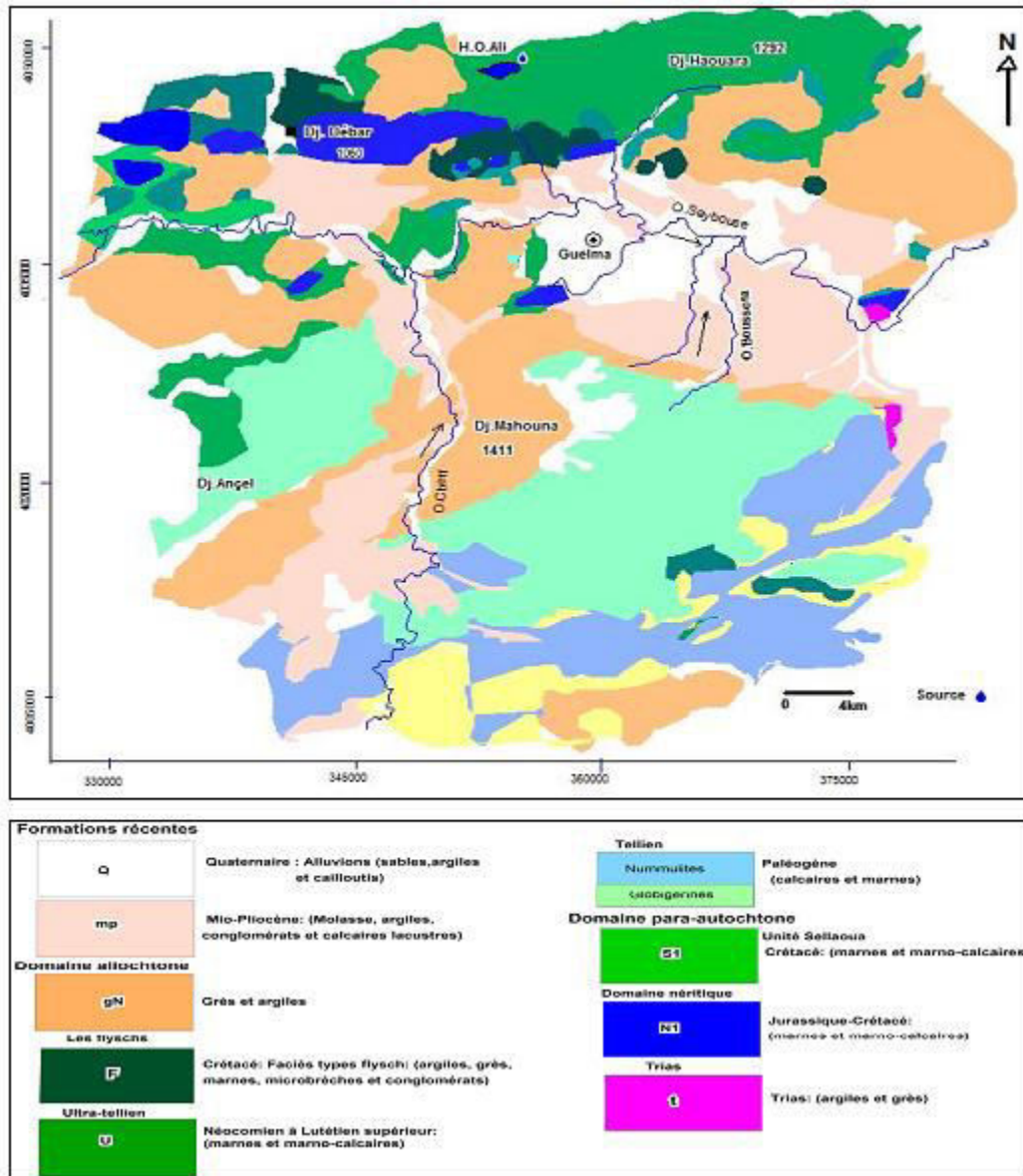


Figure 04. Carte géologique de la zone d'étude (D'après Vila, 1980 in Benmarce, 2015).

C. Crétacé inférieur : Flysch de type Guerrouch : C'est une série gréseuse à intercalations argilo- schisteuses grises ou brunâtres. Elle affleure à Ain Sefra au pied- mont de Mahouna. A la base, elle montre quelques bancs calcaires à (*Nannoconus*).

Le complexe de base avec calcaires fins: C'est une série argilo-gréseuse à intercalations de biomicrites claires en bancs centimétriques très froissés à (Nannoconus). Ces affleurements apparaissent dans la partie Sud de la pointe orientale du Djebel Debar.

III. 2. 2. 3. Nappe tellienne

La nappe tellienne correspond au domaine tellien externe constitué de formations paléogènes (Figure 03). Il s'agit de séries épaisses à dominante marneuse issues du sillon tellien. On distingue trois grandes unités :

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

B. La nappe ultra-tellienne du Djebel Haouara : Ce sont de vastes affleurements qui se situent entre la forêt des Beni Ahmed et celle des Beni Mezline, au Nord du Kef Ras Bardou et du Djebel Haouara. Les formations sont formées par l'alternance de marnes claires beiges ou jaunes et de marno-calcaires en petits bancs de même teinte, riches en (Rosalines). L'âge de la série est compris entre le Barrémien supérieur qui contient (Phylloporochyeras Barodense Cop) et le Sénonien inférieur (Benmarce, 2015).

C. La nappe ultra-tellienne de Djebel bou Sbaa, (Lahondère, 1987) : L'âge de la série est compris entre l'Aptien et le Lutétien. Elle est développée essentiellement dans la région de Guelaat Bou Sbaa. On trouve aussi des témoins de cette série près de Medjez Amar au Tebiebe Amar, au Sud-Ouest de Guelma et près de la station de Nador à l'Est. On peut citer entre autres, un affleurement avec une microfaune à (Truncorotalia gr), visible sur la berge est de l'Oued Seybouse près de Medjez Amar avec (Globorotalia rex Martin) et au nord de Djebel Débar dans les marno-calcaires à cassure noire fétide et bitumineuse (D'après Vila et al, 1968 in Benmarce, 2015).

D. Les unités telliennes sensu stricto (s.s) Ce sont les unités méridionales à Globigérines et à Nummulites.

E. La nappe tellienne de Hammam Ouled Ali : Elle affleure au pied du Djebel Bou Sbaa et autour du pointement néritique du Djebel Débar. Cette unité regroupe tous les terrains situés sur la série néritique constantinoise et sous la nappe ultra-tellienne du djebel Bou Sbaa (Vila, 1980). Ce regroupement est justifié par une remarquable dominante des teintes noires dans les

faciès. La microfaune est représentée par (Globotruncana stuartiformis), (Rotalipora sp) et (Hedbergella Washitensis)

F. La nappe tellienne de la région de Ras El Agba-Sellaoua Announa : Elle correspond au domaine tellien externe constitué de formations paléogènes. On distingue :

- L'unité tellienne à Globigérines qui comprend un Paléocène constitué de marnes, un Yprésien à calcaires en bancs à lumachelles et à (Globigérines) et un Lutétien inférieur à moyen avec des marnes noires à débris d'huîtres et à boules jaunes carbonatées (Kef Er Rih, Bouhachana).
- L'unité tellienne à Nummulites qui comprend un Paléogène à marnes noires et un Eocène calcaire massif à Nummulites surmontés par une puissante série marneuse à boules jaunes et à huîtres d'âge Lutétien (Dj. Bardou).

III. 2. 3. Domaine para-autochtone

III. 2. 3. 1. Nappe néritique constantinoise

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

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

- A l'Est de Djebel Debar

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

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

On distingue de haut en bas :

- Les niveaux siliceux : Ce sont des roches très minéralisées et mal stratifiées résultant d'une silicification au niveau d'une zone de broyage entre le calcaire à silex du sommet du Sénonien supérieur et les calcaires à silex de l'Eocène allochtone tellien.

- Les calcaires massifs organo-détritiques à (orbitoides cf. Média) d'Arch attribués au Campanien.
- Les dolomies noires à la base, épaisses de 250 à 300 m largement cristallines supportent toute la série.

- **A Hammam Ouled Ali**

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

- **Au Douar Bouzitoune-Heliopolis**

Ces affleurements présentent une série complète où sont datés : l'Aptien supérieur à (Orbitolina Subconcava Parocoskinolina Sunnilandensis), le Vraconien-Cénomaniens inférieur à (Orbitolines) roulées et à (Mélobésiées) et le Sénonien transgressif sur des niveaux à (orbitoides Medina), (Sidérolites Vidali), (Globotruncana Linnei) du Campanien ou du Maestrichtien basal.

- **A la station Nador**

Près de la gare ferroviaire de Nador, sous les calcaires massifs à (Rudistes) du Barrémien, les niveaux à (Favreina Salevensis) et (F.Prusensis) au dessus d'un ensemble de couches pélitiques ou gréseuses rouges attribués au Trias moyen et supérieur témoignent du passage Jurassique Crétacé (D'après Ilavsky et Snopkova, 1987 in Benmarce, 2015).

III. 3. Cadre structural

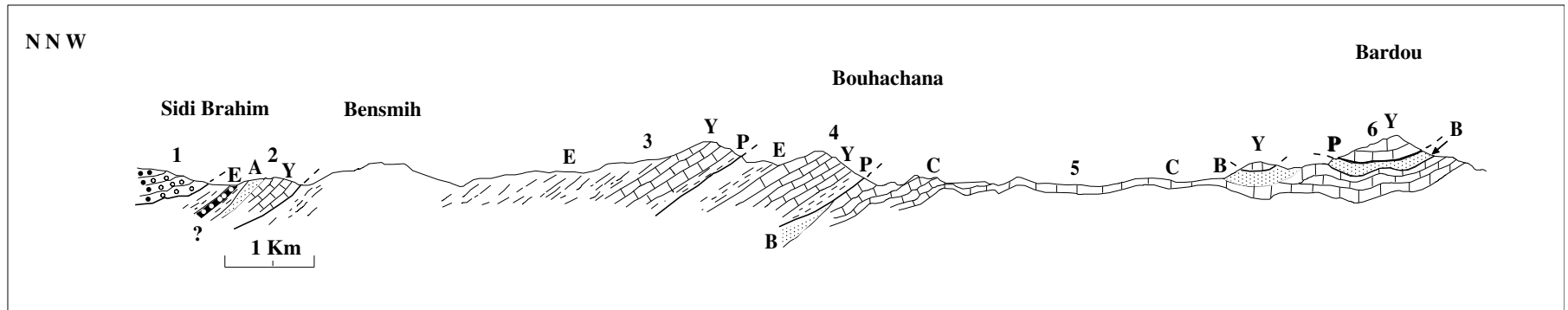
La structure actuelle de la région d'étude est la conséquence d'une série de mouvements tectoniques. Les différentes phases mises en évidence peuvent se résumer ainsi :

III. 3. 1. Phase fini-éocène (atlasique)

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

III. 3. 2. Phase miocène inférieure

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



1 - Nappe numidienne	Unités telliennes médianes	C - Crétacé	E - Lutétien
Unités telliennes externes à Nummulites	2 - Unité de Djebannet Sidi Brahim	P - Paléocène	A - Miocène tellien lié aux nappes
6 - Klippe Bardou	3 - écaille de Bensemih	Y - Yprésien	B - Miocène anté-nappe
8 - Vaersant sud de Zouara	4 - écaille de Bouhachana		
5 - écailles des Sellaoua	7 - Synclinale de Zouara		

Figure 05. Coupe des différentes unités telliennes entre Bensemih et Bardou (Nouar, 2007 modifie).

III. 3. 3. Phase tectonique post-nappe

Du Tortonien à l'actuel, la région a connu le jeu de plusieurs déformations plicatives et cassantes qui se sont remplacées et accordées (Vila ,1980). Ces accidents ont dessiné un réseau spectaculaire de failles de direction atlasique (NE-SW). L'accident qui borde au Nord du bassin Mio-Pliocène de Guelma est bien défini de direction Est-Ouest. Cette grande faille est interceptée par de petites failles qui lui sont perpendiculaires.

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

IV. Reconstitution paléogéographique

Le paysage de la région d'étude a du être édifié suite à la manifestation de phases tectoniques, donnant la disposition actuelle des différentes unités allochtones.

La genèse du relief actuel a débuté pendant le Miocène inférieur suite à la compression de l'édifice et une transgression de la mer miocène. Le résultat a donné la mise en place des unités telliennes dans le sillon de Sellaoua et sur le domaine néritique. Les formations numidiennes viennent ensuite pour couronner tout l'ensemble. A partir du Miocène supérieur, la mer miocène a connu une régression synchrone avec des mouvements de réajustement de l'édifice. Ces derniers ont conduit à la naissance du bassin actuel de Guelma.

Ce phénomène d'éventrement vers le début du quaternaire est facilité par l'existence de grands reliefs endossant le bassin au Nord par Djebel Houara et au Sud par la Mahouna.

L'érosion continue à laquelle était exposé cet édifice a mis à jour les alluvions couvrant toute la vallée et formé les terrasses :

- Mio-Pliocène : naissance et remplissage du bassin.
- Quaternaire : ancien et récent - éventrement du bassin
- écoulement
- naissance de la vallée de la Seybouse
- dépôts des alluvions. (Benmarce, 2015)

V. Tectonique

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

La région qui correspond à la chaîne de l'Atlas tellien et au Tell dont fait partie la chaîne numidique, se trouve extrêmement tourmentée et on y trouve représentés des exemples d'accidents tectoniques de tous genres.

Depuis le Tortonien à l'actuel, la région a connu le jeu de plusieurs déformations plicatives et cassantes qui se sont succédées et/ou sont combinées. Ces accidents ont dessiné un réseau spectaculaire de failles de direction atlasique ou d'Est en Ouest (VILA, 1980).

L'accident qui borde au Nord du bassin mio-pliocène de Guelma est bien défini. Cette grande faille est interceptée par de petites failles qui lui sont perpendiculaires.

Le bassin de Guelma a connu la succession de compressions et de distensions modérées. La tectonique de cette région est en fait très compliquée dans le détail. On peut remarquer que les sources thermo minérales se situent au croisement des plis de direction (NE-SW). Dans la première direction il s'agit de la tectonique de mise en place des nappes, dans la deuxième orientation (E-W), c'est la tectonique de réajustement de l'édifice et la naissance du relief actuel.

VI. Grands ensembles lithologiques et leurs caractéristiques hydrogéologiques

Nous allons tenter de dégager les grands ensembles lithologiques et les caractéristiques hydrogéologiques de ces unités géologiques par sous-bassin.

Si cette division en bassins partiels ne met pas toujours en évidence la relation entre roches perméables et zones d'infiltration des eaux superficielles, en revanche, elle permet de mettre en relation le transport solide et la dégradation spécifique avec la lithologie.

VI. 1. Bassin de Guelma

La région de Guelma est constituée de terrains sédimentaires d'âge Crétacé Oligocène, Mio-Pliocène et Quaternaire. Le fond 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'au Sedrata. Ce sont surtout les calcaires yprésiens qui dominant, viennent en suite les grès numidiens du flanc de Mahouna; les séries de marno-

calcaires et les argiles. L'ensemble est fortement tectonisé, il résulte les facteurs qui favorisent la présence de plusieurs unités aquifères dans les marno-calcaires (Crétacé supérieur). L'oued Seybouse a creusé dans la même série et a mis à jour trois petites sources, c'est l'indice de la présence d'une nappe à faibles ressources.

Les bandes de calcaire Yprésien de la région sud de Guelma, affleurent largement jusqu'au environ de Sedrata. Ces calcaires sont fortement fissurés. Ce qui permet la constitution de ressources aquifères importantes, mais rapidement restituées. La formation numidienne dans la région sud de Guelma est constituée d'une alternance d'assises gréseuses et de séries argileuses ou argilo-gréseuses. Les grès de Numidie sont fissurés et diaclases.

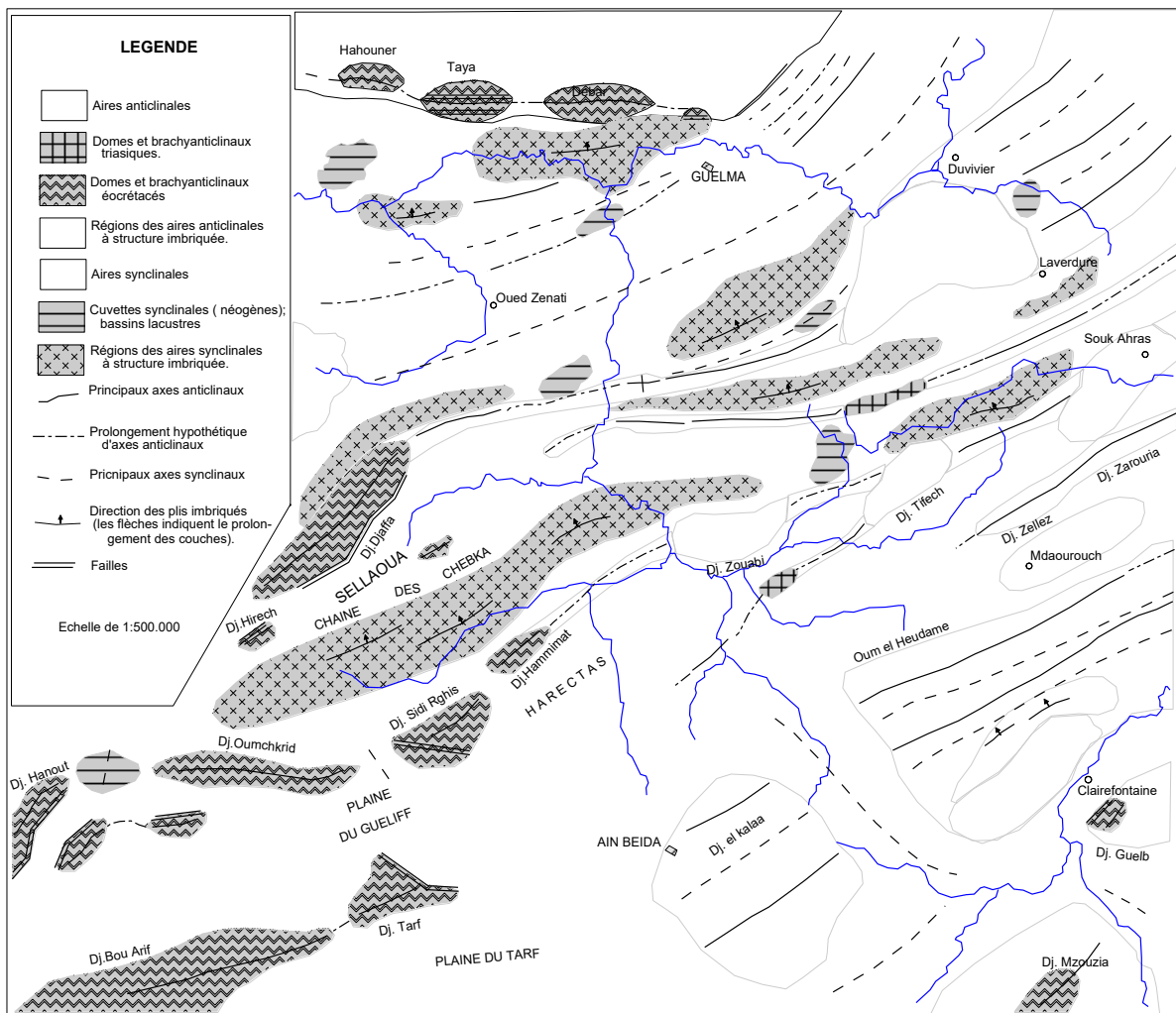


Figure 06. Carte tectonique schématique du bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines (Blayac, 1912 modifié).

Au Nord de Héliopolis, d'El Fedjouj et de Guelâat Bou Sbâa, affleurent des formations marneuses et schisteuses pauvres en eaux souterraines, alors qu'à l'Ouest de cette zone, s'élèvent les calcaires sénoniens au Djebel Debagh et Taya où l'infiltration est probablement importante.

Le centre du bassin est occupé par de dépôts quaternaires dont 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 comblé par les 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.

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

VI. 2. Bassin de Mellah

Il est dominé par trois grands ensembles lithologiques qui ne correspondent pas toujours aux zones hydrogéologiques. Au contact des calcaires et des assises marneuses, une réserve aquifère s'est constituée, comportant un niveau d'émergence à leur base.

Ces bancs calcaires sont suffisamment importants et perméable pour assurer une régularisation des niveaux aquifères en dépit de leur forte fissuration, le secteur amont de Mellah peut être considéré comme "le château d'eau" de la région. Au centre le trias domine, il est constitué d'argiles et de gypses broyés. Il joue un rôle fondamental de par son extension et sa forte teneur en sel. En effet, la fréquence de cet élément dont l'incidence sur la qualité des eaux de ruissellement et d'infiltration est très néfaste ne permet pas l'utilisation de l'eau de l'oued Seybouse en saison sèche au cours de la quelle les besoins sont accrus; seule la source de Châabet Oued Cheham à un débit sensible. Elle est captée pour l'alimentation en eau potable de Bouchegouf. Les alluvions des terrasses de Bouchegouf semblent plus angulaires que celles de Guelma. Elles sont moyennement perméables.

En résumé, le bassin de Mellah est considéré comme "une éponge" dans sa partie supérieure.

Ceci est mis en évidence par l'importance du débit des sources et son extrême régularité. Malheureusement, cette eau est rapidement contaminée par le sel de sa traversée du massif triasique du Nador.

Tableau 01. Description géologique et hydrogéologique des formations de la région d'étude (D'après Mouassa, 2007 in Mouchara, 2009).

Ere	Système	Lithologie	Epaisseur (m)	Intérêt hydrogéologique	
				perméabilité	type de nappe
Quaternaire	récent	-Alluvions actuelles : galets, calcaires, limons, travertins -Alluvions anciennes : 1. Basse terrasse : sables, cailloutis, limons. 2. Moyenne terrasse : sables, <cailloutis, galets, limons, conglomérats. 3. Haute terrasse : galets, conglomérats, limons. Sables.	15 30 - 50 100	Perméables	-Nappe de la basse terrasse -Nappe de la moyenne terrasse -Nappe de la haute terrasse
	ancien	tufs calcaires	-		/
Tertiaire	Mio-Pliocène	argile à gypse	-	impermeable	substratum
	Pliocène	Travertins	-	perméable	nappe des travertins

VII. Couvert végétal

La végétation intervient sous son aspect de couverture du sol, plus ou moins modifiée sous l'influence de l'homme. Deux classifications sont utilisées pour étudier le taux de

recouvrement de la végétation: la classification de Tricart (1968) et celle de Dubreuil et Guiscafne (1974) développée au sein de l'ORSTOM 5m (Mebarki, 2005).

La méthode de Tricart (1968) prône la classification du couvert végétal par ordre de densité (ou d'efficacité) décroissante. Celle-ci aboutit pour l'ensemble du bassin de la Seybouse aux résultats suivants, élaborés à partir de la carte internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis-Sfax et Alger sur le bassin de l'oued Seybouse (Mebarki, 2005), (figure 09):

Surfaces bien protégées : le couvert forestier et les prairies

Les forêts de Chêne liège et de chêne vert se localisent préférentiellement dans la zone nord-tellienne mais également dans le bassin sud-tellien de l'oued Mellah (zone de Mechroha et Ain Seynour). Dans la zone sud-tellienne, c'est le pin d'Alep qui occupe les zones forestières. D'après Mebarki (2005), ces deux formations occupent moins de 20 % de la surface dans les bassins de l'Algérie orientale, mais ce chiffre semble sur-estimé car il inclut les forêts à l'état de maquis dégradé et de broussailles dont la densité est plutôt faible. La majorité de ces surfaces bien protégées est localisée dans les zones formant les reliefs qui constituent les lignes de partage des eaux entre le bassin de la Seybouse et les bassins côtiers constantinois, le bassin inférieur de la Seybouse maritime, le bassin de l'oued Mellah et le bassin de l'oued Bouhamdane ;

Les surfaces mal protégées ou nues (terrains dénudés, steppe, broussailles) montrent environ de 25 % de la superficie totale du bassin ;

Les surfaces incomplètement protégées (terres labourées et arboriculture extensive) affectent la majeure partie des Hautes plaines, et une grande surface dans tous les bassins. Elles montent à 56 %.

Dans le bassin de l'oued Charef à la station de Moulin Rochefort, situé en dans le domaine des Hautes plaines, la couverture est distribuée comme suit:

- surfaces bien couvertes (prairies) : 2,6%
- surface montrant une couverture moyenne (céréales-jachère) : 73,4 %
- surfaces présentant une faible couverture : 24%

Globalement, la zone tellienne est le domaine de la forêt de chêne vert et de chêne liège, plante calcifuge qu'on trouve sur les sommets gréseux alors que le domaine atlasique, est celui du domaine de pin d'Alep et de genévriers rouges. La zone des Hautes Plaines est le domaine de la céréaliculture associée à l'élevage. Le bassin amont de l'oued Charef est très dénudé, alors que

dans le Bas-Charef, zone de transition avec le Tell, la végétation est plus diversifiée (Mebarki, 2005).

Le bassin de l'oued Mellah est le plus boisé (chêne liège), à cause des effets accordés avec l'altitude et la pluviométrie. Le taux de recouvrement de ce bassin est de 35%, la répartition du couvert végétal est très complexe, le même sous-bassin présente les trois types de couverture qui se différencient de l'amont à l'aval avec une prédominance des zones de cultures (d'après Ghachi, 1986 in Mebarki 2005).

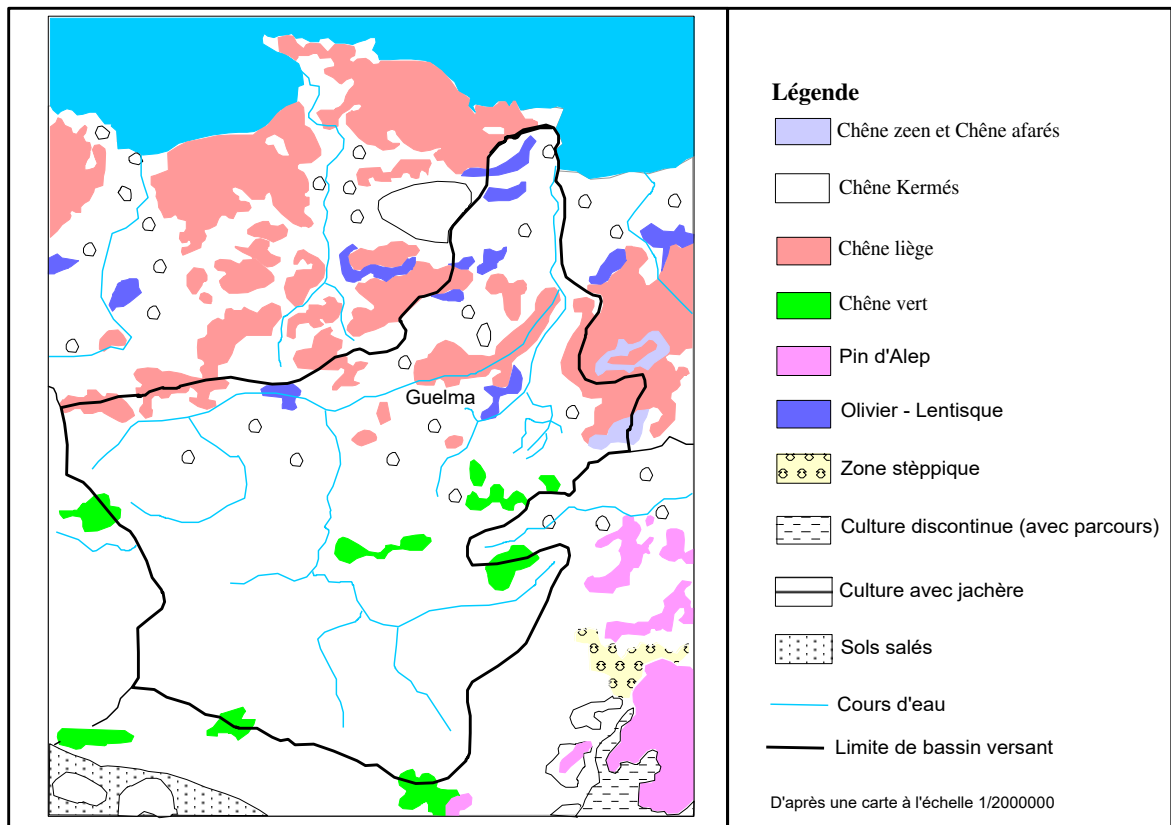


Figure 07. Couvert végétal du bassin de l'oued Seybouse (Mebarki, 2005 modifiée).

Conclusion

Le bassin versant de la Seybouse est l'un des importants bassins versants de l'Algérie. La zone d'étude fait partie du domaine externe de la chaîne Alpine de l'Algérie orientale. La région se divise en plusieurs ensembles topographiques présentant chacun des caractères et des problèmes géomorphologiques propres.

Les terrains qui constituent le sol et le sous sol sont variés et leurs âges oscillent entre le Trias et le Quaternaire. Du point de vue géomorphologique, la région d'étude correspond à une

dépression à valeur de bassin allongé d'Est en Ouest dans laquelle se sont accumulés des dépôts du Néogène et du Quaternaire.

Le couvert végétal est parfois dense parfois absent, il est souvent constitué par des plantes propres à la zone, les forêts occupent une place minoritaire présentent 19,771 ha de forêts (la forêt de Béni Salah, Houara et Mahouna) avec un taux de reboisement de 12 % dénote un effort considérable de reforestation du territoire, les zones des cultures en jachère occupent la majorité du terrain.

Hydroclimatologie

C
H
A
P
I
T
R
E

II

I. Introduction

L'analyse des données climatiques reste primordiale pour mener à bien toute étude hydrogéologique, elle permet de mettre en évidence l'importance des facteurs climatiques intervenant dans les écoulements et d'approcher les termes du bilan qui sont les précipitations, l'évapotranspiration, l'infiltration et le ruissellement.

L'étude climatologique est nécessaire à la compréhension des mécanismes de circulation des eaux superficielles et souterraines. Elle informe également sur l'évolution des éléments chimiques, la protection et la résolution des problèmes de pollution. Elle se base sur l'exploitation des données pluviométriques sont principalement ; la précipitation, la température, l'évapotranspiration et les différents termes du bilan hydrique.

II. Caractéristiques des stations de mesure

Le choix des stations de mesure est basé sur la représentativité de la zone d'étude et l'existence de séries complète (Figure 08). Pour réaliser notre travail nous avons utilisé les données collectées sur une période de 27 ans à la Station de Medjaz Amar et une période de 30 ans à la station de Belkheir, pour pouvoir utiliser le maximum des données plus récentes afin d'interpréter les paramètres climatiques mesurés au niveau des stations étudiés; dont les caractéristiques sont portées dans le tableau 02.

Tableau 02. Les caractéristiques géographiques et topographiques des stations pluviométriques.

Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période d'observation
Belkheir	7°28'45" E	36°27'39" N	218	1985 à 2015
Medjez Amar	7°19'0" E	36°27'0" N	270	1985 à 2012

III. Etude des paramètres climatiques

Les paramètres climatiques, jouent un rôle important dans le comportement hydrologique des cours d'eaux, de ce fait il est important de connaître leurs comportements spatio temporels. Nous nous intéresserons en premier aux variations des précipitations enregistrées au niveau des deux stations.

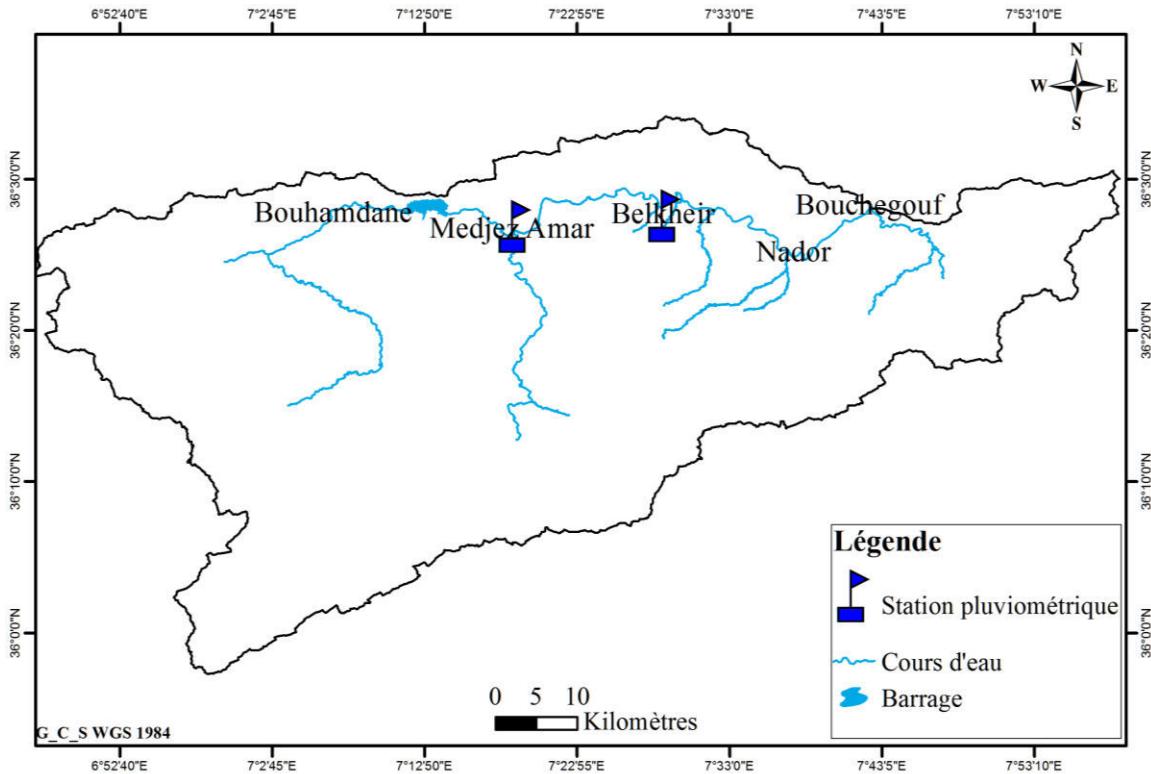


Figure 08. Localisation des stations pluviométriques (Khadri, 2017).

III. 1. Précipitations

Les précipitations sont un facteur essentiel caractérisant le climat d’une région et un élément principal du bilan hydrique. Les précipitations jouent un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d’eaux et dans l’alimentation éventuelle des nappes souterraines pour constituer à moyen terme des ressources mobilisables non négligeables.

III. 1. 1. Précipitations moyennes mensuelles

Le calcul de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré sur un grand nombre d’années (30 ans pour la station de Belkheir et 27 ans pour Medjez Amar) donne un aperçu sur les variations mensuelles pluriannuelles des précipitations. Les valeurs calculées pour les deux stations étudiées sont représentées dans le tableau suivant:

On remarque au niveau des deux stations que le mois de juillet demeure le plus sec, par opposition le mois de décembre et janvier reste les plus pluvieux.

Tableau 03 : Les précipitations moyennes mensuelles (mm).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Belkheir	40,12	45,01	67,60	82,38	81,46	72,30	66,92	59,38	47,30	16,40	3,56	14,52	595,08
Medjez ,A	41,83	43,9	65,3	85,31	89,88	70,24	62,15	55,25	46,14	19,27	5,08	12,53	594,71

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations, représentées par la figure 09, montrent une variation inter mensuelle des pluies. Cette variation traduit une forte irrégularité entre les différents mois de l'année hydrologique. L'histogramme montre une hétérogénéité importante des précipitations d'un mois à l'autre avec un maximum de l'ordre de 82,38 mm à Belkheir au mois de Décembre et de 89,88 mm au niveau de la station de Medjez Amar durant le mois de Janvier. Les précipitations minimales sont enregistrées pendant le mois de juillet (de 3,56 mm à la station de Belkheir et 5,08 à la station de Medjez Amar).

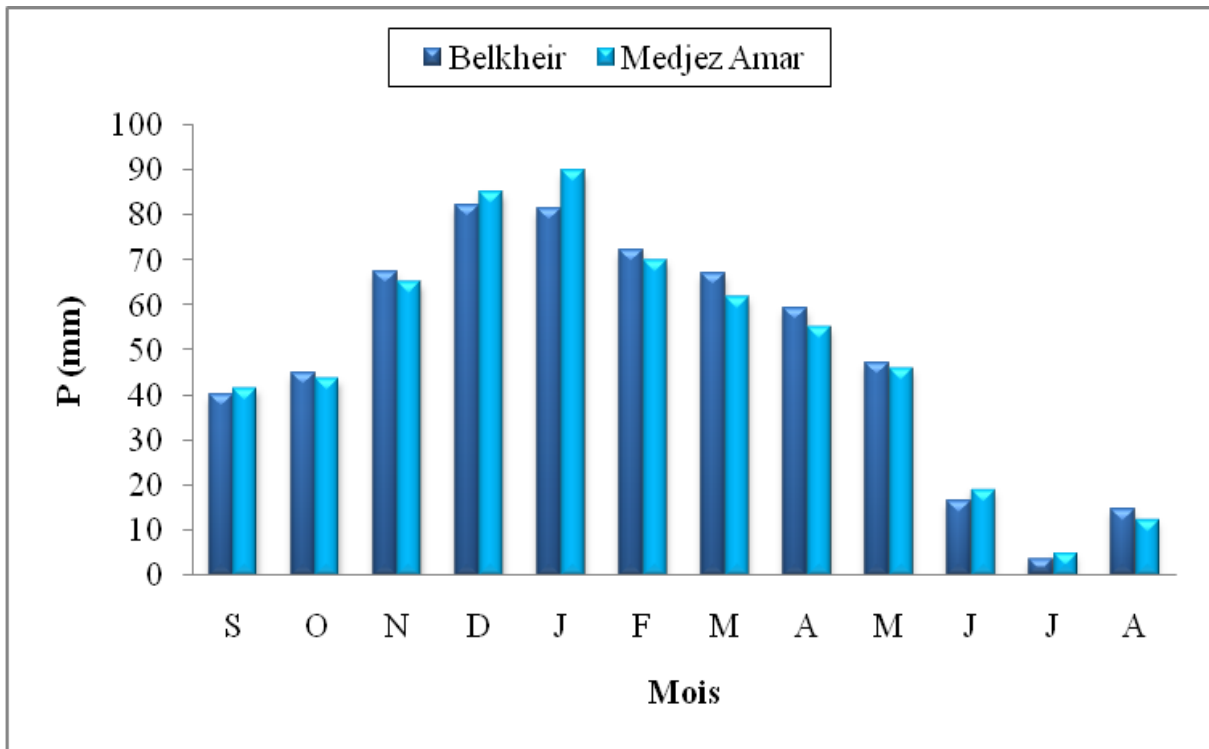


Figure 09. Variation des précipitations moyennes mensuelles.

I. 1. 2. Précipitations saisonnière

Il est connu que le taux des précipitations diffère d’une saison à l’autre, pour déterminer les quantités. Le tableau 04 récapitule les valeurs des hauteurs saisonnières des deux stations observées dans cette étude.

Tableau 04 : Variation des précipitations saisonnière.

Saisons Station	Automne		Hiver		Printemps		Été		Totale	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Belkhier	152,73	25,66	236,14	39,68	173,6	29,17	34,48	5,79	595,08	100
Medjez Amar	151,03	25,39	245,43	41,26	163,54	27,50	36,88	6,20	594,71	100

Il ressort du tableau 04 que la saison la plus pluvieuse pour les deux stations est l’hiver et la saison la plus sèche est l’été, la pluviométrie enregistrée est la plus faible par apport aux autres saisons.

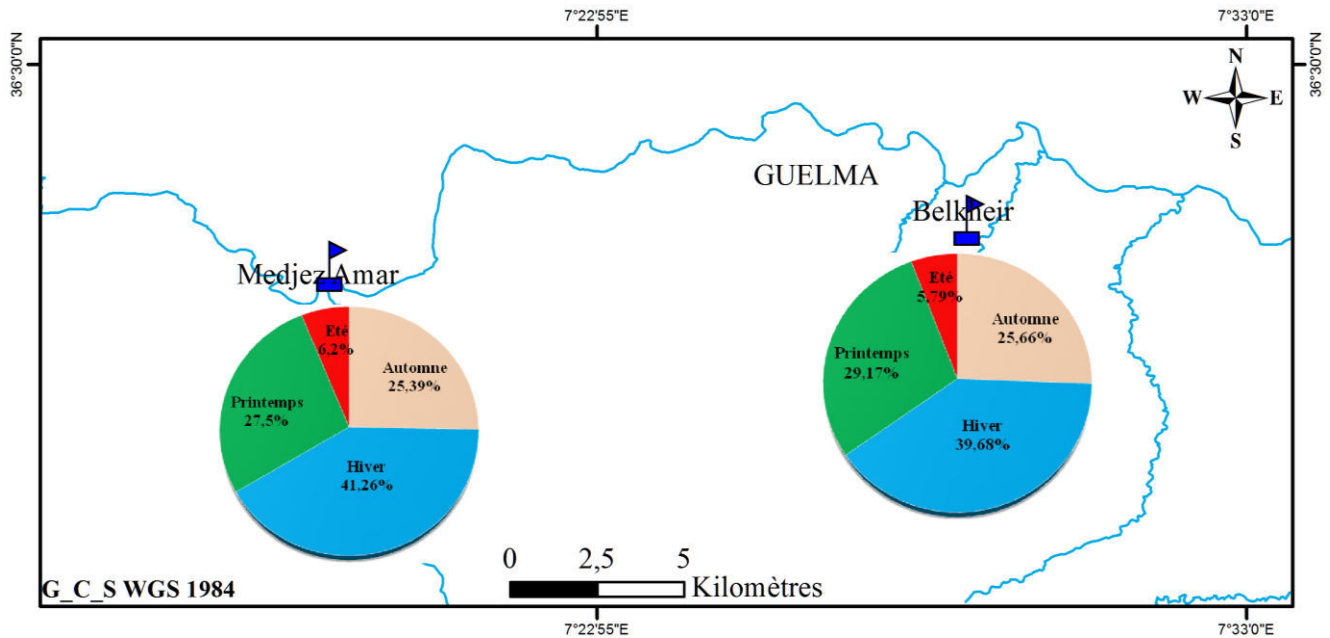


Figure 10. Répartition saisonnière des précipitations (Khadri, 2017).

III .1. 3. Précipitations moyennes annuelles

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

La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le coefficient pluviométrique (CP). Ce paramètre est très important dans la détermination des années

excédentaires et déficitaires. Il est obtenu par le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne d'une série à une station donnée.

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

Avec :

CP : Coefficient pluviométrique.

P : Hauteur des pluies annuelles (mm).

\bar{P} : Moyenne annuelle pluviométrique (mm)

Le coefficient pluviométrique est en relation proportionnelle avec la pluviométrie, nous avons deux cas :

- CP > 1: année excédentaire.

- CP < 1: année déficitaire.

La pluviométrie annuelle moyenne \bar{P} de chaque station est :

Station de Belkheir: $\bar{P} = 596,99$ mm.

Station de Medjez Amar: $\bar{P} = 594,71$ mm.

Le calcul du coefficient de variation durant les périodes d'observation (figure 11) met en évidence les années déficitaires et excédentaires pour les deux stations.

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

La figure 12 et 13, illustrent les variations des précipitations par rapport à la moyenne qui atteint au niveau de la station de Belkheir 596,99 mm sur une période de 30ans, et à la station de Medjez Amar de l'ordre de 594,71mm. Les valeurs des précipitations moyennes annuelles permettent de caractériser la pluviosité de chaque année. Au niveau de deux stations, on remarque que l'année la plus pluvieuse est 2003/2004 pour Belkheir et l'année 2002/2003 est au niveau de la station de Medjez Amar. Les précipitations annuelles enregistrées sont respectivement de 866,1 mm à Belkheir et 946,4 mm à Medjez Amar. Par contre l'année la plus sèche est l'année 1996/1997 pour les deux stations avec une valeur de 291,7 mm à la station de Belkheir et 316,1 mm pour la station de Medjez Amar.

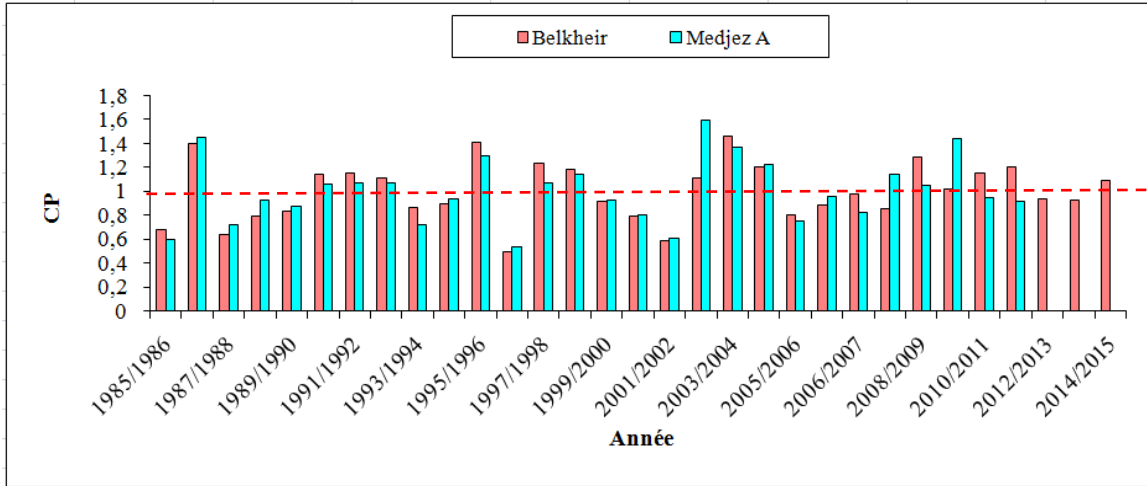


Figure 11. Les variations du coefficient pluviométrique.

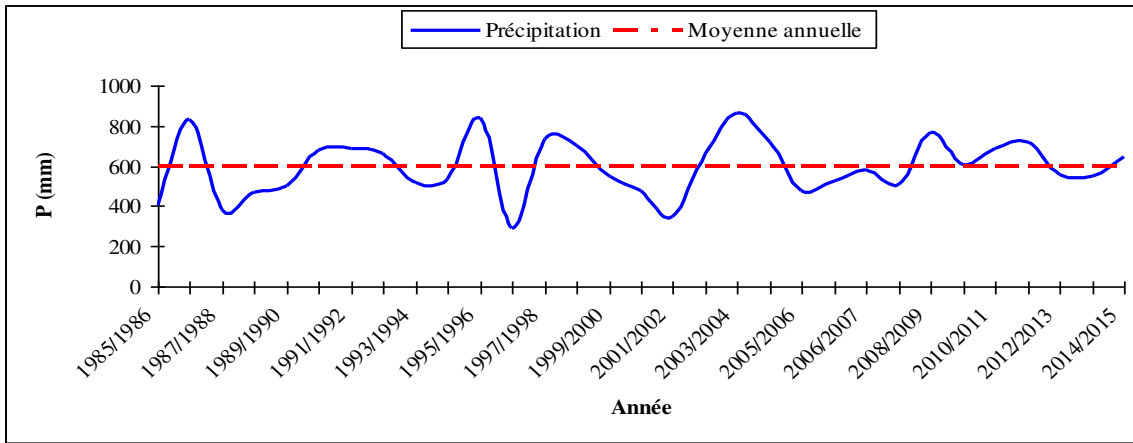


Figure 12. Les variations annuelles des précipitations Station Belkheir.

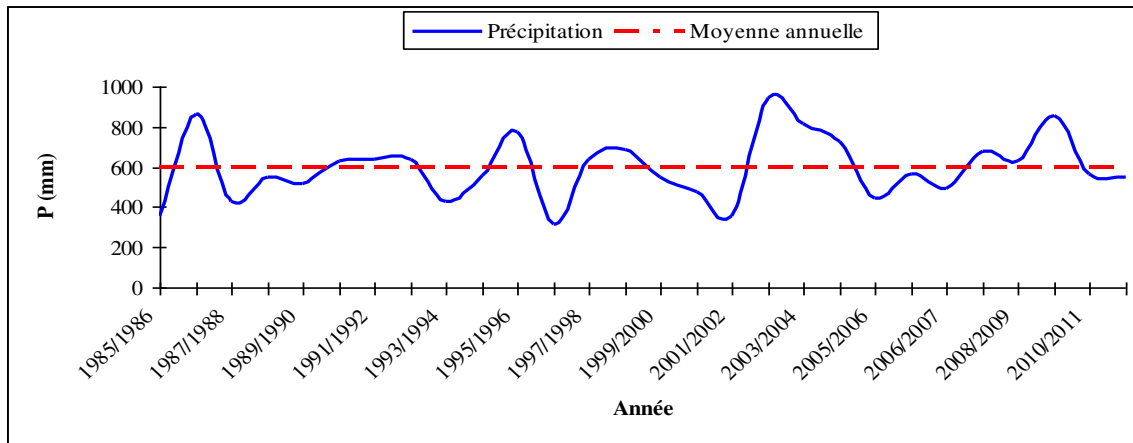


Figure 13. Les variations annuelles des précipitations Station Medjez Amar.

Les fluctuations que font les courbes par rapport à la moyenne nous indiquent les années pluvieuses et les années sèches. D'une façon générale les figures 12 et 13 montrent que le nombre d'années humides est nettement inférieur à celui du nombre d'années sèches.

III. 2. Température

Les températures sont un facteur climatique très important qui régit directement, en interaction avec les autres facteurs météorologiques (humidité, précipitation,...etc) et biogéographiques, le développement de la végétation, le phénomène de l'évapotranspiration et ainsi que le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Pour l'étude des températures, nous avons utilisée les données disponibles qui sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau des stations de Belkheir (1985/2015). Les valeurs sont portées dans le tableau 05.

Tableau 05 : Températures moyennes mensuelles.

Station	Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Belkheir	Moy	23,95	20,08	14,7	10,96	9,77	10,13	12,38	14,91	18,81	23,71	27,14	27,57

Dans l'histogramme de la température moyenne mensuelle (figure 14) nous constatons une variation progressive des températures au cours de l'année et nous remarquons aussi que le mois le plus chaud est le mois d'Aout avec une température de l'ordre de 27,52 ° C. Le mois le plus froid est le mois de Janvier avec 9,77 ° C à la station de Belkheir.

III. 3. Classification climatique en fonction des indices d'aridité

La classification des climats répond au besoin d'organiser et de synthétiser notre connaissance des différents types de climats et des données observées, afin de s'adapter au mieux à notre environnement. Nous pouvons classer le climat selon les méthodes qu'elles utilisent, selon les données qu'elles utilisent et selon les objectifs qu'elles visent.

L'indice d'aridité est une valeur numérique censée représenter le degré de sécheresse du climat à un endroit donné. Les gradients de ces indices peuvent également servir à délimiter des zones en fonction de leur pluviométrie. Ces indices peuvent être utilisés, tels quels, pour les

activités comme l'agriculture, l'élevage ou le tourisme. Ces indices peuvent également être utilisés, parmi d'autres, comme facteur pouvant permettre une classification du climat.

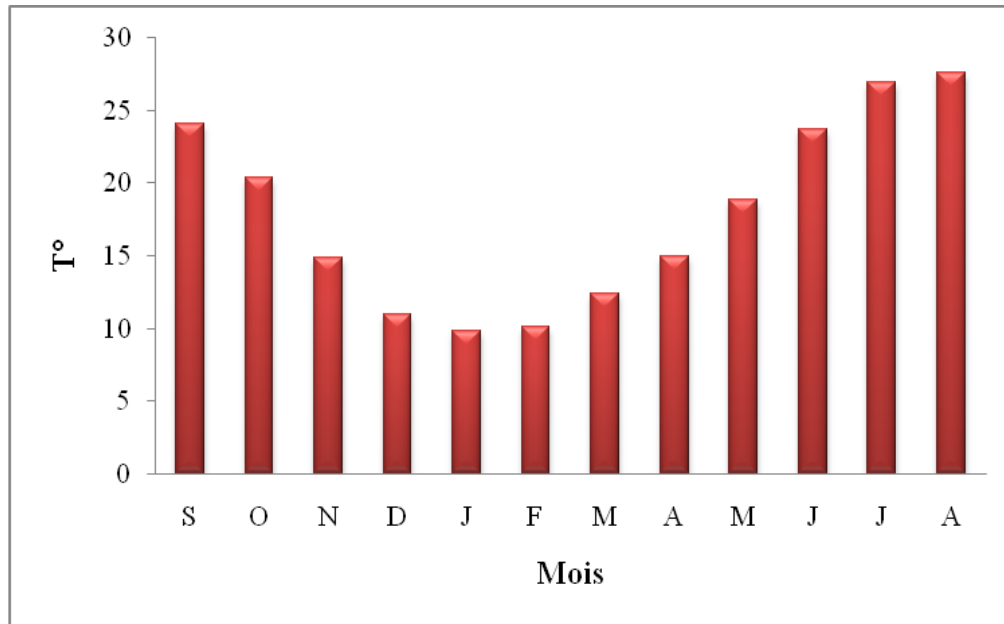


Figure 14. Variation des températures moyennes mensuelles.

III. 3. 1. Indice d'aridité de De Martonne

Le géographe français Emmanuel de Martonne élabore un système de classification des climats par une méthode statistique. Il utilise un indice synthétique regroupant des données hydrométriques et thermiques, De Martonne (1923) a défini l'aridité du climat à l'échelle annuelle par le quotient A (figure 14) :

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

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

- A : Indice d'aridité annuelle
- P : précipitation moyenne annuelle en mm.
- T : température moyenne annuelle en °C.

Le type de climat selon la valeur de l'indice de DE Martonne :

- $A < 5$: 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.
- $30 < A < 55$: Humide.

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

Tableau 06 : Indice annuel d'aridité (A).

Station	P	T	A	Observation
Medjez Amar	594,71	17,81	21,38	Climat tempéré
Belkheir	596,99	17,81	21,45	Climat tempéré

Nous notons que les deux stations montrent un climat tempéré, où l'on note que la station de Guelma est la plus tempérée que celles de (Figure 15).

III. 3. 1. 1. Indice d'aridité mensuel

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

L'indice d'aridité mensuel est :

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

Où :

IDM : Indice d'aridité mensuel.

P : Précipitations moyennes mensuelles en mm.

T : Température moyenne mensuelle en °C.

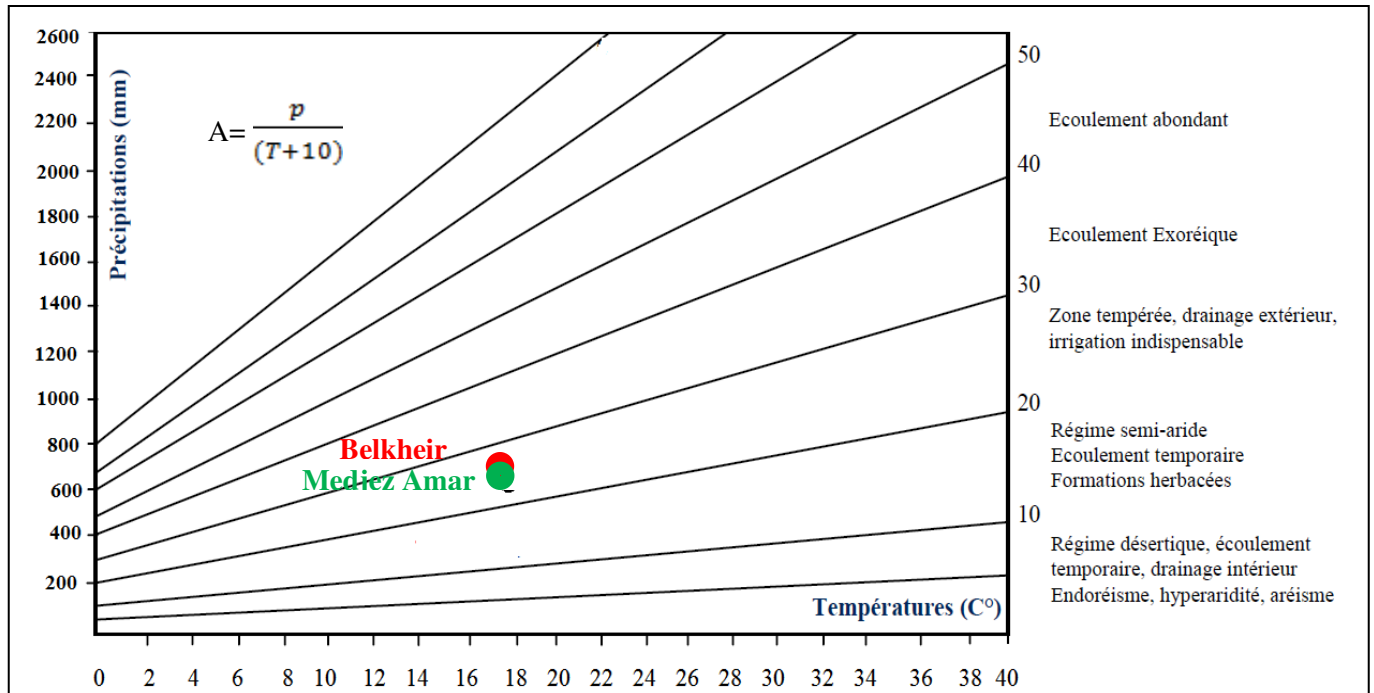


Figure 15. Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.

L'indice de De Martonne a été utilisé avec succès pour différentes études sur la répartition des essences.

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

Tableau 07 : Indices d'aridité mensuels (IDM).

Mois	Guelma	Medjez Amar	Moyenne IDM	Etage bioclimatique
S	14,17	14,78	14,47	Semi aride
O	17,95	17,51	17,73	Semi aride
N	32,84	32,72	32,78	Humide
D	47,16	48,84	48	Humide
J	49,44	54,55	51,99	Humide

F	43,10	41,87	42,48	Humide
M	35,88	33,32	34,6	Humide
A	28,60	26,61	27,60	Tempéré
M	19,70	19,21	19,45	Semi aride
J	5,90	6,85	6,37	Désertique
J	1,15	1,64	1,39	Hyperaride
A	4,64	4,00	4,32	Hyperaride

III. 4. Diagramme pluviométrique de Gausson ($P = 2T$)

L'indice d'aridité de Gausson est encore à l'heure actuelle un des indices les plus utilisés, cet indice tient compte des moyennes mensuelles des précipitations (p en mm) et de la température (t en °C) et donne une expression relative de la sécheresse estivale en durée et en intensité (Gausson et Bagnouls, 1952).

Pour repérer les mois secs et humides et mettre en évidence les périodes de sécheresse d'une localité, on trace généralement le diagramme ombrothermique. Un mois donné est considéré comme sec quand $p < 2t$, c'est-à-dire quand les pertes en eau (supposées causées par une température trop forte) sont supérieures aux apports (précipitations). Inversement, quand $p > 2t$, le mois est considéré comme humide.

Le diagramme ombrothermique établi (figure 16 et 17) montre l'existence de deux saisons bien distinctes:

- Une saison estivale sèche et chaude qui s'étale du mois de Mai jusqu'à le mois de Septembre à Belkheir et du mois de mai jusqu'au mois d'octobre pour la station de Medjez Amar.

- Une saison hivernale humide plus longue qui dure environ sept mois débutant de Octobre jusqu'au mois de Mai.

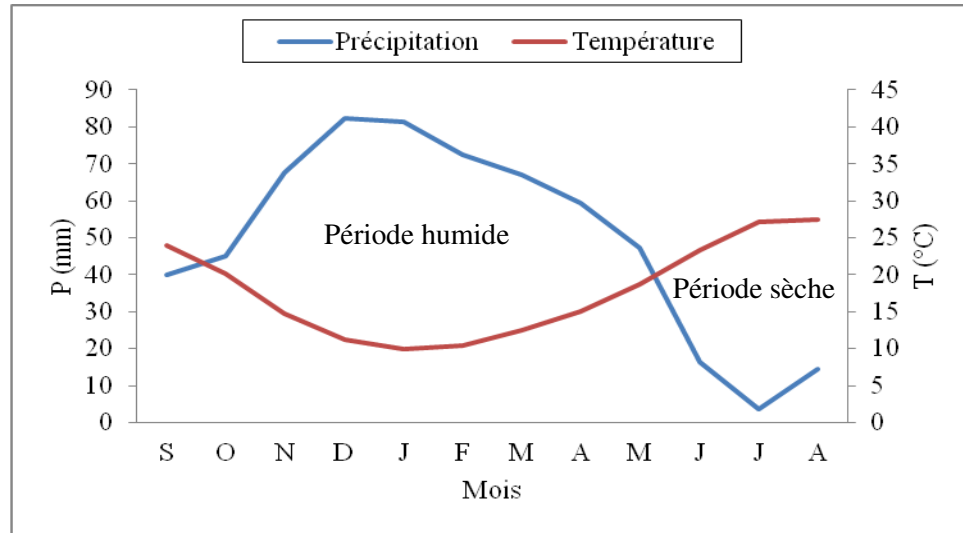


Figure 16. Diagramme ombrothermique de la station de Belkheir.

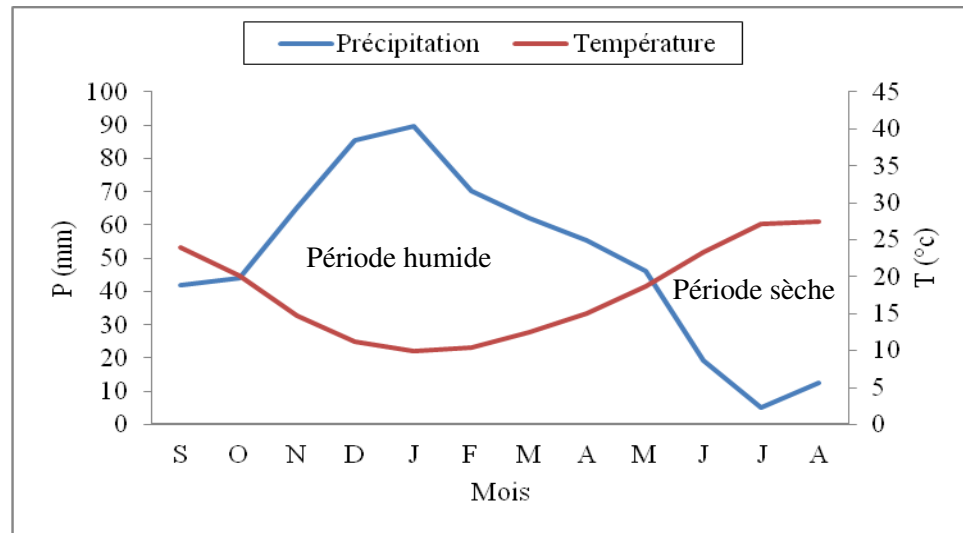


Figure 17. Diagramme ombrothermique de la station de Medjez Amar.

III. 5. Estimation des paramètres du bilan hydrique

Le bilan de l'eau est fonction d'un certain nombre de facteurs, dont les précipitations, l'infiltration et surtout l'évapotranspiration. Il nous permet d'évaluer les effets du climat sur l'écoulement dans le bassin versant et tient compte uniquement des entrées et des sorties, qui s'effectuent par voie atmosphérique.

III. 5.1. Evapotranspiration

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

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

On distingue :

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

III.5.1. 1. Evapotranspiration potentielle (ETP)

On appelle évapotranspiration potentielle (ETP), exprimé en hauteur de lame ou tranche d'eau évaporée, la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie, en considérant des apports d'eau suffisants.

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

$$i = \left[\frac{T}{5} \right]^{1.5} \quad ; \quad I = \sum_1^{12} i \quad ; \quad a = \left(\frac{1,6}{100} \right) I + 0,5$$

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

Avec:

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

T : Température moyenne mensuelle en °C

i : Indice thermique mensuel.

I : Indice thermique annuel.

K : Coefficient d'ajustement.

III.5. 1. 2. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement (ETR) la somme de l'évaporation et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

Nous avons essayé d'estimer l'évapotranspiration réelle par les formules suivantes :

- Formule de Thornthwaite.
- Formule de Turc.
- Formule de Coutagne.

a. Formule de Thornthwaite (Voir tableau 12 et 13).

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

b. Formule de Turc

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

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{Avec : } L = 300 + 25 \times T + 0,05 \times T^3$$

P : Précipitations moyennes annuelles (mm)

T : Températures moyennes annuelles (°C)

ETR : Evapotranspiration réelle (mm)

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

A partir de cette méthode les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 08. Résultats de l'ETR par la méthode de Turc.

Paramètres	P (mm)	ETR (mm/an)
Station de Belkheir	596,99	536,10

Station de Medjez. A	594,71	535,19
----------------------	--------	--------

c. Formule de Coutagne

Cette formule fait appel à deux paramètres indispensables en climatologie, mais sous une autre procédure (formule) de calcul.

$$ETR = P - \lambda P^2$$

Avec :

$$\lambda = 1 / (0,8 + 0,14T)$$

ETR : Evapotranspiration réelle en mm.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

T : Température moyenne annuelle en °C

Cette formule n'est valable que si les précipitations sont comprises entre $1/8\lambda < p \text{ (m)} < 1/2\lambda$.

Tableau 09. Vérification de la condition $1/8\lambda < p \text{ (m)} < 1/2\lambda$.

Station	λ	$1/8\lambda$	$< p \text{ (m)} <$	$1/2\lambda$
Belkheir	0,303	0,412	0,596	1,650
Medjez Amar	0,303	0,412	0,594	1,650

Ces valeurs permettent de déterminer les valeurs de l'ETR pour les deux stations pour les quelles on a dressé le tableau suivant :

Tableau 10. ETR selon la méthode de Coutagne.

Paramètre Station	P (m)	T °C	λ	ETR (m)	ETR (mm/an)
Belkheir	0,596	17,82	0,303	0,488	488,14
Medjez Amar	0,594	17,82	0,303	0,486	486,86

Comparaison

La comparaison est utile car elle permet de choisir la méthode appropriée pour la zone d'étude. La formule de Thornthwaite semble la plus convenable à la région.

L'ETR, calculée par la méthode de Turc semble surestimée pour tous les mois de l'année. Cependant les formules de Thornthwaite et de Coutagne présentent des résultats assez proches de

la réalité mais la méthode de Thornthwaite a été souvent utilisée avec succès dans ces régions, en plus elle prend en considération un coefficient de correction.

Tableau 11. Corrélation des climats.

Méthode	Belkheir	Medjez Amar
Thornthwaite	442,3	448,1
Turc	536,10	535,19
Coutagne	488,14	486,86

III. 5. 2. Calcul du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite

Le procédé de calcul pour le bilan, consiste les étapes suivantes :

- $P=ETP$: les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol, il n'y aura donc pas de surplus pour alimenter le RFU.
- $P>ETP$

●L'ETR=ETP

- L'excédent des précipitations sur l'ETP, est emmagasiné dans l'humidité du sol, dont il augmente la réserve jusqu'à ce que ce dernier soit saturé.
- La partie de l'excédent dépassant éventuellement la réserve cumulée et se trouve disponible pour l'alimentation de l'écoulement de surface et des nappes profondes.

- $P<ETP$: l'ETR=P, plus tout ou partie de la réserve d'eau du sol, celle ci est mobilisée comme suit :

- Si le RFU est assez forte pour combler l'insuffisance des précipitations, l'ETR=ETP.
- Si la réserve d'humidité du sol, est insuffisante pour satisfaire l'ETP, donc l'ETR reste inférieure à l'ETP, qui implique que l'ETR égale aux précipitations du mois plus la réserve disponible. Le déficit agricole (représente la quantité d'eau nécessité pour les plantes) est égale l'ETP- ETR. Les résultats de calcule sont consignés dans les tableaux 12 et 13.

III. 3.2.1. Interprétation du Bilan hydrique

L'établissement du bilan hydrique a pour but, de connaître les différents paramètres (ETP, ETR, RFU, DA, Exc), qui nous aident à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrauliques de surface. Les tableaux 12 et 13 permettent un certain nombre d'observation :

L'année hydrologique se divise en deux périodes : la première où les précipitations dépassent l'évapotranspiration potentielle, correspond au mois de novembre, décembre, janvier,

février, mars, avril. (Figure 18, 19).

Tableau 12. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite
Station Belkheir (1985/2015).

	T °C	i	K	ETP	P (mm)	BH	RFU	ETR	Def	Exc
S	24,08	10,8	1,03	113,4	40,12	-73,3	0,0	40,1	73,3	0,0
O	20,35	8,4	0,97	77,7	45,01	-32,7	0,0	45,0	32,7	0,0
N	14,82	5,2	0,86	37,9	67,6	29,7	29,7	37,9	0,0	0,0
D	10,96	3,3	0,81	20,2	82,38	62,2	91,8	20,2	0,0	0,0
J	9,77	2,8	0,87	17,5	81,46	64,0	100,0	17,5	0,0	55,8
F	10,13	2,9	0,85	18,3	72,3	54,0	100,0	18,3	0,0	54,0
M	12,38	3,9	1,03	32,4	66,92	34,6	100,0	32,4	0,0	34,6
A	14,91	5,2	1,10	49,1	59,38	10,3	100,0	49,1	0,0	10,3
M	18,81	7,4	1,21	83,6	47,3	-36,3	63,7	83,6	0,0	0,0
J	23,71	10,6	1,22	130,4	16,4	-114,0	0,0	80,1	50,3	0,0
J	26,97	12,8	1,24	169,0	3,56	-165,4	0,0	3,6	165,4	0,0
A	27,57	13,3	1,16	164,8	14,51	-150,3	0,0	14,5	150,3	0,0
Annuel	17,9	86,6		914,3	596,9	-317,3		442,2	472,1	154,7

Tableau 13. Bilan hydrique selon la méthode de C.W Thornthwaite.
Station de Medjez Amar (1985/2012).

	T °C	i	K	ETP	P (mm)	BH	RFU	ETR	Def	Exc
S	24,08	10,7	1,03	113,4	41,83	-71,5	0,0	41,8	71,5	0,0
O	20,35	8,2	0,97	77,7	43,9	-33,8	0,0	43,9	33,8	0,0
N	14,82	5,1	0,86	37,9	65,3	27,4	27,4	37,9	0,0	0,0
D	10,96	3,4	0,81	20,2	85,31	65,1	92,5	20,2	0,0	0,0
J	9,77	2,9	0,87	17,5	89,88	72,4	100,0	17,5	0,0	64,9
F	10,13	3,1	0,85	18,3	70,24	51,9	100,0	18,3	0,0	51,9
M	12,38	4,0	1,03	32,4	62,15	29,8	100,0	32,4	0,0	29,8
A	14,91	5,3	1,10	49,1	55,25	6,2	100,0	49,1	0,0	6,2
M	18,81	7,4	1,21	83,6	46,14	-37,5	62,5	83,6	0,0	0,0
J	23,71	10,3	1,22	130,4	19,27	-111,2	0,0	81,8	48,6	0,0
J	26,97	12,9	1,24	169,0	5,08	-163,9	0,0	5,1	163,9	0,0
A	27,57	13,2	1,16	164,8	12,53	-152,3	0,0	12,5	152,3	0,0
Annuel	17,9	86,6		914,3	594,71	-317,4		441,4	470,2	152,8

Durant cette période, les précipitations atteignent leur maximum et l'ETP enregistre ses valeurs les plus faibles, et l'inverse se produit durant les mois restants.

Lorsque la RFU est totale, il y a un excédent d'eau, dès qu'elle diminue, il y a un épuisement du stock qui s'accompagne par un déficit agricole. Pour les deux stations, le déficit commence à partir du mois de juin et se poursuit jusqu'au mois d'octobre.

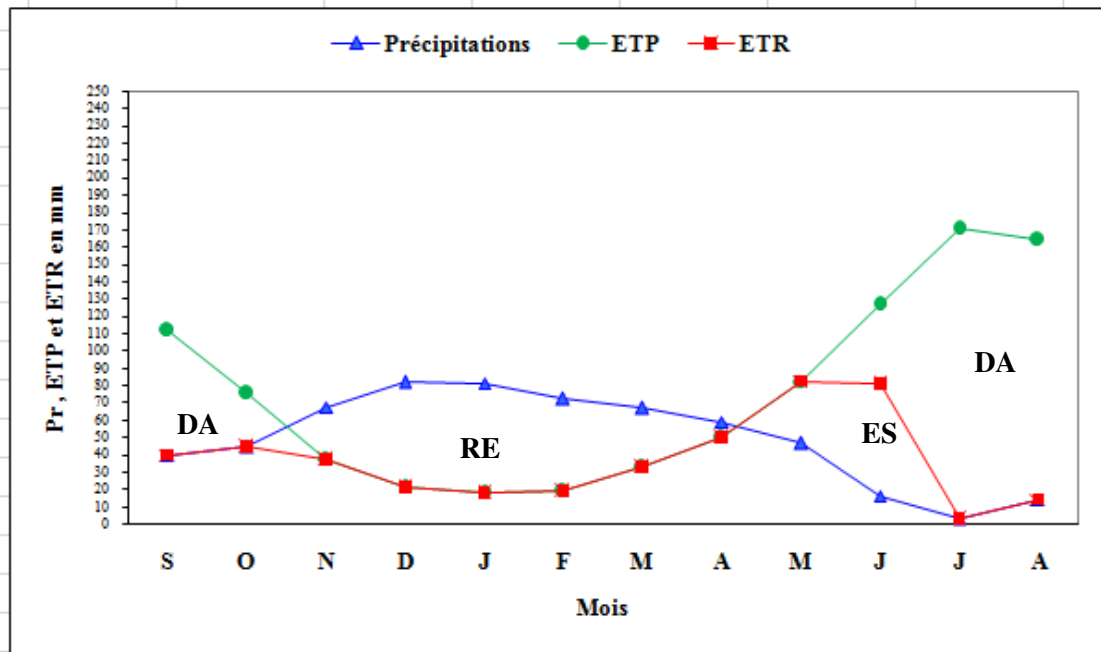


Figure 18. Moyennes pluriannuelles des éléments climatiques à la station de Belkheir (1985-2015).

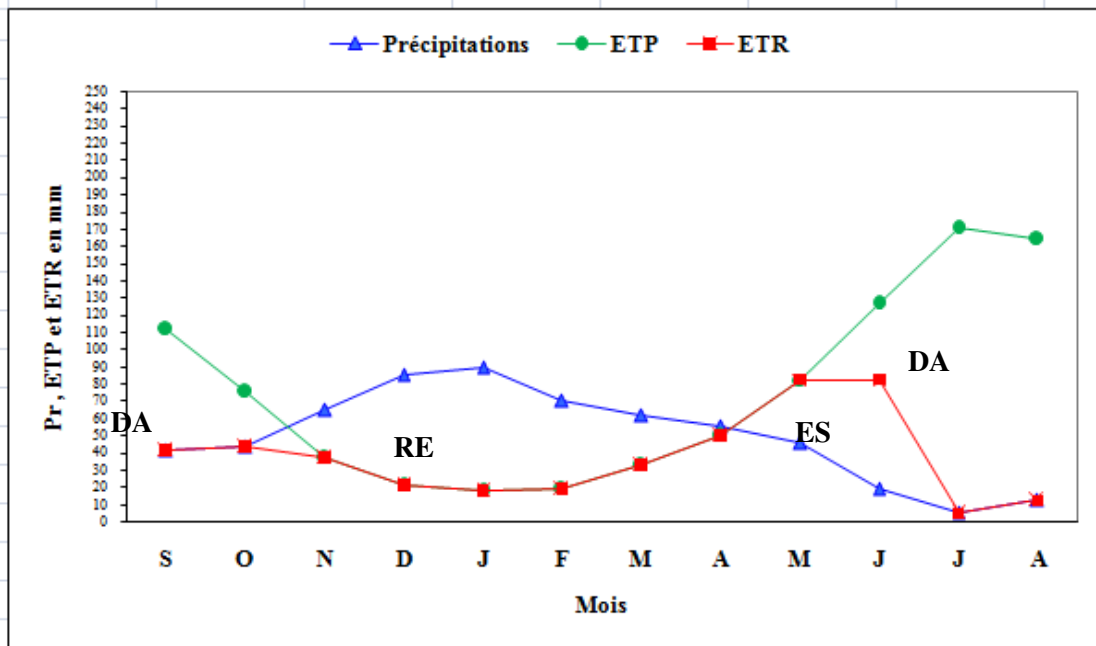


Figure 19. Moyennes pluriannuelles des éléments climatiques à la station de Medjez Amar (1985- 2012).

D'après le bilan hydrique des deux stations, selon la méthode de Thornthwaite, la RFU (réserve facilement utilisable) commence à se reconstituer à partir du mois d'octobre pour atteindre son maximum (100 mm) de Janvier à Avril pour les deux stations. Le surplus d'eau alimente le ruissellement et l'infiltration. La RFU diminue à partir du mois de Mai jusqu'à ce qu'elle soit totalement épuisée au mois de Juin, caractérisant le déficit agricole (DA) qui se poursuit jusqu'à Octobre. L'ETP atteint son maximum au mois de juillet (169 mm pour les deux stations), son minimum au mois de Janvier avec une valeur de 17,3 mm, l'Excédent à partir du mois de Janvier et s'étale jusqu'au mois d'Avril avec un maximum au mois de Janvier à la station de Belkheir de 55,8 mm et de 64,9 mm à la station de Medjez Amar, l'épuisement du stock commence au mois d'Avril et se termine au mois de Juillet avec un déficit agricole maximum au mois de Juillet où l'irrigation devient nécessaire.

III. 5. 3. Ruissellement

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

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

$$R = P^3 / 3 \dots\dots\dots(1)$$

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

$$R = P^3 / 3.(ETP)^2 \dots\dots\dots (2)$$

Avec :

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

Les précipitations enregistrées dans la région d'étude sont inférieure à 600 mm pour les deux stations, la formule utilisée est celle de Tixeront (2). La lame d'eau ruisselée des précipitations des deux stations est reportée dans le tableau 14 :

Tableau 14. Résultats du ruissellement.

Stations	P (m)	ETP (m)	R (m)
Belkheir	0,596	0,914	0,084
Medjez Amar	0,594	0,914	0,083

III. 5. 4. Infiltration

L'infiltration est un facteur qui régit sur l'équation du bilan hydrologique, nous pouvons le déduire comme :

On a le Bilan global :

$$P = R + I + ETR$$

Donc :

$$I = P - R - ETR$$

Avec :

P : Précipitation moyennes mensuelles (mm).

R : Ruissellement (mm).

I : L'infiltration (mm).

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

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

Tableau 15. Estimation de l'infiltration par la méthode de Thornthwaite.

Paramètres Stations	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
Belkheir	596,99	442,3	84	70,69
Medjez Amar	594,71	441,4	83	70,31

Conclusion

Les caractéristiques climatiques du bassin versant de l'oued Seybouse sont étroitement liées à sa position géographique et à son relief.

Au terme de cette étude, on retiendra que la région d'étude est soumise à un climat tempéré, caractérisé par des précipitations annuelles relativement élevées de 596,99 mm au niveau de la station de Belkheir et 594,71 mm dans la station de Medjez Amar. L'évolution annuelle des précipitations et des températures, permet de distinguer deux période ; une période chaude et sèche et une autre période froide et humide.

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

Hydrologie

*C
H
A
P
I
T
R
E*

III

I. Introduction

La connaissance du milieu naturel du bassin est indispensable pour la protection des eaux superficielles contre la pollution nous conduit à évaluer les paramètres morphométriques et hydrologiques du bassin versant qui jouent un rôle important dans l'écoulement des eaux superficielles.

Dans cette partie, nous avons procédé à la délimitation du bassin versant et la détermination des caractéristiques morphométriques, en intégrant l'outil SIG (ArcGis, Global mapper15). Cet outil permet de donner automatiquement des informations caractérisant la morphologie et relief du bassin à partir d'un modèle numérique du terrain. Nous utiliserons les méthodes empiriques pour pouvoir estimer les débits maximums, cette simulation permet de comprendre le comportement hydrologique du bassin versant.

II. Caractéristiques géométriques

II.1 Surface

La surface du bassin d'un cours d'eau donné en un point de ceci est l'aire limitée par le contour, à l'intérieur duquel l'eau précipitée se dirige vers ce point. La surface d'un bassin versant est délimitée par les lignes de crêtes, à l'intérieur duquel l'eau de pluie s'accumule et s'oriente vers les cours d'eau. C'est un paramètre très important qui influe sur tous les éléments hydrologique du bassin versant (débit, bilan, écoulement, ...).

La superficie du bassin versant étudié est obtenue automatiquement à l'aide du logiciel Arcgis à partir des cartes SRTM30 (Shuttle Radar Topography Mission with resolution of 30 m), des techniques utilisées qui facilitent l'extraction des limites du bassin versant et les calculs géométriques, qui ont abouti à la valeur suivante :

$$S = 3645,21 \text{ km}^2$$

II.2 Périmètre

Le périmètre représente toutes les irrégularités du contour ou de la limite du bassin versant, il est exprimé en km. Le contour du bassin est constitué par une ligne joignant tous les points les plus élevés (Riad, 2003). Le périmètre du bassin étudié a été calculé automatiquement à l'aide du logiciel ArcGis. La valeur du P est la suivante :

$$P = 387,29 \text{ km}$$

II. 3. Forme

Un bassin versant est défini en premier lieu par son contour, qui a une certaine forme et enclot une certaine superficie A. Il est évident que cette forme va avoir une influence sur l'écoulement global et surtout sur l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée (Roche, 1963). Il est établi en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle qui aurait la même surface. Il s'exprime par la formule suivante (Roche, 1963):

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

K_G : l'indice de compacité de Gravelius,

A : surface du bassin versant [km^2],

P : périmètre du bassin [km].

Quand le K_G d'un bassin versant est proche de 1 il donne une forme circulaire et dans le cas où il est supérieur à 1 le bassin versant est allongé.

L'application numérique de l'équation précédente donne le résultat suivant : $K_G = 1,79$; $K_G > 1$ Le cas du bassin étudié présente une forme allongée

II.4 Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est utilisé pour caractériser la forme d'un bassin pour pouvoir comparer facilement des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement (Roche, 1963). Il prend alors une forme rectangulaire tout en gardant la même superficie, le même périmètre, le même indice de compacité et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Dans ce cas, les courbes de niveau deviennent parallèles aux cotés du rectangle équivalent. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau (Riad, 2003).

Plus un rectangle équivalent est allongé moins il sera drainé. Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes (Roche, 1963) :

La longueur L :

$$L = K_G \frac{\sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right]$$

La largeur l :

$$l = K_G \frac{\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right]$$

Avec :

K_G : Indice de compacité de Gravelius

A : Superficie du bassin versant en km²

L : Longueur du rectangle équivalent en km

l : Largeur du rectangle équivalent en km.

Nous obtenons :

La longueur :

$$L = 97,1 \text{ km}$$

La largeur:

$$l = 59,81 \text{ km}$$

III. Paramètres du relief

Le relief est un élément essentiel fondamental dans le comportement hydrologique d'un bassin, il influe sur l'écoulement et la morphologie du bassin. Le relief détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation (Bouanani, 2004), en outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Une pente plus forte provoque un écoulement rapide, donc un temps de concentration plus court et une montée plus rapide des crues.

La représentation cartographique de l'altitude des reliefs est reportée dans la figure 20, par la contribution de logiciel ArcGis et sur la base des cartes SRTM30, qui nous renseigne sur les altitudes caractéristiques du bassin, la carte hypsométrique est obtenue par la reclassification des altitudes en tranche.

Nous avons estimé automatiquement les surfaces partielles et les pourcentages de surface à partir de logiciel ArcGis pour établir la courbe hypsométrique. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

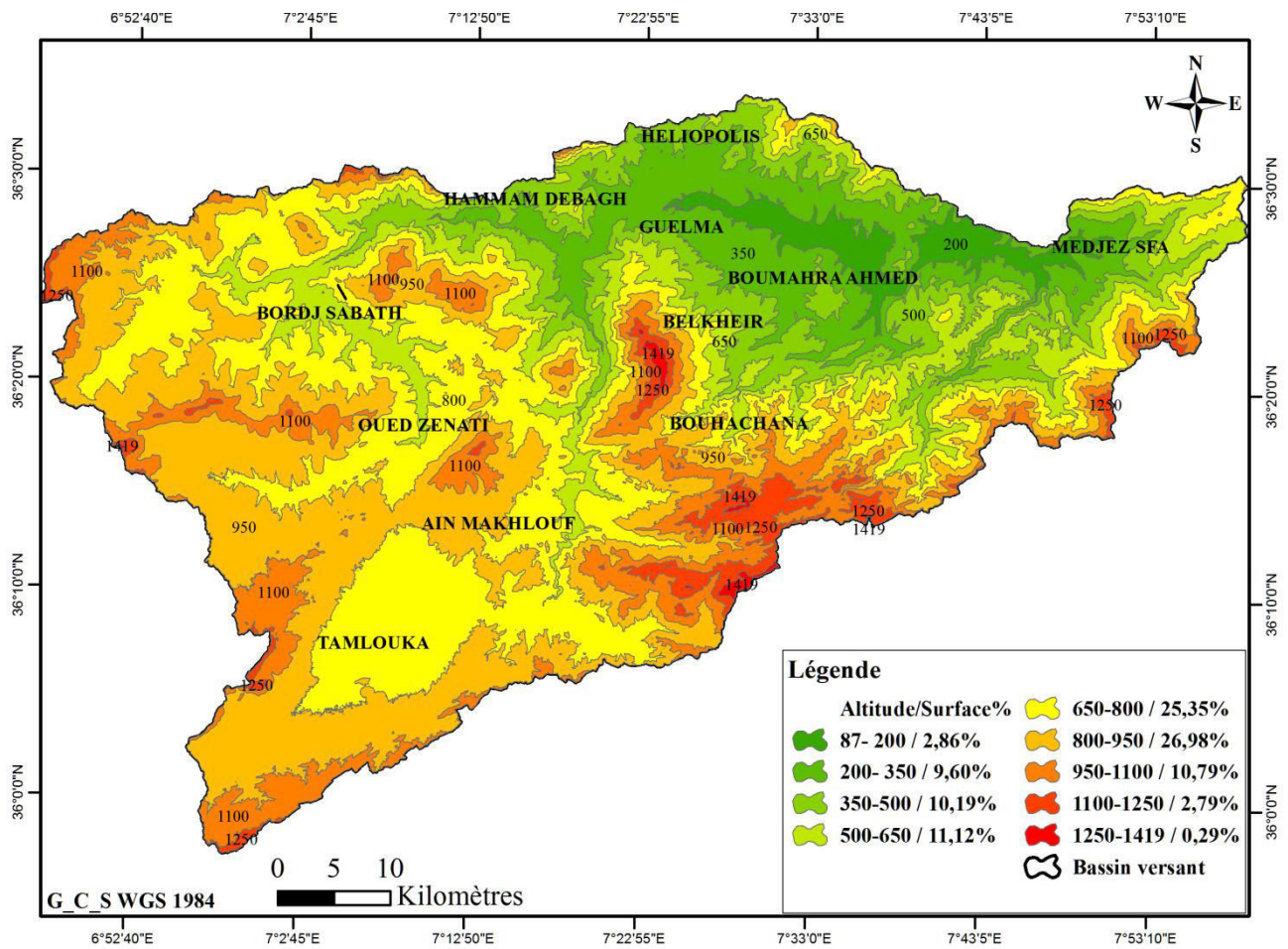


Figure 20. Carte hypsométrique (Khadri, 2017).

III.1 Courbe hypsométrique

Il est intéressant d'étudier la courbe hypsométrique du bassin versant, vu que la plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont fonction de l'altitude. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude, elle porte en abscisse le pourcentage de la surface et en ordonnée l'altitude.

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de la surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonné. Elle exprime ainsi la superficie ou le pourcentage de superficie au de la d'une certaine altitude.

Le tableau 16 représente la répartition hypsométrique et les valeurs calculées des paramètres de la courbe hypsométrique. Par ailleurs et par le biais d'Excel une courbe hypsométrique (figure 21) a été établie afin d'évaluer les caractéristiques de notre relief.

Tableau 16. La répartition hypsométrique.

Classe d'altitude	surface partielle	Pourcentage de la surface	Surface cumulée
87-200	104,32	2,86	100
200 - 350	350,18	9,60	87,54
350 - 500	371,48	10,19	77,35
500 - 650	405,66	11,12	66,23
650 - 800	924,03	25,34	40,89
800 - 950	983,64	26,98	13,91
950 - 1100	393,43	10,79	3,12
1100 - 1250	101,69	2,79	0,33
1250 - 1419	10,77	0,33	0
	3645,21	100	

La tranche d'altitude (800 m - 950 m) est la plus représentée, elle couvre 983,64 km² ; soit 26,98 % de la superficie totale. La tranche d'altitude (1250 m - 1419 m) est la moins représentée, elle couvre 10,77 km² soit 0,33 % de la superficie totale. Elle correspond aux montagnes.

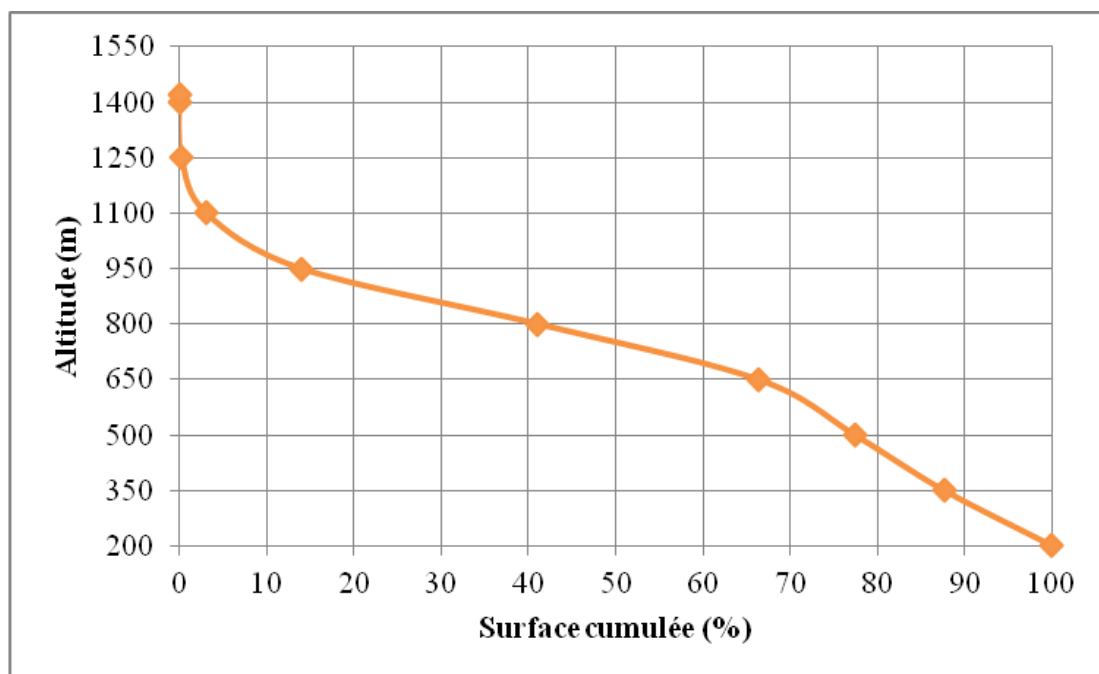


Figure 21. Courbe hypsométrique du bassin versant de La Seybouse (Khadri, 2017).

La lecture de la courbe hypsométrique nous a fournit plusieurs renseignements sur l'allure de relief et permet de relever des altitudes caractéristiques de relief :

- **Les altitudes maximales et minimales** : Nous pouvons les lire directement à partir des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire (Benedjai, 2002).

L'altitude maximale = 1419 m

L'altitude minimale = 87 m

- **L'altitude moyenne** : L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit (Benedjai, 2002):

$$H_{\text{moy}} = \sum \frac{S_i \cdot H_i}{S} ; H_{\text{moy}} = 707,63 \text{ m}$$

Avec:

S_i : surface partielle entre deux courbes de niveau consécutives **n-1** et **n** en Km^2 ;

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives **n-1** et **n** en m ;

S : Superficie totale du bassin versant en Km^2 .

- **L'altitude médiane** : l'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne, dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière (Benedjai, 2002). L'altitude médiane dans le bassin étudié est égale à **722,5** m.

- **La dénivelée simple** : bien souvent, on définit la "dénivelée D" comme étant la différence de cote entre $H_5 \%$ et $H_{95} \%$ (Laborde, 2009):

$$D = H_5 \% - H_{95} \%$$

$H_5\% = 1050$ m et $H_{95}\% = 125$ m donc la dénivelée simple de la courbe hypsométrique est $D = 925$ m.

III.2 Indice de pente I_p

L'indice de pente ou l'indice de Roche est calculé à partir du rectangle équivalent. Il est égal à la somme des racines carrées des pentes moyennes de chacun des éléments pondérés par les surfaces intéressée (Laborde, 2009), soit :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n (\sqrt{A_i * D_i})$$

Avec :

L : longueur de rectangle équivalent [m],

A_i : surface partielle (%) comprise entre 2 courbes de niveau consécutives H_i et H_{i+1} .

D_i : équidistance entre deux courbes de niveau

Les calculs sont explicitement présentés dans le tableau suivant.

Tableau 17. Détermination de la pente de Roche I_p .

	Altitude	$D_i=H_i-H_{i+1}$	S_i	S	$\sqrt{A_i * D_i}$
	[m]	[m]	[Km ²]	[%]	
1	87-200	113	104,32	2,86	17,97
2	200-350	150	350,18	9,60	37,94
3	350-500	150	371,48	10,19	39,09
4	500-650	150	405,66	11,12	40,84
5	650-800	150	924,03	25,34	61,65
6	800-950	150	983,64	26,98	63,61
7	950-1100	150	393,43	10,79	40,23
8	1100-1250	150	101,69	2,79	20,45
9	1250-1400	169	10,77	0,33	7,46
	Somme		3645,21	100,0	329,24

On obtient :

$$I_p = 33,42$$

III.3. La pente moyenne du bassin versant

La pente moyenne donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct donc sur le temps de concentration et influence directement sur le débit de pointe lors d'une averse (Brahmia, 2016). En utilisant Global Mapper, la pente moyenne est évaluée à **9,37 %**.

En plus, et par le biais de l'Arc GIS une carte de pente (figure 22) a été établie afin de mettre en exergue la répartition spatiale des pentes dans notre zone d'étude. On remarque que la zone d'étude varie d'une pente minimale entre 0% - 5,20 % à une pente maximale entre 24,67 % - 69,90 %.

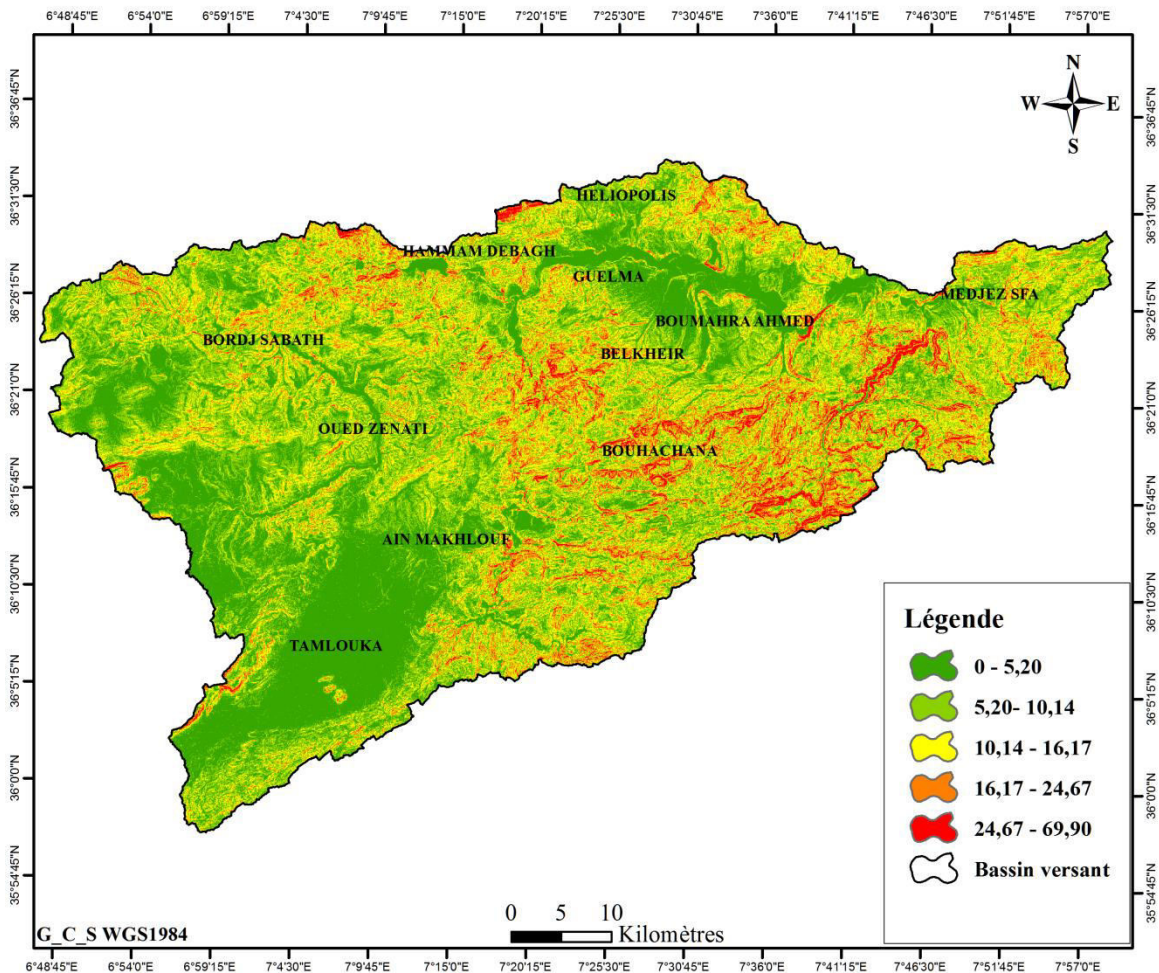


Figure 22. Carte des pentes du bassin versant de la région d'étude (Khadri, 2017).

III.4 Indice de pente globale I_g

L'indice de pente globale est déterminé à partir de la courbe hypsométrique en éliminant les valeurs extrêmes, de manière à ne garder que 90 % de l'aire du sous bassin. Il est utilisé pour la classification des bassins versants (Laborde, 2009). Cet indice est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

D : Dénivelée simple ou bien la distance qui sépare les altitude ayant 5% de la surface de bassin et celles de 95% ou bien la distance qui sépare les deux courbes de niveau maitresses extrêmes $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$, ($D=H_{5\%}-H_{95\%}$) en [m],

L : Longueur du rectangle équivalent en [Km].

Sur la base de la formule précédente, l'indice de pente globale est calculé et égale **9,52** m/km. \bar{P}

III.5. Dénivelée spécifique

L'indice I_g décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes. La dénivelée spécifique D_s ne présente pas cet inconvénient : elle dérive de la pente globale I_g en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à \sqrt{S} (Laborde, 2009) :

$$D_s = I_g \cdot S^{1/2}$$

Avec :

D_s : dénivelée spécifique, exprimée en [m],

S : surface du bassin versant, exprimée en [Km²],

I_g : indice de pente globale, exprimée [m/Km].

Le calcul de la dénivelée spécifique nous donne la valeur de **574,72 m**.

Selon la classification **I'O.R.S.T.O.M** (Tableau 21), le relief de notre région est très fort appartenant à la classe 7 (> **500**). Cet indice donne une idée sur la nature de l'écoulement puisque la dénivelée spécifique inclue la notion de pente et par conséquent le taux montagneux de la zone.

Tableau 18. Classification de l'O.R.S.T.O.M du relief (Laborde, 2009).

R1	Relief très faible	$D_S < 10 \text{ m}$
R2	Relief faible	$10 \text{ m} < D_S < 25 \text{ m}$
R3	Relief assez faible	$25 \text{ m} < D_S < 50 \text{ m}$
R4	Relief modéré	$50 \text{ m} < D_S < 100 \text{ m}$
R5	Relief assez fort	$100 \text{ m} < D_S < 250 \text{ m}$
R6	Relief fort	$250 \text{ m} < D_S < 500 \text{ m}$
R7	Relief très fort	$D_S > 500 \text{ m}$

IV. Caractéristiques du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est l'ensemble des canaux de drainage naturels, permanents ou temporaires, par où s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines, soit sous forme de sources, soit par restitution continue le long du lit du cours d'eau (Roche, 1963).

Il y'a plusieurs facteurs qui influent sur l'intensité, la forme et la densité du réseau hydrographique. Le réseau hydrographique est plus dense dans les régions à pente forte très humide de formation géologique superficielle moins perméable.

La présence et l'activité humaine (le drainage agricole, la construction de barrages, la correction des cours d'eau, ...) peut modifier le tracé originel du réseau hydrographique.

Afin de caractériser le réseau hydrographique, il est souvent utile de reporter son tracé en plan sur une carte à une échelle adéquate. L'utilisation de l'imagerie spatiale est utile à cette identification. Divers paramètres descriptifs sont utilisés pour définir le réseau hydrographique.

IV.1. Hiérarchisation du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique peut se caractériser par trois éléments : sa hiérarchisation, son développement (nombres et longueurs des cours d'eau) et son profil en long.

Pour chiffrer la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro fonction de son importance. Cette numérotation, appelée ordre du cours d'eau, diffère selon les auteurs. Parmi toutes ces classifications, nous adopterons celle de Strahler :

- tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1,
- au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultant est d'ordre $n + 1$,
- un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre, ce qui se résume par : $n + n = n + 1$ et $n + m = \max(n, m)$ (Laborde, 2009).

La figure 23 montre la classification du réseau hydrographique selon la méthode de Strahler. Les longueurs des cours d'eau sont mesurées à l'aide de l'ArcGis pour chaque tronçon hydrographique (ordre du réseau) avec numérotation les résultats sont présentées dans le tableau 19.

Tableau 19. Classification de réseau hydrographique selon la méthode de Strahler.

Ordre	Nombre	Longueurs (km)
L_1	1522	1352
L_2	591	568,34
L_3	285	340,2
L_4	95	223,13
L_5	48	116,79
L_6	1	55,60
$\sum L_i$	2542	2656,06

Le réseau hydrographique est constitué principalement du cours d'eau principal de l'Oued Seybouse (57,18 km mesuré à l'aide de l'ArcGis) et ses majeurs affluents Charef (35,94 km), dont l'écoulement général est d'Ouest en Est pour l'oued Bouhamdane (32,88 km) et du Sud vers le Nord pour l'oued Charef, L'oued Maiz (5 km), l'oued Zimba (6,66 km), l'oued Boussora (16,01 km), l'oued H'lia (24,16 km) et l'oued Mellah (12,60 km).

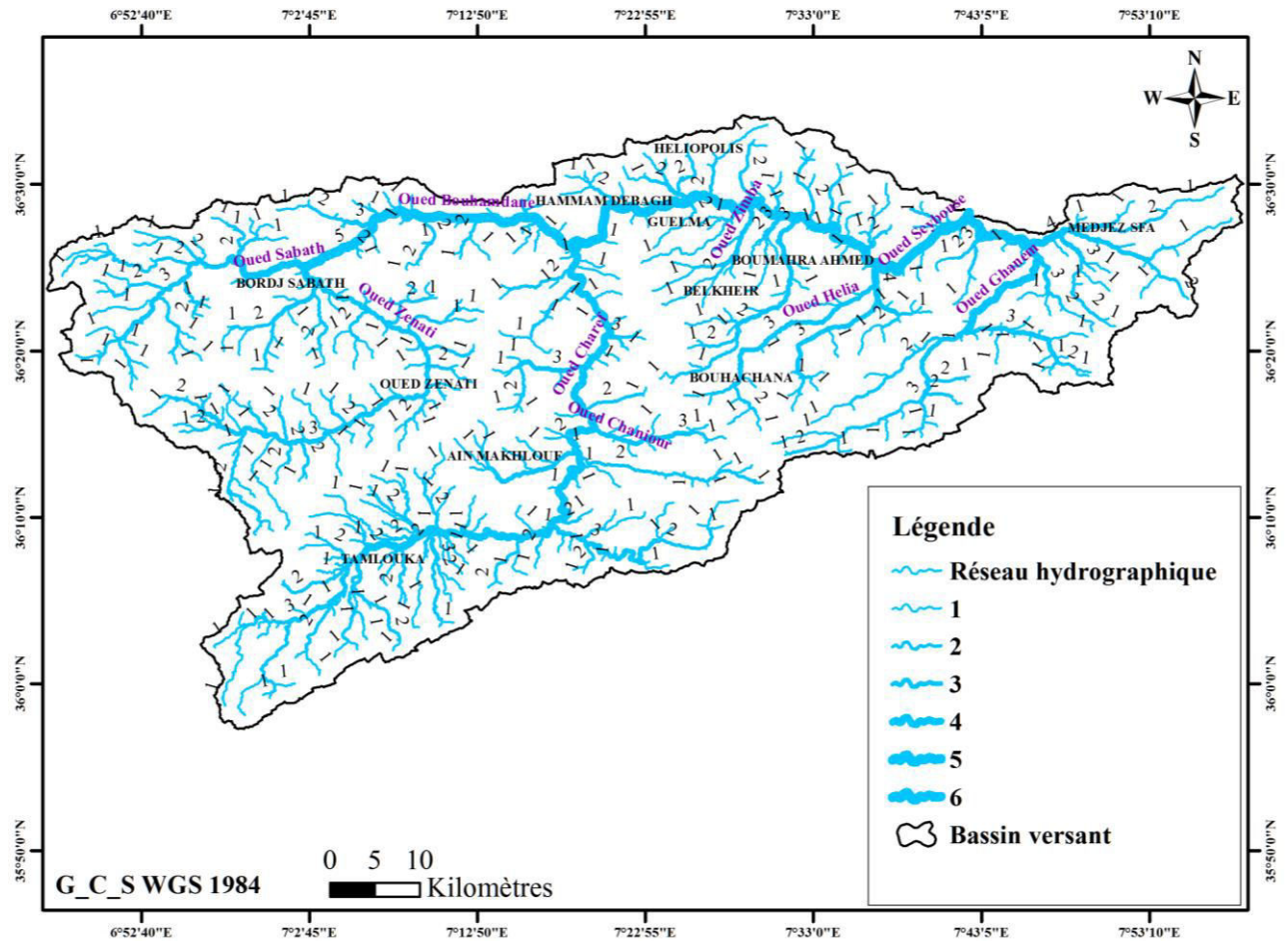


Figure 23. Carte de réseaux hydrographique du bassin versant de l’oued Seybouse (Khadri, 2017).

IV.2. Densité de drainage

La densité se définit par le rapport de la longueur totale des cours d'eau à la surface du bassin versant (Laborde, 2009).

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Avec :

Dd : densité de drainage [Km/Km²] ;

L_i : longueur des cours d'eau [Km] ;

A : superficie du bassin versant [Km²].

La densité de drainage est estimée a 0,72 km / km², la valeur obtenues correspondent à un bassin versant de grande superficie moyennement drainé et de formations moyennement imperméable.

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques (Benedjai, 2002).

IV.3. Profil en long de l'oued Seybouse

Les profils en long sont établis en portant en abscisses les longueurs développées à partir d'un point de référence et en ordonnées les cotes de l'eau dans le cours d'eau principal et dans ces affluents (parfois on donne la cote du fond). Les profils en long permettent d'estimer la pente moyenne du cours d'eau, cette pente moyenne sert surtout dans l'évaluation des temps de concentration d'un bassin versant (Laborde, 2009).

Le profil en long de la Seybouse présente une courbe régulière entre Medjez Amar et Bouchegouf, l'altitude du cours d'eau principale Seybouse varie de 250 m (la confluence de Medjez Amar) à 87m (à Bouchegouf). Le profil en long de l'oued Bouhamdane et oued Charef montre une pente irrégulière en amont de ces affluents avec des altitudes importante de 560 m et 760 m respectivement pour l'oued Bouhamdane et oued Charef. On remarque qu'on a plusieurs discordances de pente indiquant une érosion au niveau du tronçon de rupture. Ces ruptures sont généralement dues à des changements de la nature géologiques des roches. Le profil en long de l'oued Mellah se traduit par un profil à faible (Figure 24).

Ces différents points d'altitude montrent combien le régime de la Seybouse et ces affluents est encore fortement torrentiel (Mouchara, 2009).

IV.4. Temps de concentration

Il y'a plusieurs formules empiriques utilisées pour déterminer le temps de concentration celle de Ventura, Passini, Kirpich et la formule de Giandotti. Nous avons utilisé la formule de Giandotti qui est d'emploi fréquent en Algérie, elle tient compte de tous les paramètres géométriques du bassin (Benaïcha, 2011).

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}$$

Avec :

S: superficie du bassin versant en km²,

L : Longueur totale des cours d'eau en [km],

H_{moy} : hauteur d'eau moyenne en m,

H_{min} : hauteur d'eau minimum en m,

Le temps de concentration dans le sous bassin versant est de 7 heures et 35 minutes.

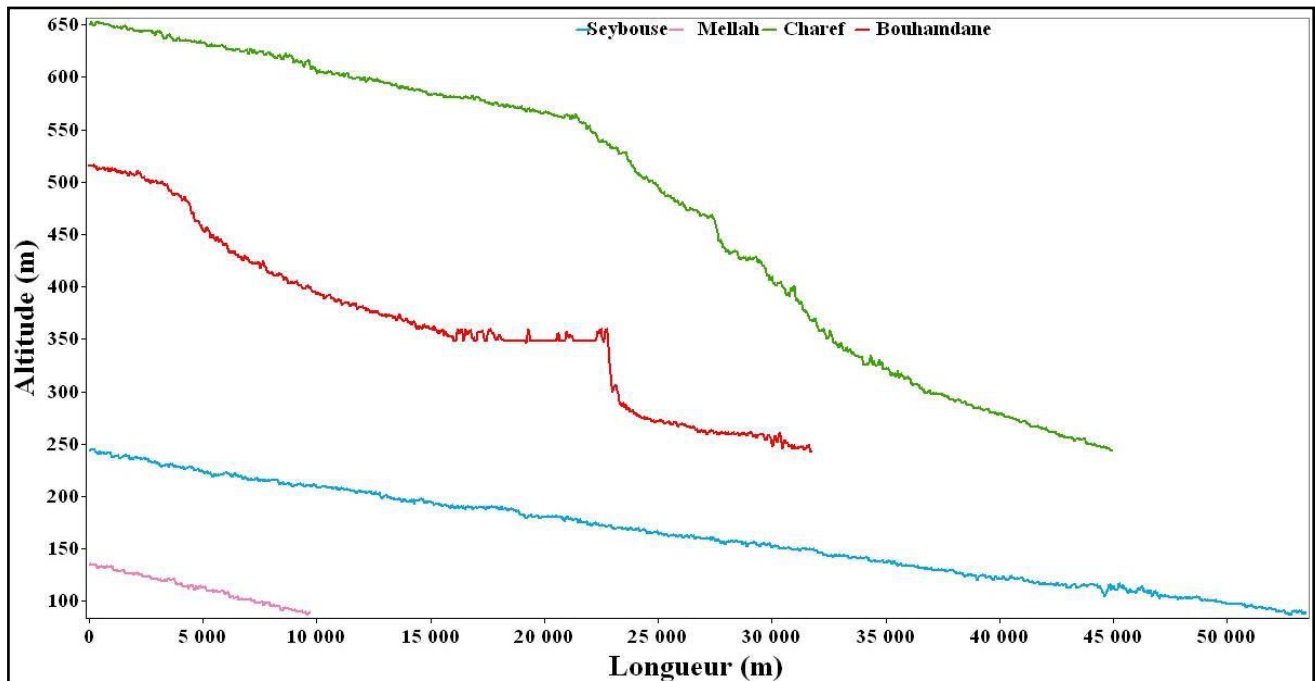


Figure 24. Profil en long de l'Oued Seybouse et ses affluents (Khadri, 2017).

V. Estimation des débits maximums

La détermination des débits maximums des crues des cours d'eau est importante pour évaluer le risque causé par ses événements exceptionnels. Il existe plusieurs méthodes d'estimation des débits maximums, le choix de la méthode dépend de la nature de terrain, la disponibilité des données et du problème étudié.

Dans cette partie, nous allons étudier les débits maximums du bassin versant étudié en se basant sur les données pluviométriques collectées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de Constantine (ANRH) et en considérant le bassin non jaugé (les données des débits disponibles ne dépassent pas dix ans).

L'étude consiste à réaliser un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières par une loi statistique de probabilité afin d'estimer la période de retour donnée et les débits maximums. En termes d'ajustement des valeurs extrêmes, loi de Gumbel est la plus populaire et la plus utilisée en hydrologie. Cette loi a été développée par Gumbel en 1941 (Abou, 1990).

Pour l'ajustement des pluies journalières maximales annuelles nous avons utilisé les données des précipitations journalières maximales fournies par l'ANRH de Constantine (Tableau 20) de notre bassin versant.

Tableau 20. Les coordonnées des stations d'étude.

Station / Poste	X	Y	Période
Medjez Amar	913,054	359,067	1981/2011
Guelma (Lycée)	923,815	361,249	1972/2011
Boucheouf	948,726	362,494	1979/2012

La loi de Gumbel a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante (Labourde, 2009):

$$f(x) = e^{-e^{-u}}$$

Avec la variable réduite suivante (Khoualdia, 2015) : $u = \frac{x-a}{b}$

La variable réduite de Gumbel u s'exprime très facilement en fonction de la fréquence puisque l'on a (Labourde, 2009):

$$u = -\ln \left[\ln \frac{1}{f} \right]$$

L'avantage d'utiliser la variable réduite est que l'expression d'un quantile est alors linéaire. En effet pour trouver la valeur x_q d'un quantile, correspondant à la distribution $F(x_q) = q$, en fonction des deux paramètres a et b , il suffit d'utiliser la relation suivante :

$$X_q = a + bu_q$$

Avant de procéder à l'ajustement il faut suivre les étapes suivantes (Benmia, 2012):

- Trier les valeurs des précipitations par ordre croissant permettant d'associer à chaque valeur son rang r (1, 2, 3, ..., n).
- Calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de Hazen (Labourde, 2009):

$$f(x_{[r]}) = \frac{r - 0,5}{n}$$

Avec :

r : le rang dans la série de données classée par valeurs croissantes ;

n : la taille de l'échantillon ;

$x[r]$: la valeur de rang r .

Les paramètres statistiques a et b et la présentation de la droite de Gumbel sont montrées dans la figure 25.

Nous remarquons que les pluies journalières maximales extrêmes observées au bassin versant étudié sont bien ajustées au modèle de Gumbel.

Les résultats des ajustements des pluies maximales journalières pour les différentes périodes de retour (5, 10, 20, 50 et 100 ans) sont présentés dans le tableau 21.

Tableau 21. Précipitations pour différentes fréquences.

Station/Poste	Période de retour	$f(x)$	u	Pluie maximale (mm)
Medjer Amar I	5	0,8	1,499	88,52
	10	0,9	2,250	109,61
	20	0,95	2,970	129,85
	50	0,98	3,901	156,04
	100	0,99	4,600	175,67
Guelma (Lycée)	5	0,8	1,499	58,43
	10	0,9	2,250	69,00
	20	0,95	2,970	79,15
	50	0,98	3,901	92,27
	100	0,99	4,600	102,11
Bouhegouf	5	0,8	1,499	66,30
	10	0,9	2,250	79,05
	20	0,95	2,970	91,27
	50	0,98	3,901	107,10
	100	0,99	4,600	118,95

Pour déterminer les débits maximums de crue de fréquence donnée nous avons utilisé des méthodes se basant sur des formules empiriques, elles consistent à établir les relations entre la pluie et la période de retour comme les formules de Maillet Gauthier et Possenti.

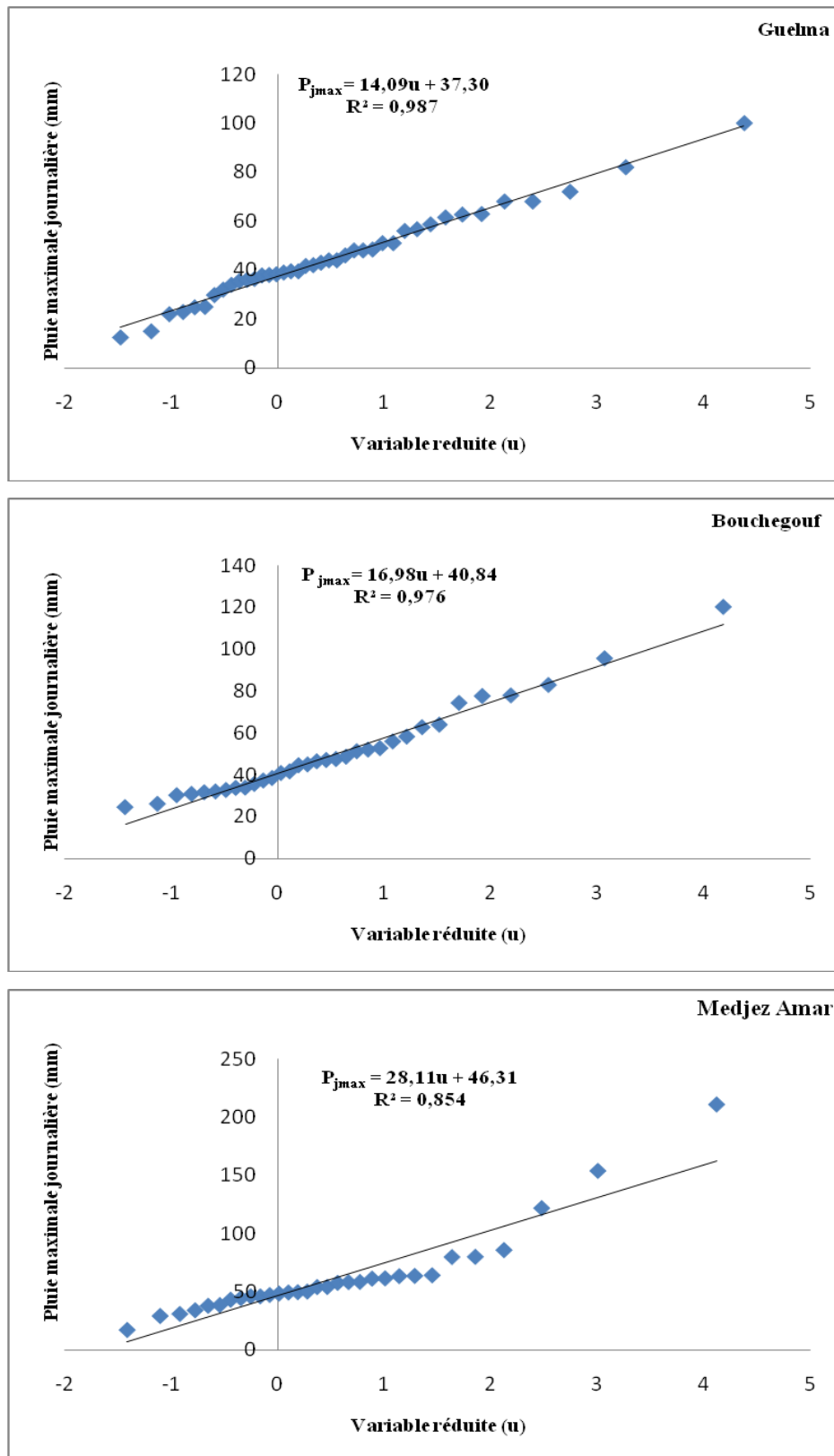


Figure 25. Ajustement des pluies journalières maximales à une loi de Gumbel.

V. 1. Formule de Maillet Gauthier

La formule est basée, en plus des paramètres morphométriques des bassins étudiés, de la précipitation comme le paramètre climatique principal dans la prédétermination des crues. L'énoncé de la formule de Maillet et Gauthier pour l'estimation de la crue de période de retour T est:

$$Q_T = 2k \log(1 + aH_m) \left(\frac{A}{L^{1/2}} \right) (1 + 4 \log T - \log A)^{1/2}$$

Où

Q_T : débit de pointe en m³/s de période de retour T

A : Superficie du bassin versant en km²

L : Longueur du talweg principal en km

H_m : Hauteur moyenne annuelle de la précipitation en m

k : Paramètre (facteur pluviométrique considéré dans sa variabilité varie entre 1 et 3)

a : Paramètre (facteur pluviométrique considéré moyennement varie entre 20 et 30)

Les paramètres a et k varient selon la région géographique où le bassin est situé. Le paramètre k en particulier est d'autant plus grand que le bassin est petit et irrégulièrement arrosé (Taha B.M.J. et al, 2001).

V. 2. Formule de Possenti

La formule de Possenti donne le débit maximum en fonction de la précipitation maximum en 24 heures. Son expression est donnée par (Mecibah, 2017):

$$Q = \lambda \frac{H_m}{L} \left(A_m + \frac{A_p}{3} \right)$$

Où

Q : Débit maximum en m³/s.

H_m : Hauteur de pluies de 24 heures de différentes fréquences en m.

L : Longueur du talweg principal en km.

A_m : Superficie de la région montagneuse du bassin en km².

A_p : Superficie de la région plaine du bassin en km².

λ : Coefficient d'ajustement compris entre 700 et 800

Pour ce dernier nous avons choisi la valeur 750 proposée par l'étude hydrologique de l'A.N.R.H (Mecibah, 2017).

Le calcul des débits maximums est déterminé par la formule de maillet Gauthier et Possenti pour différentes périodes de retour sont présentés dans le tableau 22 ci-dessous :

Tableau 22. Récapitulatif des résultats de débit maximum.

Station/Poste	Période de retour	$P_{\max j}$ (m)	Maillet Gauthier	Possenti
Medjer Amar I	5	0,08852	519,25	1905,42
	10	0,10961	1282,96	2359,47
	20	0,12985	1732,01	2795,01
	50	0,15604	2191,73	3358,76
	100	0,17567	2491,09	3781,21
Guelma (Lycée)	5	0,05843	498,05	1257,76
	10	0,06900	1230,58	1485,35
	20	0,07915	1661,28	1703,66
	50	0,09227	2102,24	1986,24
	100	0,10211	2389,37	2198,00
Boucheougouf	5	0,06630	502,82	1427,26
	10	0,07905	1242,38	1701,54
	20	0,09127	1677,21	1964,62
	50	0,10710	2122,40	2305,16
	100	0,11895	2412,38	2560,35

La formule de Possenti fournit des débits maximums très élevés par rapport les résultats obtenus par la formule de Maillet Gauthier.

Les plus grandes incertitudes règnent toujours, pour les conditions climatiques de l'Algérie, sur les valeurs qu'il convient de donner aux coefficients empiriques des formules citées plus haut.

Conclusion

L'étude morphométrique et hydrologique permet d'évaluer les paramètres qui jouent un rôle important dans l'écoulement des eaux superficielles. Pour bien déterminer les caractéristiques du bassin versant étudié, nous avons intégré l'outil SIG pour mieux maîtriser

la gestion des données , cette nouvelle technique a permis de donner des informations numériques à partir d'un modèles numérique du terrain.

Le bassin versant étudié présente une forme allongée avec une surface de 3664.18 km², un relief fort avec une altitude maximale de 1419 m et une altitude minimale de 87 m, la courbe hypsométrique montre que le bassin étudié est en état de maturité. Le réseau hydrographique présente une hiérarchisation moyenne et le temps de concentration estimé est de 7 heures et 35 minutes. Ces caractéristiques favorisent ainsi aux eaux superficielles le temps de s'infiltrer.

Estimation des débits maximums par des méthodes empiriques pour différentes périodes de retour a été basée sur les observations des données pluviométriques. Le calcul des débits maximums est déterminé par la formule de maillet Gauthier et Possenti, le choix des méthodes appliquées dépend essentiellement des données disponibles. La formule de Possenti montre des valeurs de débits surestimés ce qui nous recommandons de choisir la formule qui répond au mieux aux conditions locales de région d'étude.

Qualité des rejets
urbains par temps
de pluie

*C
H
A
P
I
T
R
E*

IV

I. Introduction

La région d'étude a connu une urbanisation rapide et un développement industriel marqué. Par conséquent, ce développement socio-économique s'accompagne d'une augmentation à la fois des débits d'eaux usées rejetées et du degré de pollution des eaux superficielles, souterraines et de l'environnement générées par ces rejets.

Les diverses activités humaines (transport, industrie, etc.) produisent des éléments polluants qui se concentrent dans l'air ou s'accumulent sous forme de dépôts lors des périodes de temps sec (Chocat et al., 1993 in Charlotte, 2007). Durant les pluies, une partie de ces éléments peut être entraînée vers le milieu naturel. Les collecteurs d'eaux pluviales et les égouts recueillent l'eau de pluie qui ruisselle les routes, les toits, et les parkings etc... Ces rejets proviennent de plusieurs sources: le lessivage de l'atmosphère et des toitures par les eaux de pluie, le ruissellement des eaux de pluie sur les sols urbains ou les surfaces imperméabilisées (voiries, trottoirs, parkings) et la production principalement endogène du bassin versant (activités domestiques, agricoles et industrielles).

Des polluants organiques et métalliques sont ainsi transportés par les eaux de ruissellement qui sont rejetées dans les milieux aquatiques et portent le nom de Rejets Urbains par Temps de Pluie (RUTP). Reprenant la définition proposée par Hémain (1987), nous appelons REJETS URBAINS DE TEMPS DE PLUIE toutes les eaux qui, tombant sur un bassin versant urbanisé, rejoignent le milieu récepteur sans passer par un système d'épuration : eaux de pluie, eaux de ruissellement, rejets à l'exutoire des réseaux séparatifs pluviaux, à l'aval des stations d'épuration et surverses de réseaux unitaires (d'après Chocat et al.1997 in Kafi-Benyahia, 2006). Les rejets urbains de temps de pluie sont donc constitués de quatre types de rejets distincts :

- Le mélange eaux usées – eaux pluviales qui a transité par la station d'épuration et y a subi un traitement ;
- Le mélange eaux usées – eaux pluviales rejeté directement par les déversoirs d'orage sans aucun traitement ;
- Les eaux collectées par les réseaux séparatifs eau pluviale et rejetées sans aucun traitement.
- Les eaux collectées par les réseaux séparatifs eau pluviale et rejetées après un traitement spécifique.

L'origine des polluants contenus dans les RUTP est multiple : pollution atmosphérique, lessivage des dépôts de temps sec et des retombées sèches accumulés sur les bassins versants, érosion des matériaux urbains, remise en suspension des polluants présents dans les réseaux d'assainissement (Domergue, 2011).

Il existe plusieurs gisement de polluants, plus ou moins représentés en fonction du type d'urbanisation (résidentiel, commercial, industriel, urbain dense, pavillonnaire etc.)

- Les automobiles (hydrocarbures, plomb, oxyde d'azote, caoutchouc, zinc, cadmium, cuivre, titane, chrome, aluminium etc.) ;
- Les chaussées (ciments et goudrons, sables et sels de déverglaçage, détergents etc.);
- L'industrie (métaux et micropolluants organiques en particulier solvants) ;
- Les animaux (déjections sources de MO et de contamination bactérienne ou virale);
- Les déchets solides (matières organiques, plastiques, métaux divers, papiers etc.) ;
- La végétation (matières carbonées plus ou moins facilement biodégradables, apports d'azote, de phosphate et de produits organochlorés (pesticides, herbicides, insecticides, fongicides), (Bachoc A, et al 2015).

Les polluants des rejets urbains de temps de pluie peuvent être classés en 7 groupes par ordre de "visibilité décroissante" (Thévenot, 1992 in Krajewski J-L. B, 2006) :

- Les solides flottants (pollution visuelle)
- Les matières en suspension (MES)
- Les matières oxydables (DCO, DBO5)
- Les nutriments (azote, phosphore)
- Les micros polluants minéraux (métaux lourds)
- Les micro polluants organiques (hydrocarbures, composés aromatiques, pesticides, ...)
- Les micro-organismes (pollution bactériologique).

L'augmentation de la concentration en polluants dépend de plusieurs facteurs : intensité de la pluie, importance des ruissellements, nature du matériau de surface, nature des activités, etc...

En pratique, le facteur le plus important reste cependant la distance parcourue par l'écoulement. Lorsque l'eau de pluie arrive au sol et devenue eau de ruissellement, sa

concentration en polluant augmente. L'eau de pluie commence une triple action d'érosion, de dissolution et de transport des éléments chimiques qu'elle rencontre (Chocat, 2014). Plus elle circule en surface et plus elle se charge en produits divers du fait de l'érosion des matériaux et du lessivage des matières qui se sont déposées pendant les périodes sèches.

II. Description de la région d'étude

Une attention particulière a été donnée à la caractérisation du bassin versant étudié. Nous avons pris en considération les divers paramètres susceptibles d'influencer (population, activités professionnelles et réseau d'assainissement) pour l'identification des rejets de temps sec.

II. 1. Population

La population exerce généralement des pressions importantes sur l'environnement, elle est affectée par les pollutions et autres dégradations de l'environnement. La présentation des statistiques de base sur la population et l'urbanisation de la wilaya permet une meilleure compréhension des défis environnementaux auxquels la région fait face.

La population du bassin versant étudié a été estimée à partir des données de recensement de la population en 2008. Le nombre total d'habitants résidant la wilaya de Guelma est de 512079 pour l'année 2012, (figure 26).

La population reste cependant très inégalement distribuée sur le territoire, en tête de classement, la commune de Guelma (chef lieu de la wilaya) avec 128274 habitants, trois communes (Oued Zenati, Heliopolis et Bouchegouf) dépassent les vingt cinq mille d'habitants. Les communes situent à proximité de l'oued Seybouse au centre de la région sont les plus peuplées, pour la plupart, plus de 10 000 habitants. Dans la région, la population est moins concentrée au niveau des petits villages et communes dont la population est inférieure de 7000 habitants.

La figure 27 suivante présente le développement de la population pendant ces dernières années, le diagramme montre une évolution progressivement de population d'une année à l'autre elle atteint à 543550 habitants estimée en 2017.

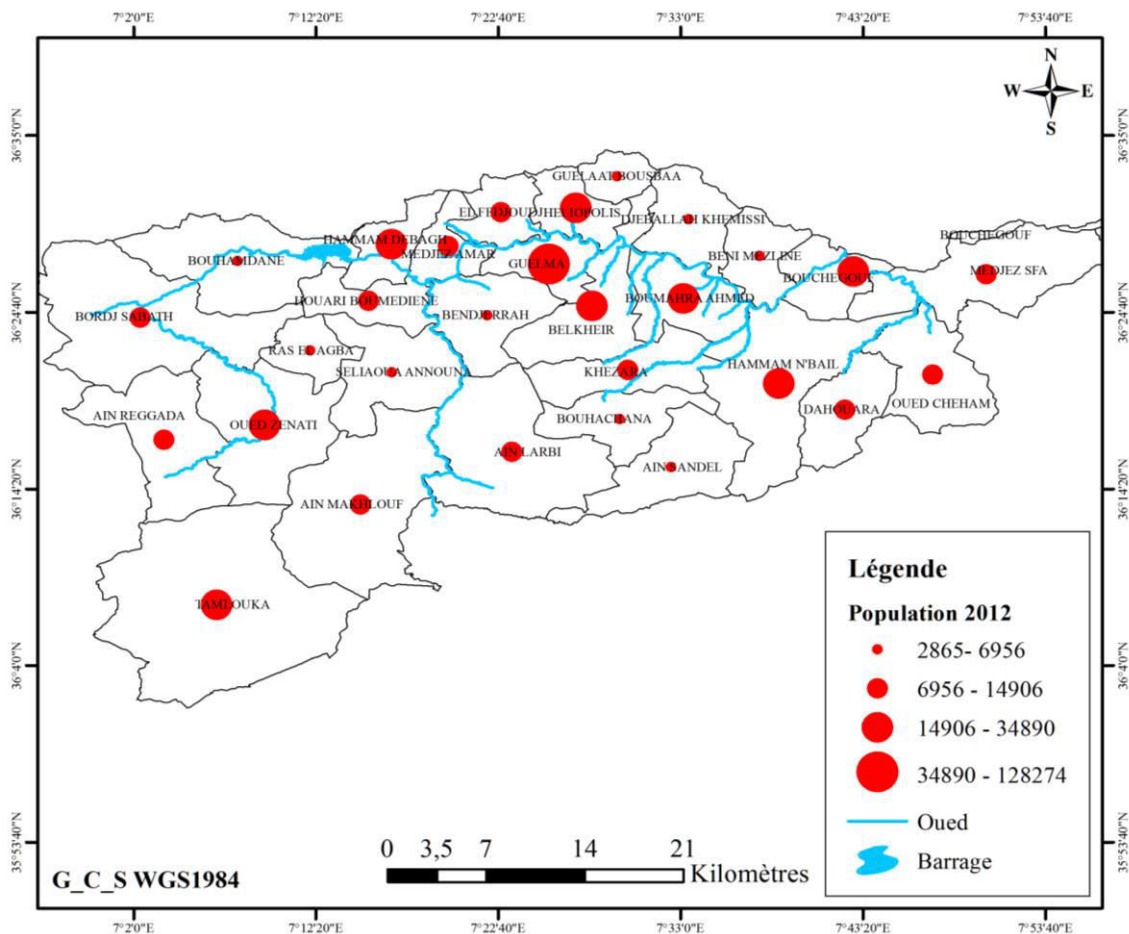


Figure 26. Carte de population de la Wilaya de Guelma pour l'année 2012 (Khadri, 2017).

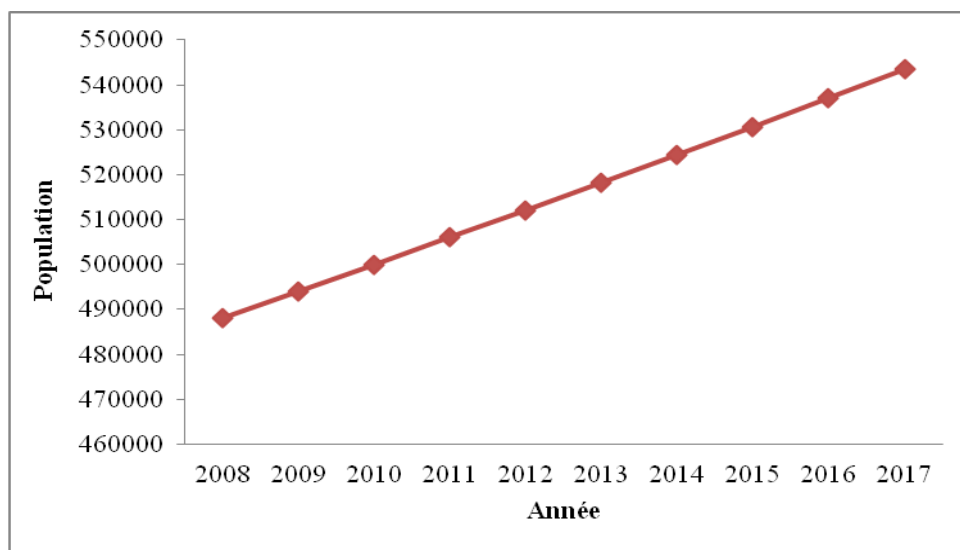


Figure 27. Evolution de la population de la Wilaya de Guelma (Khadri, 2017).

II. 2. Réseau d'assainissement

Après usage, les eaux usées sont collectées dans un réseau d'assainissement (l'égout) et acheminées vers les stations d'épuration ou vers le milieu naturel sans traitements préalables. La wilaya de Guelma est drainé par un réseau d'assainissement unitaire dans la majeure partie (ABH, Guelma 2007). Dans certain conditions les réseaux d'assainissement rejettent dans le milieu naturel des eaux usées et des eaux de ruissellement, mélangées ou non aux eaux usées domestique et industrielle.

En matière d'assainissement, l'agglomération de la ville de Guelma a connu une amélioration importante depuis la mise en service de la station d'épuration qui se trouve à l'aval du centre urbain juste près de l'oued Seybouse. Pratiquement tous les rejets de la ville de Guelma situés à l'amont de la STEP ont été être raccordés et ne déversent plus dans l'oued Seybouse (Figure 28). Néanmoins certains rejets persistent car la station de relevage n°2 n'est pas encore raccordée à la STEP, ces rejets sont localisés dans l'oued Maiz (sur la route de Belkhir) et les rejets de la cité Bourouyah donc le quart des rejets de la ville de Guelma ne sont pas raccordés (ONA, Guelma 2016).

Le réseau unitaire présente plusieurs inconvénients, en particulier le dimensionnement des canalisations, qui doit être suffisamment important pour éviter les inondations et permettre d'évacuer un débit pluvial important, au moins jusqu'au bassin d'orage. De plus, ce type de réseau génère, lors des événements pluvieux forts, une pollution ponctuelle du milieu récepteur. Cette pollution est causée par les effluents qui ne sont pas traités par la STEP en raison d'un surplus de sa capacité. Ainsi les effluents en excès vont être détournés vers le déversoir d'orage pour être ensuite soit partiellement traités, soit directement rejetés dans le cours d'eau récepteur (Lamprea. D.K, 2009).

II. 3. Origine de la pollution dans la région d'étude

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique et biologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'homme et ses activités. Elle perturbe parfois considérablement la composition physico- chimique des eaux de surface (cours d'eau), ces dernières sont le vecteur principal de transport de ces substances dans les nappes souterraines. Elle change les conditions de vie de la flore et de la faune aquatiques.

La pollution des eaux peut avoir diverses origines. Selon les activités des différents secteurs, elle peut être d'origine domestique, industrielle ou agricole.

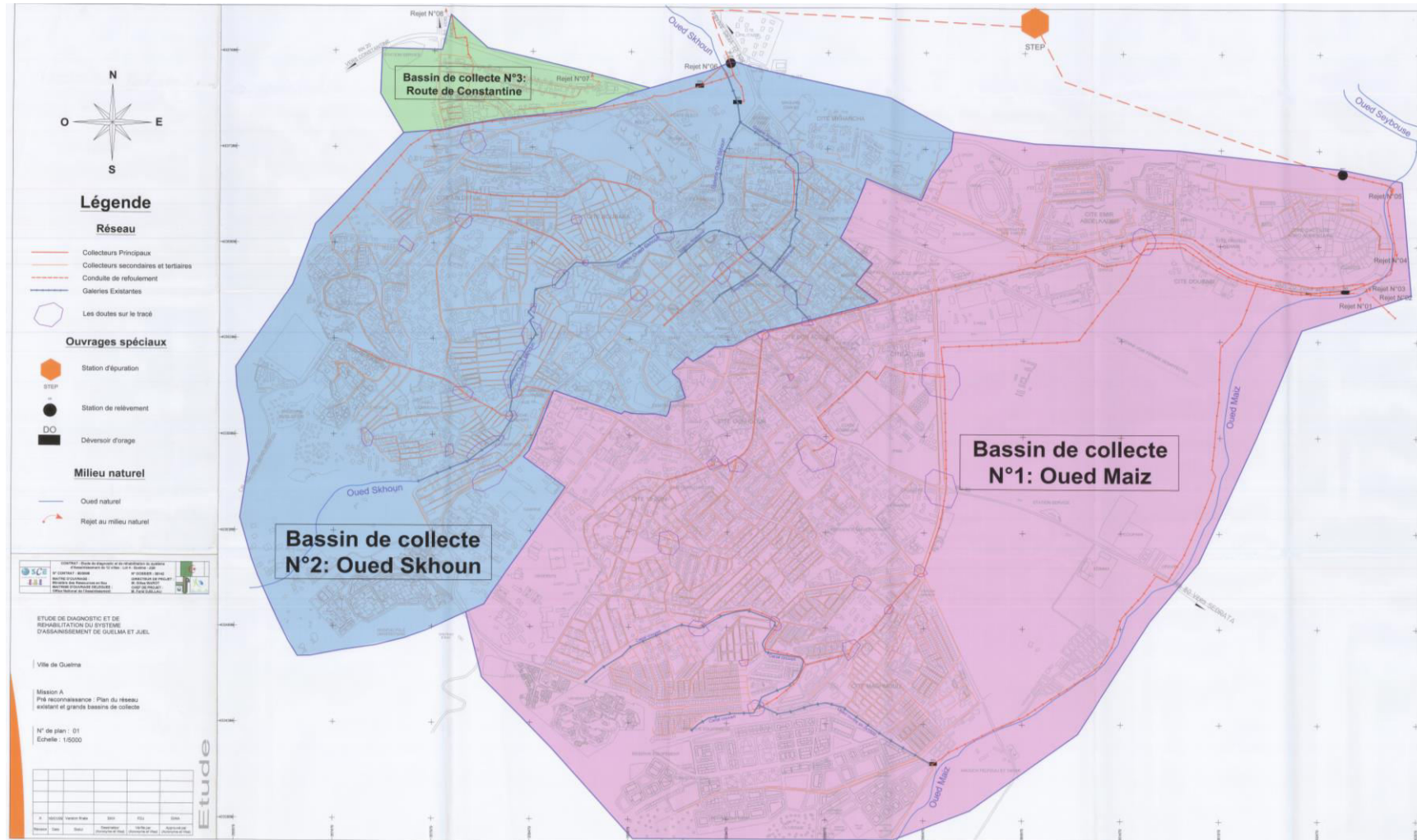


Figure 28. Plan du réseau d'assainissement et grands bassins de collecte (DHW, Guelma).

II. 3. 1. Origine domestique

Cette dernière constitue une source de pollution importante, en effet toutes les agglomérations situées le long du cours d'eaux déversent leurs eaux usées à l'Oued Seybouse sans traitement préalable sauf pour la ville de Guelma où il y'a une station d'épuration mise en service.

Dans la zone d'étude, les eaux usées des agglomérations déversent dans les affluents des principaux cours d'eau. En effet l'oued Maïz, l'oued Zimba, oued Boussora et oued Hlia et l'oued Maleh, d'autres affluents drainant des volumes importants des eaux usées des principales agglomérations tels que : Guelma, Héliopolis, Oued Zenati, Bouchegouf, Belkheir et Boumahra traversent la nappe alluvionnaire avant d'atteindre l'oued Seybouse via ses affluents (Tableau 23).

L'agglomération de la wilaya de Guelma dispose généralement de réseaux d'assainissement unitaire avec un taux de raccordement entre 96 à 98 % (ONA et ABH, Guelma2007).

Tableau 23. Le réseau d'assainissement de la région d'étude (2007).

Agglomération	Commune	Linéaire total (ml)	Type de réseau	Taux de rac 2007 (%)	Etat de réseau	Vol. Rejeté (m3/j)	Milieu récepteur
Ain Hessainia	Houari Boumedienne	16883	U	98%	B-Moy	657	Oued Cherf
Hammam Debagh	Hammam Debagh	29 741	Mixte	96%	Bon	1237	O/Bouhamdane
Guelma	Guelma	182577	Mixte	98%	Moy	21063	Oued Seybouse
Belkheir	Belkheir	27081	U	98%	Moy	2301	Oued Zimba
Khezaras	Khezaras	21642	U	96%	Moy	789	O/Boussourra
Heliopolis	Heliopolis	22888	U	96%	Moy	2389	Oued Seybouse
Hammam Ouled Ali	Heliopolis	3000	U	96%	Moy	73	Oued Seybouse
Boumahra Ahmed	Boumahra Ahmed	21170	U	96%	Moy	2477	Oued Seybouse
Medjez Amar	Medjez Amar	9690	U	96%	B-Moy	964	Oued Seybouse
Salah Salah Salah	Medjez Amar	4414	U	98%	B-Moy	163	Oued Seybouse
Serfani Salah	Medjez Amar	3926	U	98%	B-Bon	150	Oued Seybouse
Cité Nador	Beni Mezline	1500	U	96%		132	Oued Seybouse
Bouchegouf	Bouchegouf	37830	U	98%	Moy	1753	Oued Seybouse
Boumaroua	Oued Fragha	7993	U	98%	Moy	357	Oued Seybouse

U: Réseau Unitaire S: Réseau Séparatif Mixte : R+U

Source : ABH Annaba (2007)

Malgré la construction de stations d'épuration des eaux usées et l'installation des réseaux d'assainissement, des problèmes de contamination persistent à certains endroits à cause des débordements de réseaux d'égouts par temps de pluie. Les déversements en rive dans l'oued Bouhamdane illustre ce problème (Figure 29).



Figure 29. Débordement de réseau d'assainissement à la suite de forte pluie (Hammam Debagh à 10 m de l'oued Bouhamdane), (Khadri, 2017).

L'écoulement en réseau unitaire apporte trois gisements de polluants en complément des apports liés au ruissellement :

- Les eaux usées de temps sec, domestiques et industrielles, présentes dans le réseau pendant l'évènement pluvieux ;
- Les sédiments de taille et caractéristiques variées, déposés dans le réseau pendant les périodes de temps sec antérieures (susceptibles d'être remis en mouvement par les augmentations de débit dues à l'évènement pluvieux) ;
- Les biofilms (assemblage de colonies bactériennes et d'exopolymères) se développant sur les parois de certains collecteurs sont également susceptibles d'être érodés par les augmentations de débit (Domergue, 2011).

Par ailleurs, de nombreux processus affectent les particules et les polluants transportés par l'écoulement. La vision ancienne du réseau, vu comme un simple dispositif de transport est aujourd'hui écartée par la vision du réseau comme un réacteur au sein duquel ont lieu de nombreux processus physiques (sédimentation, érosion, agglomération, adsorption, etc.),

chimiques (floculation, oxydoréduction, etc.) et biochimiques (métabolisation bactérienne des matières organiques, de l'azote et du soufre). Ces processus affectent l'ensemble des phases de l'effluent et modifient dans le temps et l'espace, la nature, l'espèce et les concentrations des différents polluants transportés par les RUTP (Chocat et al. 2007).

Les décharges publiques posent aussi des sérieux problèmes d'environnement surtout dans les pays en développement.

Les trois décharges publiques contrôlées existant sur les deux rives de l'oued Seybouse contribuent aussi à cette pollution par leur lessivât. La première au Nord de Guelaât Bou Sbâa, la deuxième à l'Est d'Héliopolis et qui revêt le caractère d'un C.E.T classe II (Centre d'Enfouissement Technique) 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, il existe aussi un certain nombre de décharge sauvage dispersés à différents endroits de la zone d'étude (Tableau 24).

II. 3. 2. Origine industrielle

La région d'étude abrite dans son tissu urbain et à sa périphérie des unités industrielles particulièrement polluantes. La deuxième source de pollution des eaux de surface est les eaux résiduaires industrielles. Ces rejets sont spécifiques de l'industrie concernée et donc très variables d'une activité industrielle à l'autre.

Les installations classées de la wilaya de Guelma, recensées par l'agence des bassins hydrographique (ABH) pour l'année 2007, sont présentées dans la figure 36. Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activité, ils peuvent être; des substances organiques, sels minéraux, des métaux lourds, des produits organiques de synthèse. Dans notre zone d'étude, ces types de pollutions existent éventuellement.

Les stations de lavage et de carburants présentent également une source de pollution, elles sont concentrées sur l'axe H.Debagh-Guelma-Belkeir-Boumahra.A-Bouchegouf (Figure 30) et les unités industrielles (Sogedia et Céramique, briqueterie et unité de marbre et de carreaux), déversent dans les affluents de l'oued Seybouse (O. Skhoune, O. Maïz, O. Zimba et O.Boussora).

Tableau 24. Les décharges sauvages dans la zone d'étude.

Commune	Nom	Superficie (ha)	Type	Quantité de déchets générée (tonne/jour)	Nature des déchets	Procédé de traitement	Impact sur la ressource
Guelma	Bouguerguer	12,5 ha	sauvage	108,9	Inertes Ménagers et assimilés	Rejeté dans l'air	Emission nauséabondes. - Prolifération d'insectes, de rongeurs et d'animaux sauvages(Sanglier sauvage , chacal, héron blanc..). - Pollution atmosphérique par les différents gaz issus de la fermentation organique (Biogaz). - Risque d'inhalation de fumée pour les récupérateurs à l'intérieur d'une décharge. - Envol des déchets légers (les sachets, le papier...) . - Risque de contamination de la population par les insectes et les rongeurs qui constituent de vecteurs de maladies. - Impact sur la flore et les cultures avoisinantes par les retombées atmosphériques sur les feuilles. - Risque de contamination des eaux de surfaces et souterraines par les lixiviats
Belkheir	Ghabet El Kafour Bouguerguer	01 ha 12,5 ha		14,7			
Béni Mezline	Sekouma	01 ha		4,4			
Boumahra Ahmed	Mechtet Douakhla Bouguerguer	500 m ² 12,5 ha		15,1			
Djeballah Khémissi		500 m ²		3,8			
Bouchegouf	Sidi Mehamed	02 ha		20,5			
Oued Zénati	Djebel El Aansal	02,5 ha		26,9			
Haouari Boumedienne	El Medaouda	300 m ²		6,3			
Medjez Ammar	El Gantra	100 m ²		6,3			
Khézaras	Couminel	01,5 ha		8,1			
Hamam Débagh	Djebel Boughrissine	05 ha		13,3			
Héliopolis	Bouguerguer	12.5 ha		22,5			
El Fedjoudj	Daouar Skhara	2000 m ²		7,5			
Hamam N'Bails	El Mina	1000 m ²	19,7				

Source : ABH Annaba (2007)

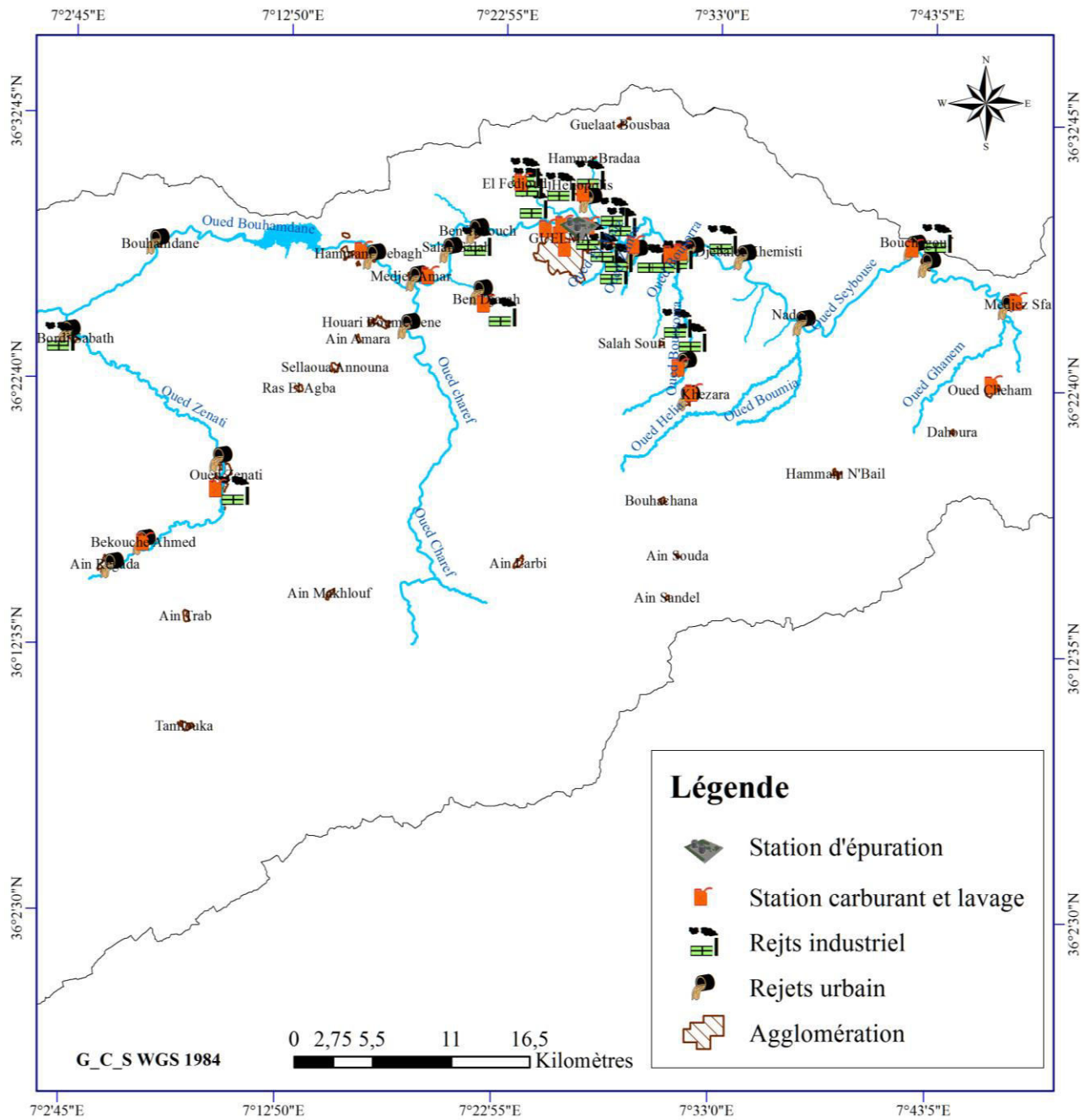


Figure 30. Carte des différentes sources de pollution (Khadri, 2017).

III. 3. 3. Origine agricole

L'agriculture est une source de pollution avérée, son origine est l'utilisation excessive des engrais. Les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. L'utilisation intense des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes abattu la vie dans les rivières et contribue à la pollution des eaux superficielles et souterraines.

Les élevages extrêmes des bovins (étables, fermes pilotes) et volailles (poulaillers), produisent une grande quantité de déjections azotées qui peuvent être aussi à l'origine de la pollution des eaux de surfaces et souterraines (Kachi, 2015).

Tableau 25. Types et quantités de fertilisants utilisés au niveau de la nappe alluvionnaire de Guelma (2005 / 2006), (Kachi, 2015).

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

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

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

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

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

- **Le Super Phosphate Triple (TSP, 46% de P₂O₅)**, engrais phosphaté de fond utilisé avant le semis des cultures. Contient également des oligo-éléments : Bore (61 ppm), fer (3638 ppm), manganèse (114 ppm), zinc (170 ppm) et le cuivre (05 ppm), il est totalement déconseillé pour le sol alcalin (Kachi, 2015).

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

Tableau 26. Principaux engrais utilisés dans le périmètre Guelma-Boumahra (Kachi, 2015).

Type d'Engrais	Nom commercial	Composition	Caractéristiques	Type de cultures
L'Azoté phosphaté potassique	N.P.K :15.15.15	- 15% de N - 15% de P2O5 - 15% de K2O	Engrais d'entretien.	Pomme de terre et tomate industrielle
Urée	Urée 46%	CO (NH2)2 46% de N	Engrais d'entretien A enfouir. Pour la croissance végétative (tiges et feuilles). Très soluble.	Céréaliculture, cultures maraichères, l'arboriculture, viticulture, légumes secs.
Nitrate d'ammonium	U.A.N	NH4NO3 : -Azote total : 32% - Azote ammoniacal: 7% -Azote nitrique : 7,8% -Azote uréique : 16,4%	Engrais d'entretien. Action à la fois immédiate (NO3) et retardée (NH4). Très soluble dans l'eau.	Céréaliculture, pomme de terre, tomate industrielle, l'arboriculture.
Engrais phosphatés Triple Super Phosphate	T.S.P	Ca(H2PO4)2, H2O - 46% P2O5 - 0% de N - 0% de K2O - 15% de CaO	Engrais de fond. (favorise la croissance des racines). Assez soluble dans l'eau	Céréaliculture

III. Les caractéristiques physico - chimique des rejets urbains

En milieu urbain, les sources de pollution sont essentiellement les flux des eaux usées, les émissaires pluviaux ou encore les émissaires de débordement des réseaux d'égouts et on peut ajouter les effluents des usines d'épuration. Dans la région d'étude le réseau d'assainissement généralisé est le réseau unitaire par conséquent la séparation des eaux usées et des eaux pluviales est rarement réalisée de façon parfaite. Ceci signifie que les rejets urbains de temps de pluie (RUTP) ne sont généralement pas des rejets pluviaux stricts, mais des mélanges d'eau usée et d'eau pluviale par des déversoirs d'orage, voire parfois, par des exutoires réputés strictement pluviaux.

Les eaux transitant dans les réseaux d'assainissement par temps sec, qualifiées d'eaux usées, sont issues de quatre sources distinctes : principalement l'activité domestique, le nettoyage de la voirie, les activités professionnelles (artisanats et commerces) et parfois les eaux claires comprenant les fuites du réseau d'eau potable et non potable, les infiltrations et l'utilisation des réservoirs de chasse.

La composition des rejets est très variable, leurs domaines de variation sont en effet très larges, selon le type de réseau (unitaire / séparatif / mixte), l'origine des eaux (eaux de pluie, eaux de ruissellement de chaussées, eaux de bassins de décantation/infiltration, surverses de déversoirs d'orage, etc.), et bien entendu les caractéristiques du bassin versant, notamment météorologiques (Charlotte et al, 2007).

L'étude des caractéristiques physico-chimiques des rejets urbains de temps sec et temps de pluie ont permis de définir les concentrations des polluants majeurs. L'étude concerne les rejets urbains raccordés et non raccordés à la station d'épuration qui rejettent dans la Seybouse sans traitement.

III. 1. Choix et localisation des stations de prélèvement

Pour avoir la qualité des rejets urbains par temps de pluie nous avons effectué deux campagnes de prélèvement en temps sec et en temps de pluie au niveau des points de rejets des agglomérations qui sont rejetés dans l'oued Seybouse et ses affluents sans traitement.

- En temps sec les échantillons ont été effectués en mois d'août (01/08/2012) durant la saison sèche sur 11 stations positionnées au niveau des points de rejets domestiques raccordés et non raccordés à la station d'épuration (Figure 31).

- En temps de pluie, les prélèvements ont été réalisés au mois de septembre (01/09/2012), cette période a été caractérisée par une pluie intense et une crue violente. Nous dénombrons 13 stations: 11 stations ont été menées aux exutoires des principaux points de rejets du réseau d'assainissement unitaire au niveau des agglomérations situés le long de l'oued, un prélèvement au niveau de déversoir d'orage et un autre pour les eaux de ruissellement (Figure31).

Pour les rejets de la ville de Guelma, le point de prélèvement a été pris au niveau de la station d'épuration (l'entrée) pendant la période d'étude le mois d'aout et le mois de septembre 2012.

Ces prélèvements ont pour objectif d'estimer, en temps pluvieux, les concentrations des polluants rejetés dans le milieu naturel et, de les comparer avec ceux observés au temps sec (importance et localisation des rejets).

III.2. Caractéristiques des rejets urbains

Pour déterminer la pollution apportée lors des évènements pluvieux dans les effluents unitaires, il est nécessaire de caractériser préalablement la pollution transportée par les eaux usées résiduelles urbaines.

L'étude de la composition physico-chimique des rejets urbains a permis de définir les polluants majeurs et d'évaluer les charges de pollution.

Dans cette partie nous avons basé sur les paramètres physico-chimiques qui sont habituellement mesurés lors des campagnes expérimentales classiques : Conductivité électrique, température, Oxygène dissous, matière en suspension (MES), demande chimique en oxygène DCO, demande biologique en oxygène à 5 jours DBO5, nitrate (NO_3), nitrite (NO_2), ammonium (NH_4) et Phosphate (PO_4), Les métaux présents dans les rejets urbains de temps de pluie sont très nombreux dans notre étude nous avons choisi deux métaux les plus couramment mesurés le cadmium (Cd) et le plomb (Pb).

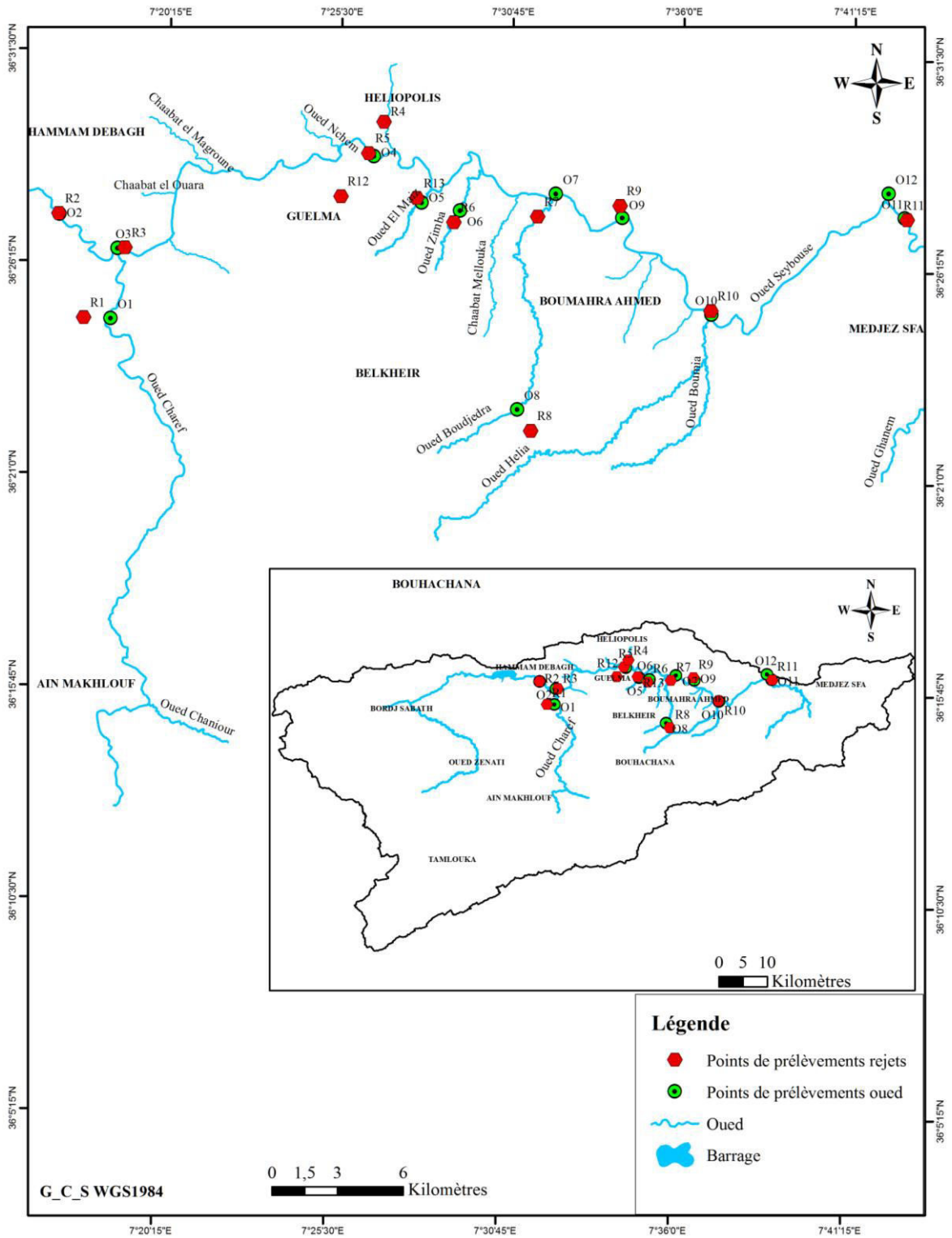


Figure 31. Carte des points de prélèvements (Khadri, 2017).

III. 2.1. Température

La température de l'eau, est un élément climatique et écologique très important, elle influence sur la dissociation des sels dissous, sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons et la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

En temps sec, les températures enregistrées (Figure 32) oscillent entre 27 °C au point R2 et 18 °C au point R1, et entre 19 °C (point R5) et 10,5 °C (point R3 et R10) en temps de pluie. L'abaissement de la température en période pluvieuse est dû à l'influence des conditions externes.

III.2. 2. Matière en suspension

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets (Rodier, 1984 in M. Makhouk et al., 2011). Les matières en suspension (MES) jouent un rôle essentiel dans les rejets pluviaux car de nombreux polluants, notamment les métaux lourds, se trouvent sous forme adsorbée sur ces MES. Les résultats acquis sont repris dans la figure 38.

Les concentrations mesurées dans les effluents urbains de la Seybouse varient entre 980 mg/l (cette valeur maximale peut être due au l'écoulement et la morphologie de la région) et 460 mg/l en temps de pluie, ces teneurs élevées peuvent être le résultat d'une intense érosion du bassin versant qui provoque la présence d'importants déchets transportés par les eaux de ruissellement suite à un événement pluvieux brutale (crue) et lessivage des matière en suspension décanté pendant la période de temps sec dans le réseaux unitaire .

En période sèche, où les concentrations de la MES présentent des valeurs moins élevées dans toutes les stations avec un maximum de 445 mg/l au point R1 et un minimum de 98 mg/l au point R4.

III.2. 3. Conductivité électriques

La conductivité électrique est un paramètre plus important pour le probablement l'une des plus simples et des plus importantes pour la vérification de la qualité des eaux usées. Elle indique le degré de minéralisation.

Elle est conditionnée par la présence des espèces ioniques en solution La conductivité dépend à la fois de la quantité d'ions présents dans le milieu et à la présence des espèces ioniques en solution.

La conductivité est généralement modérée et indiquant des eaux moyennement minéralisés (Figure 32). La valeur de la conductivité est plus élevée par temps sec que par temps de pluie pour tous les points de rejets montrant que l'effet de dilution par les précipitations prédomine. Des valeurs extrêmes variant de 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sont enregistrés en période sèche et humide au niveau de point R1, les valeurs minimales de conductivité sont mesurées au niveau des points R2 (temps de pluie) et R7, R10 (temps sec) varient respectivement de 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 770 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

III.2. 4. Oxygène dissous

C'est la teneur en O_2 pour laquelle l'eau est saturée à 100%. D'autre part, la présence de l'oxygène dans l'eau résulte d'une diffusion à partir de l'air au niveau de la surface et surtout de l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques, notamment des algues du phytoplancton (Mouchara. N, 2009). L'oxygène dissous est un bon indicateur de pollution, leur concentration dans l'eau est liée à plusieurs facteurs, en particulier : la température, la pression atmosphérique et la salinité.

L'histogramme de l'évolution des concentrations de l'oxygène dissous montre des valeurs plus élevées en temps de pluie que celles en période sèche (Figure 38). En effet, les teneurs enregistrées varient entre 0,96 mg/l (R5) et 3,7 mg/l (R1) et entre 0,5 mg/l (R5) et 1,9 (R1) respectivement en temps de pluie et en temps sec. En temps de pluie nous observons une légère augmentation de la teneur d'oxygène dissous, cette élévation peut être dû aux rejets pluviaux, les valeurs en oxygène dissous est diminué avec l'augmentation de la consommation de l'oxygène par les organismes vivants et à l'abaissement de la température.

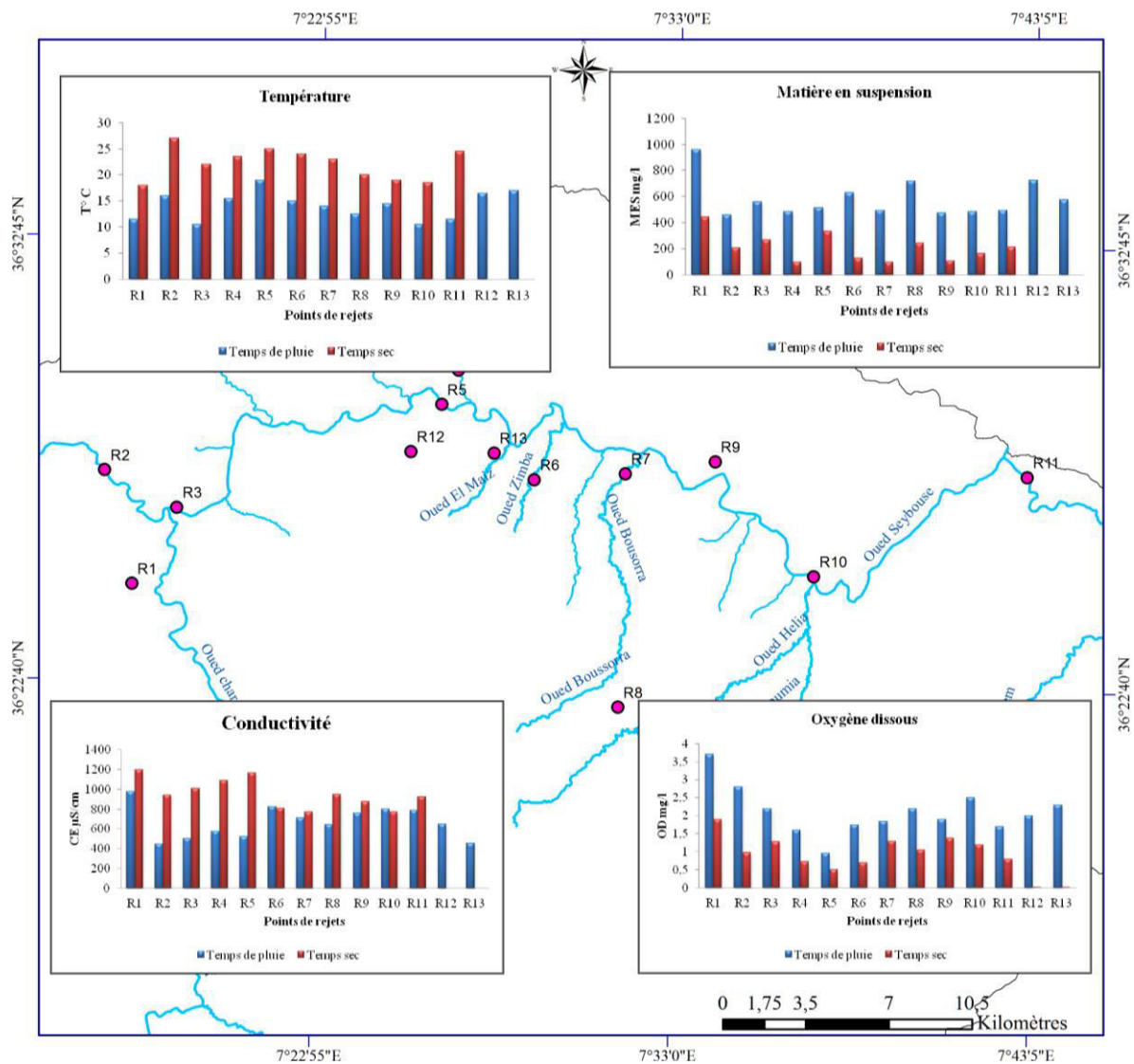


Figure 32. Variation des concentrations de Température, Matière en suspension, conductivité et oxygène dissous (Khadri, 2017).

III.2. 5. Les nitrates

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l’azote, c’est une forme très soluble à confirmé (Dabieche, 2002). L’histogramme des teneurs en nitrates dans les eaux des rejets urbains, montre une légère variation de ces teneurs qui oscillent entre 1.1 et 3.7 mg/l en temps sec, cependant les concentrations les plus élevées sont observées en période de crue variant de 2 à 59 mg/l (Figure 33). L’accroissement des teneurs en nitrates dans les eaux pendant la période de crue provient du lessivage des fertilisants utilisés dans les sols irrigués qui sont riches en nitrate (Kachi et al, 2016).

III.2. 6. Les nitrites

Les nitrites ou azote nitreux, représentent une forme moins oxygénée et moins stable, elle représente la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique. Son origine est liée à l'agriculture ou aux rejets urbains et industriels. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de point R5 pour les deux prélèvements avec une valeur de 2.28 mg/l (Figure 33).

III.2. 7. L'ammonium

L'azote ammoniacal constitue un des maillons du cycle complexe de l'azote dans son état primitif. C'est un gaz soluble dans l'eau, il constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains. Dans les eaux superficielles, il provient de la matière organique azotée et des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère.

L'interprétation des concentrations de l'ammonium (Figure 33), montre que les teneurs varient entre 9.7 à 52,8 mg /l (R9 et R5) pour le premier prélèvement et 4 à 40 mg /l (R9 et R3). Les valeurs d'ammonium trouvées au mois de septembre sont inférieures à celles de deuxième prélèvement, traduisant ainsi l'effet de la dilution. Les teneurs relativement élevées enregistrées de la station R3 traduisent le processus de dégradation incomplète de la matière organique.

III.2. 8. Phosphate

Le phosphore, l'un des nutriments importants, peut se trouver sous différentes formes oxydées. Il représente un élément biogène indispensable à la croissance des algues. Les teneurs élevées de cet élément dans les eaux de surface peuvent entraîner leur eutrophisation. Cependant, ils ont un effet bénéfique en jouant un rôle régulateur : ils favorisent tous les phénomènes de fécondation, la mise à fruit et la maturité des organes végétatifs.

L'analyse des résultats (Figure 33) montre que la concentration en phosphate est importante dans la majorité des points, les fortes teneurs sont enregistrés au niveau des rejets des grandes agglomérations (R2, R4, R5 et R11). Cette élévation est due essentiellement aux rejets urbains et à l'utilisation des engrais chimique. Les agents atmosphériques, vent et pluie, représentent aussi des sources de phosphates surtout quand le débit fluvial est faible.

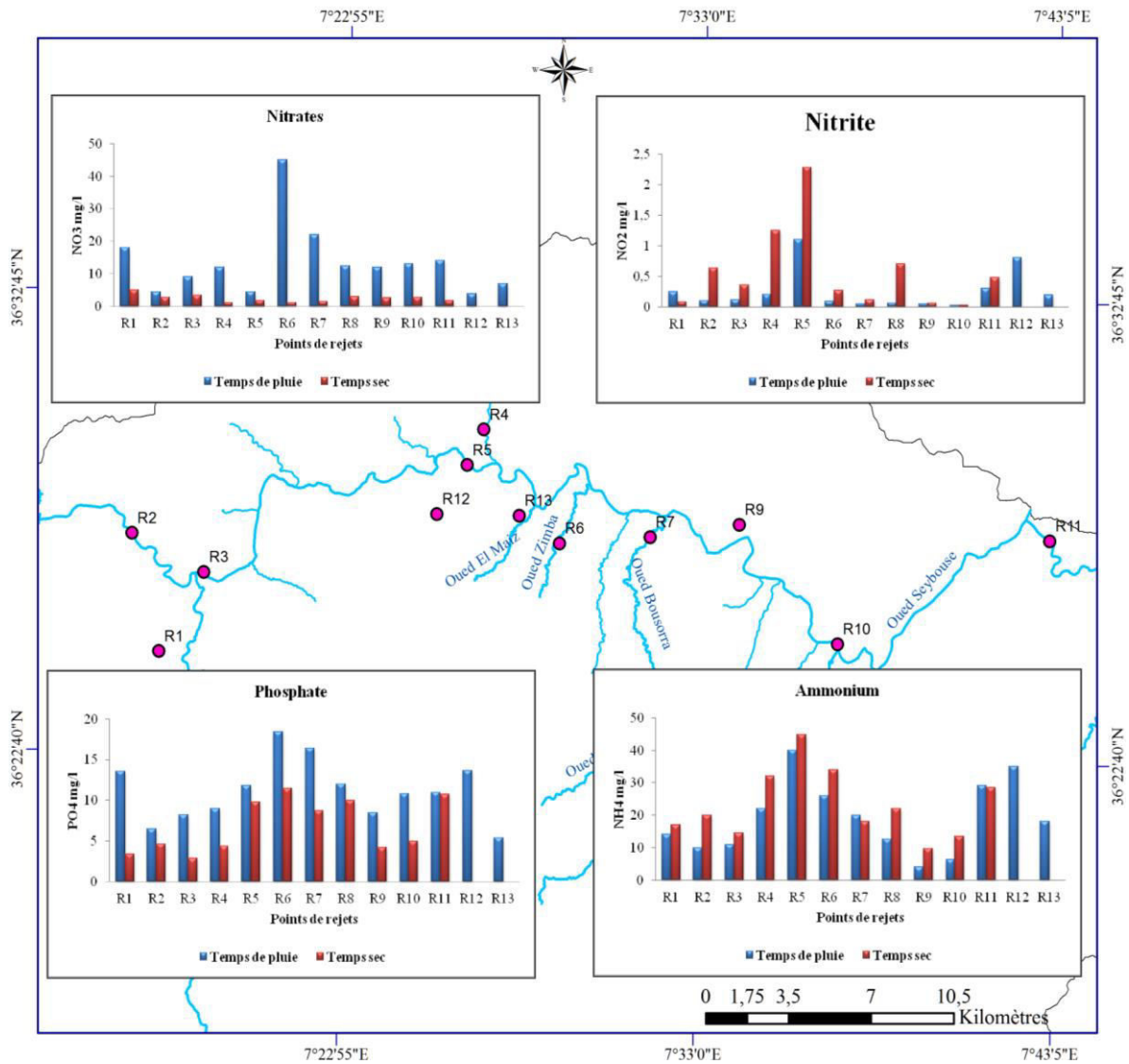


Figure 33. Variation des concentrations de nitrates, nitrite, ammonium et phosphate (Khadri, 2017).

III.2. 9. Cadmium

Le cadmium provient des résidus de procès industriels, de l'usure des pneumatiques et des résidus de combustion (Krajewski, 2006). En temps sec nous observons l'absence du cadmium dans la majorité des points de rejets sauf au niveau des points R4, R5, R6, R7 et R10 avec des teneurs oscillent entre 0,01 mg/l et 0.45 mg/l (Figure 34), cette valeur dépasse la valeur limite maximale algérienne de cadmium des rejets des installations de déversement industriel (0,25 mg/l).

En temps de pluie, les valeurs de cadmium présentent des concentrations plus élevées qu'en temps sec avec un maximum de 0.57 au point R5. La contamination par cet élément est causée par les rejets des industries (transformation plastique, briqueteries et rejets des fourneaux de l'unité céramique) (Nouar, 2007).

III.2. 10. Plomb

Le plomb provient en majorité des carburants et des retombées industrielles, il est présent des valeurs importantes qui dépasse la valeur limite (0,5 mg/l) avec un maximum de 1,5 mg/l (temps sec) et de 2,3 mg/l au niveau de point R13 (Déversoir d'orage). Sa présence est liée aux rejets des industries utilisant le plomb, des stations de services et les eaux de ruissellement (Figure 34).

III.2. 11. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène représente la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables chimiquement contenues dans l'eau. Elle est représentative de la majeure partie des composés organiques mais également des sels minéraux oxydables (sulfures, chlorures.etc). La demande chimique en oxygène est une des mesures principales des effluents pour les normes de rejet (Makhoukh., 2011).

L'histogramme de DCO montre que la majorité des points de rejets présente des valeurs importantes dépasse la norme qui égale 90 mg/l (norme internationale selon OMS pour les eaux usées). Les teneurs en DCO enregistrées au niveau des eaux étudiées sont comprises entre 18mg/l (R10) et 490 mg/l (R5) en temps sec, entre 25 mg/l (R10) et 230 mg/l (R6) en temps de pluie, les valeurs élevées sont traduit par la présence d'une charge polluante importante issue de l'accumulation des rejets urbains et industriels. Les teneurs de DCO diminuent avec l'intensité de pluie (Figure 34).

III.2. 12. Demande biochimique en oxygène (DBO5)

La DBO5 (demande biochimique en oxygène), c'est la quantité d'oxygène dissous consommée par les micro-organismes, à l'obscurité à 20 °C pendant 5 jours. Il permet l'évaluation des matières organiques biodégradables (Makhoukh, 2011).

La figure 34 montre que les concentrations de DBO₅ les plus élevées sont enregistrées au niveau des rejets des agglomérations de la commune de Guelma (R5) avec une valeur très

élevée 280 mg/l (temps sec) et 164 mg/l (temps de pluie), ces concentration en matières organiques provenant des agglomérations urbaines.

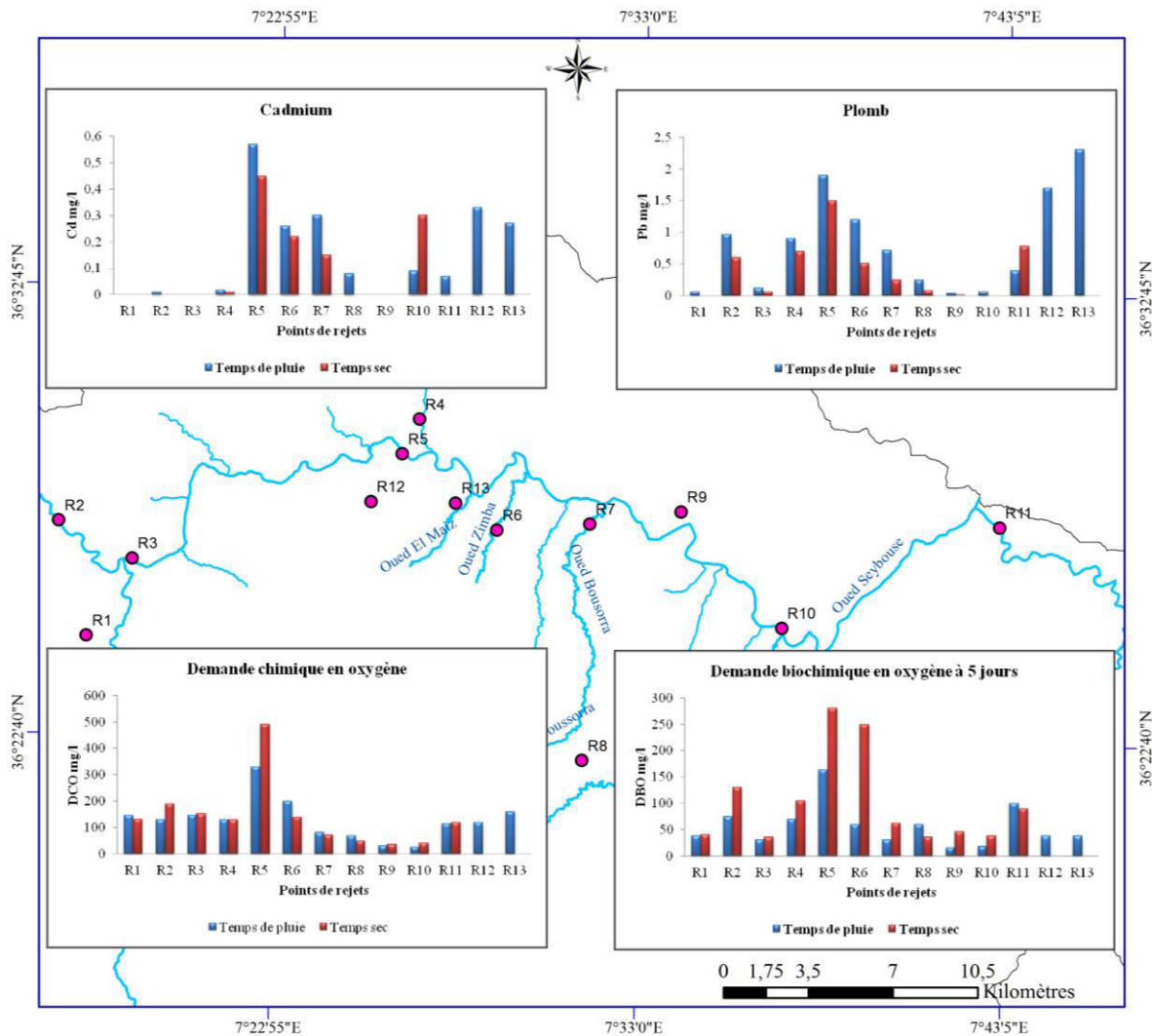


Figure 34. Variation des concentrations de cadmium, plomb, DCO et DBO₅ (Khadri, 2017).

III.2. 13. Evaluation de la matière organique (Biodégradabilité de l'effluent)

L'estimation de la matière organique oxydable présente dans les effluents urbains et le calcul du rapport DCO/DBO₅ permet d'apprécier l'origine et la nature de ces effluents, et donner une idée sur le degré de pollution des effluents.

La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO₅ et la DCO est donnée par l'équation suivante:

$$MO = (2 \cdot DBO_5 + DCO) / 3$$

Les valeurs calculées de la matière organique oxydable (MO) sont présentées dans la figure 35. les valeurs de MO montre que au temps sec les matières oxydables sont plus importantes que au temps de pluie avec une valeur maximale de 350 mg/l au rejets R5, ce qui indique que R5 est point qui recueille la majorité des eaux usées domestique de ville de Guelma et par conséquence c'est le rejet le plus chargé et pollué par les matières oxydables.

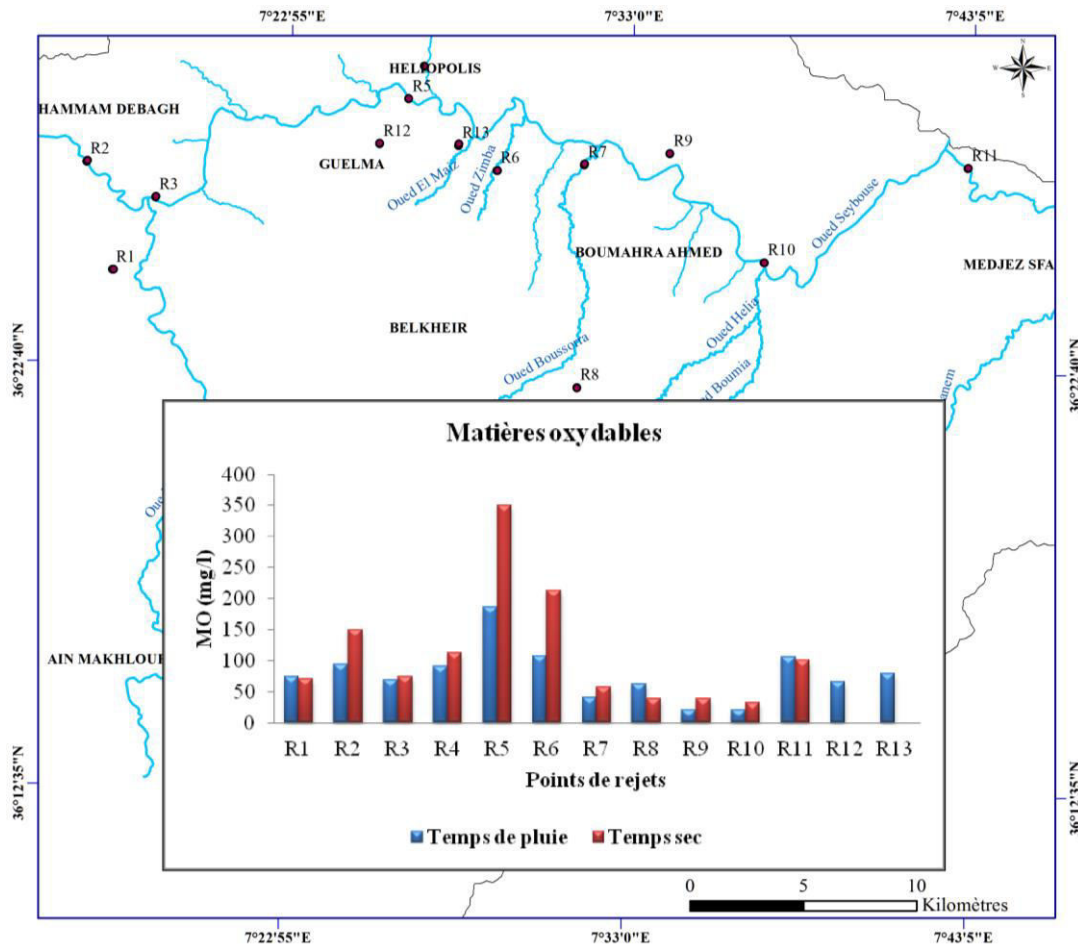


Figure 35. Estimation de la matière oxydable (Khadri, 2017).

Les eaux usées peuvent être classées en deux catégories : biodégradables et non-biodégradables. La biodégradabilité des effluents des eaux usées est exprimée par le rapport DCO/DBO₅, une valeur faible du rapport DCO/DBO₅ implique la présence d’une grande proportion de matières biodégradables et permet d’envisager un traitement biologique. Inversement, une valeur importante de ce rapport indique qu’une grande partie de la matière organique n’est pas biodégradable et, dans ce cas, il est préférable d’envisager un traitement physico-chimique. Les résultats de ce rapport constituent une indication de l’importance des matières polluantes peu ou pas biodégradables; on convient généralement des limites suivantes (Rodier, 1996):

- $DCO/DBO_5 < 2$: l'effluent est facilement biodégradable, ce qui traduit une meilleure biodégradabilité.
- $2 < DCO/DBO_5 < 3$: l'effluent est biodégradable avec des souches sélectionnées, pour les eaux d'origine d'un effluent à dominante domestique.
- $DCO/DBO_5 > 3$: l'effluent n'est pas biodégradable, cela traduit l'apport d'un effluent industriel plus ou moins difficilement biodégradable.

Les résultats obtenus du rapport DCO/DBO_5 pour la période sèche sont variés entre 0,47 à 4,19 et de 1,15 à 4,86 en temps de pluie. La majorité des stations de prélèvement ont un rapport DCO/DBO_5 est inférieurs à 2 donc l'eau usée est facilement biodégradable; plus le rapport est faible la biodégradabilité de l'effluents est augmente. Les stations qui présentent un rapport supérieur à 3 illustrent une faible biodégradabilité.

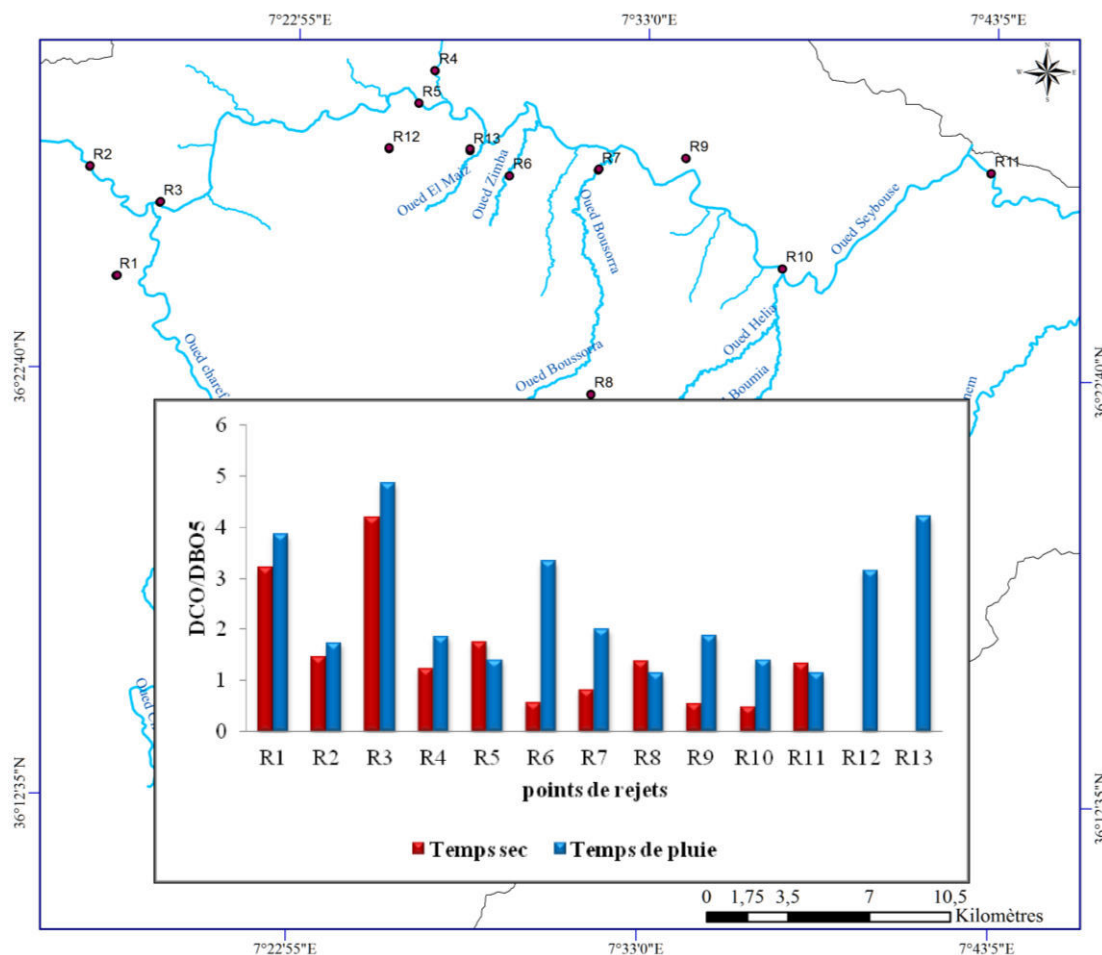


Figure 36. Evolution spatiale des valeurs du rapport DCO/DBO_5 (Khadri, 2017).

D'où la nécessité de faire appel à des méthodes plus efficaces vis à vis d'un tel rejet. Ces rejets peuvent être contiens des polluants d'origine industrielle ou agricole plus ou moins difficilement biodégradable.

Le rapport DCO/DBO5 est plus élevé pour les rejets urbains de temps de pluie, indication d'une moins bonne biodégradabilité des effluents. A cause des phénomènes de lessivage des toitures et des chaussées, les MES transportées en période pluvieuse dans les réseaux unitaires et dans les eaux pluviales sont beaucoup plus minérales que celles en période sèche, les MES sont considérés comme un agent vecteur de plusieurs polluants.

Les figures 37 et 38 fait sortir les rejets urbains qui ont le même coefficient de biodégradabilité et le même degré de pollution, on peut conclure que les deux effluents sont à caractère dominant domestique.

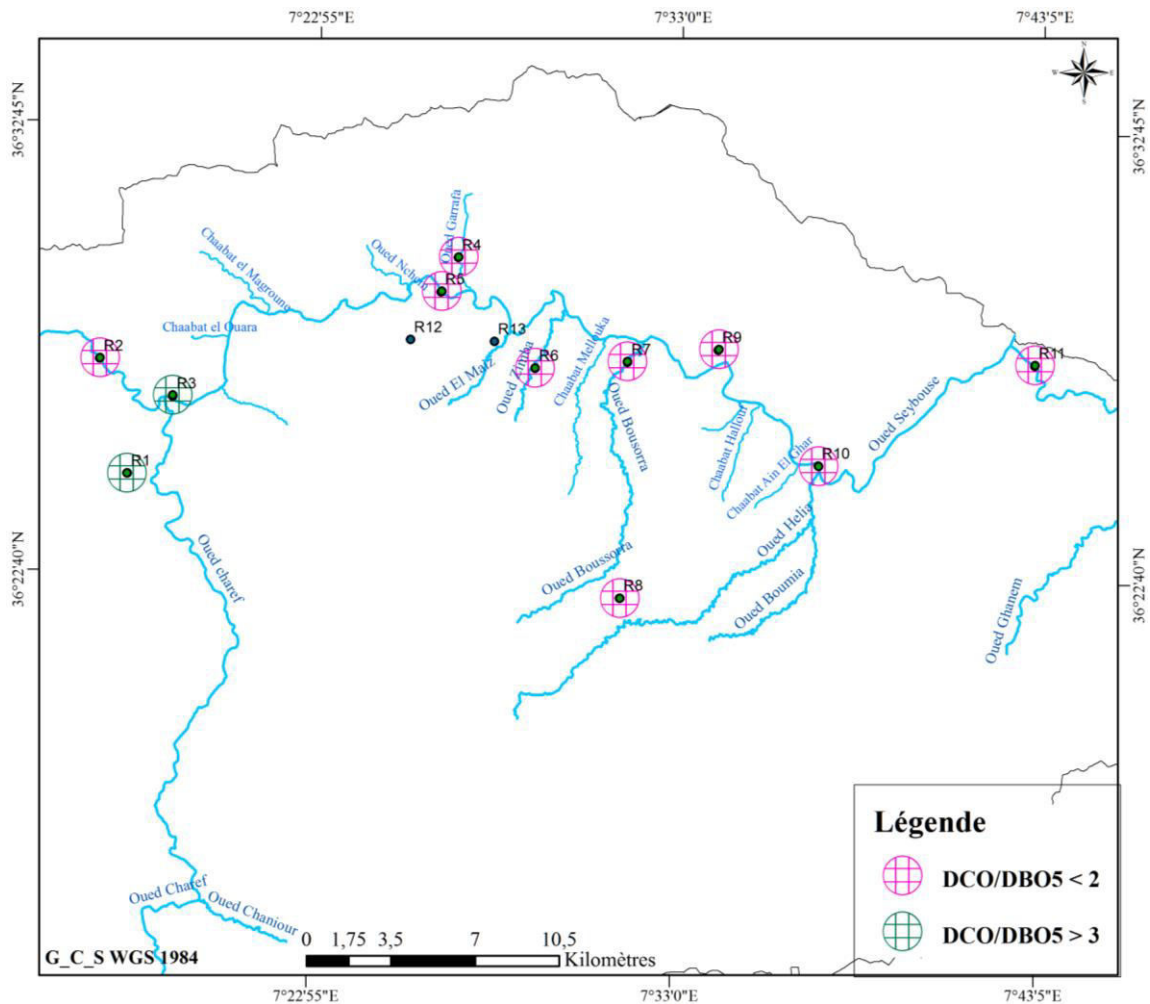


Figure 37. Présentation du coefficient de biodégradabilité DCO/DBO₅ (Temps sec), (Khadri, 2017).

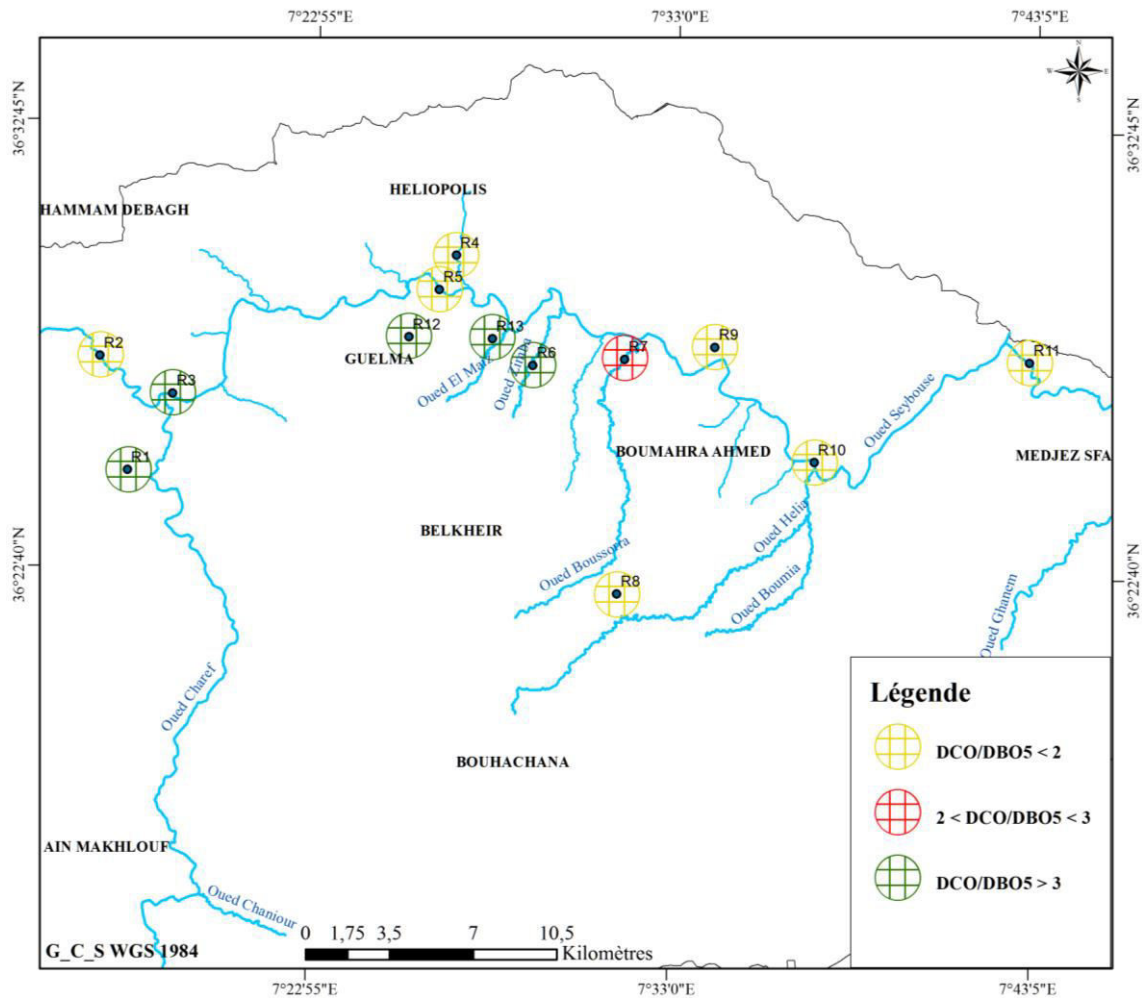


Figure 38. Présentation du coefficient de biodégradabilité DCO/DBO₅ (Temps de pluie), (Khadri, 2017).

III. 3. Analyse statistique des données physico-chimiques

L'analyse en composantes principales (ACP), est une méthode factorielle s'applique à des tableaux croisant des individus ou observations (en lignes) et des variables quantitatives (en colonnes), qui permettent des représentations graphiques de ces individus et de ces variables.

L'ACP se veut descriptive : elle permet de condenser les informations et donc de les interpréter plus facilement. L'idée est de représenter le nuage de points dans un espace de dimension réduite de façon optimale, c'est-à-dire en déformant le moins possible les distances entre individus. Elle revient donc à chercher le meilleur espace de représentation de dimension réduite permettant au mieux de visualiser la forme d'un nuage à K dimensions (Vialle, 2011).

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode de la famille de l'analyse des données et plus généralement de la statistique multi-variée, qui consiste à transformer des variables liées entre elles (dites corrélées) en nouvelles variables dé-corrélées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées "composantes principales", ou axe principaux. Elle permet de réduire le nombre de variables et de présenter, sous une forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données. Pour mieux visualiser et interpréter les individus, l'ACP permet de condenser les informations et réduit les dimensions d'espace entre les individus, les espaces retenus seront donc à une dimension (c'est-à-dire des droites) ou, et c'est le cas le plus fréquent, à deux dimensions (c'est à dire des plans), (Philippeau, 1992).

L'établissement de l'ACP nous a permis de classer et de traiter les informations relatives aux paramètres physico-chimiques et biologiques des RUTP en fonction de type de rejet ou encore le temps de prélèvements. Le traitement statistique de l'analyse en composantes principales a été effectué sur une matrice de données constituée de 13 variables et 11 prélèvements (temps sec) et 14 prélèvements (temps de pluie).

Les variables retenues pour cette étude statistique sont : la température (T), les composés azotés (NO₃, NO₂ et NH₄), le phosphate (PO₄), l'oxygène dissous (OD), la Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅), la Demande Chimique en Oxygène (DCO), la conductivité électrique (CE), la matière organique (MO), la matière en suspension (MES) et les métaux lourds (Cadmium, Plomb). Les résultats ont été obtenus avec le Logiciel Statistica 2009.

III. 3. 1. L'analyse en composante principale des rejets urbains en temps sec

Les valeurs propres nous renseignent sur la fraction de l'inertie totale prise en compte par chaque axe, ces valeurs nous a permis d'estimer le nombre d'axes qui forme le plan de projection de l'information. La variation totale (100%) est répartie selon 11 valeurs propres. Il y a deux manières pour déterminer le nombre d'axes à prendre en compte (Vialle, 2011):

- Un critère "absolu" : ne retenir que les axes dont les valeurs propres sont supérieures à 1 (c'est le critère de Kaiser).

- Un critère "relatif" : retenir les valeurs propres qui "dominent" les autres, en se référant au graphique en barres des valeurs propres.

Le graphe des valeurs propres (Figure 39) montre que l'axe factoriel 1 présente plus de la moitié (soit 51,60 %) de la variance totale des données, l'axe F2 et F3 indique 24,30 % et 7,49 % respectivement de la variabilité totale des données. Ainsi, 75,90 % de la variabilité du tableau de données est répartie par le plan factoriel F1x F2 et de 59,09 % pour le plan F1xF3.

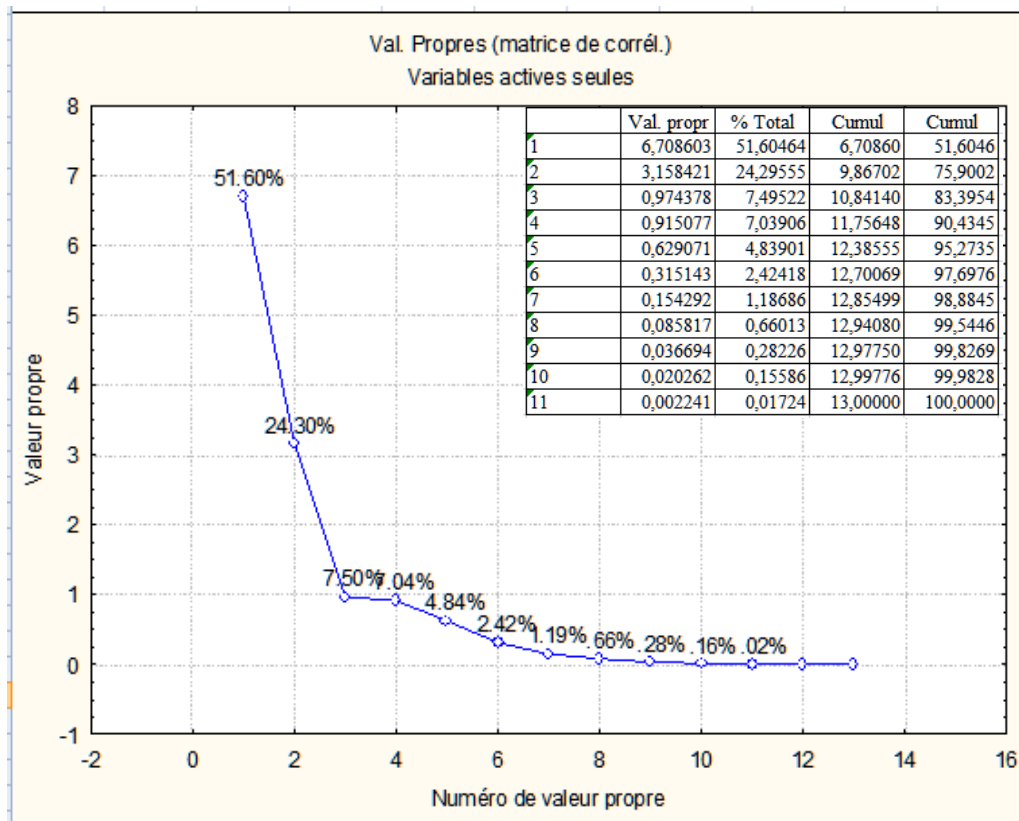


Figure 39. Représentation graphique des valeurs propres (Temps sec).

a. Plan factoriel F1 x F2

Le cercle de corrélation formé par les axes F1 et F2 (Figure 40) présentant 75,90 % de l'information totale indique, le premier facteur F1 (51,60 %) est corrélé positivement à l'oxygène dissous (0,78) présente les rejets de faible charge polluante s'opposant au groupe de paramètres de pollution urbaine. nous observons une forte corrélation négative entre l'oxygène dissous et le DBO₅ (-0,76) et la température (-0,79). Une corrélation faible négative entre OD-NH₄ (-0,66), OD-NO₂ (-0,61), OD-MO (-0,61), OD-DCO (0,51) et OD-Pb (-0,54). Ainsi, l'axe F1 peut être assimilé à un axe traduisant le degré de pollution.

L'axe F2 est fortement corrélé au MES, NO₃ et conductivité avec un coefficient de corrélation facteur-variable sont respectivement 0,84, 0,80 et 0,84. Le facteur F2 est corrélé

négativement au phosphate (-0,66). Les matières en suspension sont fortement corrélées avec la conductivité (0,72) et les nitrates (0,69). Le facteur F2 peut définir comme un axe de pollution par les eaux d'irrigation.

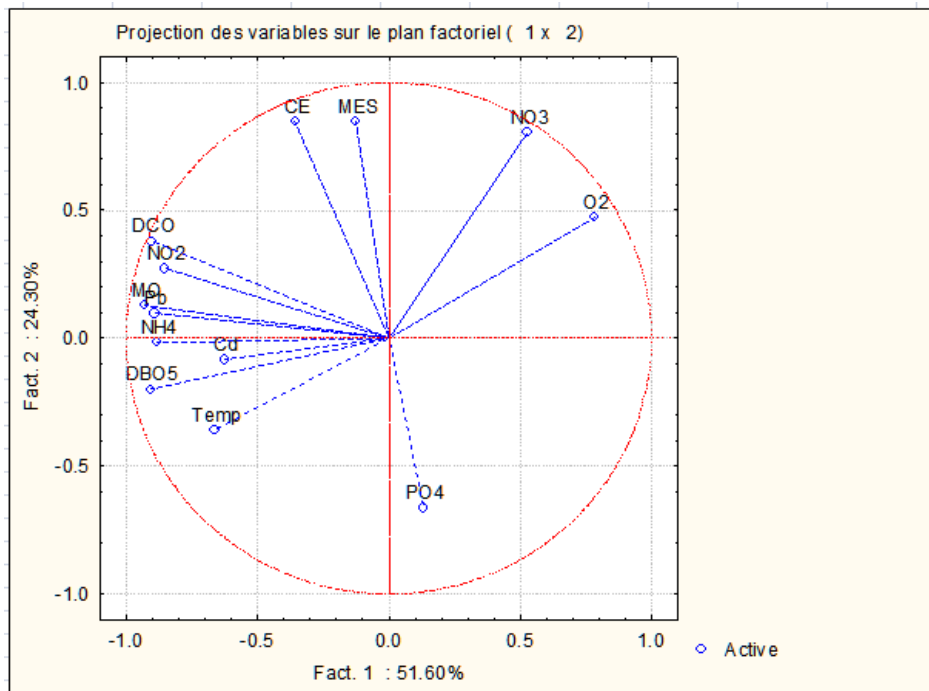


Figure 40. Cercle de corrélation des différentes variables en temps sec selon le plan F1x F2.

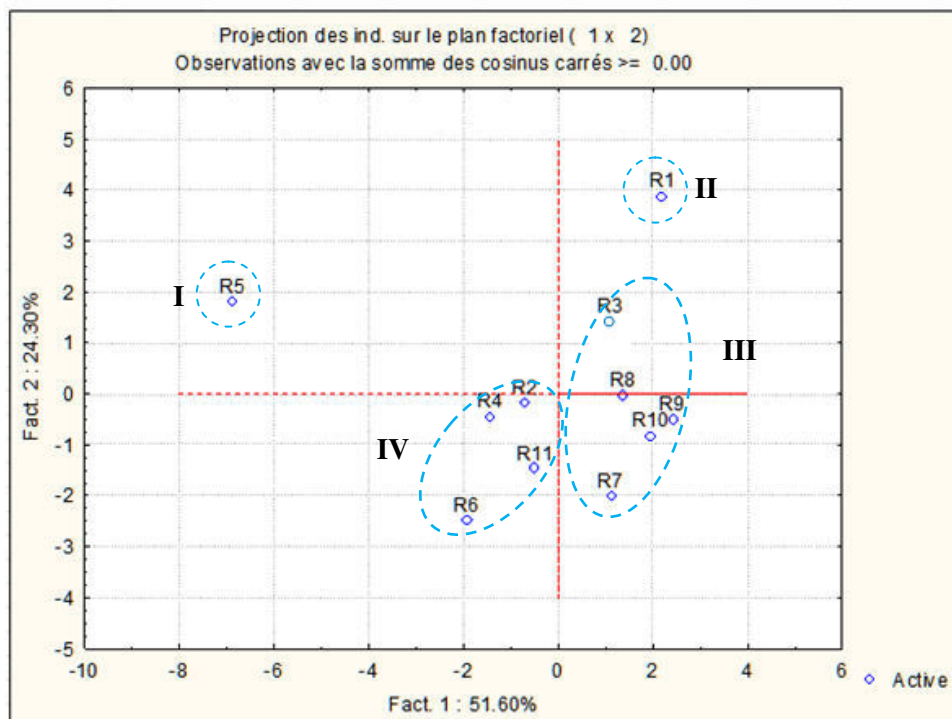


Figure 41. Répartition des individus en temps sec dans le plan factoriel F1 x F2.

L'analyse de la répartition des individus permet de mettre en évidence les similitudes et dissimilitudes existantes entre les individus en fonction de leur composition physicochimique (Figure 41).

La projection des individus montre que le rejet R5 est un individu atypique, il présente une charge polluante très élevée d'origine domestique. Le rejet R1 est caractérisé par une forte minéralisation peut être dû à la nature des eaux de la région et au lessivage des terrains agricole.

Le regroupement au centre des individus qui ayant un comportement similaire nous donne deux groupes : un groupe (III) des rejets qui présente une pollution faible par les matières organique par rapport aux autres rejets, un autre groupe qui présente une pollution importante par la conductivité, DBO₅, DCO, PO₄ et HN₄ (Groupe IV).

b. Plan factoriel F1 x F3

Les trois premières composantes principales regroupent 83,39 %, le plan factoriel F1 et F3 exprime 59,09 % de l'information totale. L'axe F1 montre une corrélation positive avec les nitrates et l'oxygène dissous. Les variables oxygène dissous et les nitrates sont fortement corrélés avec un coefficient de corrélation de 0,80. Ces deux variables s'opposent avec les autres paramètres de pollution urbaine, la conductivité et les matières en suspension sont mal présentées dans ce plan (Figure 42). L'axe F3 montre une faible corrélation avec le phosphate (-0,55) et le cadmium (0,58).

La projection des individus indique la présence de trois groupes (Figure 43):

- Groupe 1 représenté par les rejets domestique de la ville de Guelma (R5) caractérisé par une forte charge polluante.
- Groupe 2 présente les rejets qui ont une faible concentration par la matière organique.
- Groupe 3 un autre groupe qui présente une pollution importante pas DBO₅, DCO, PO₄ et NH₄.

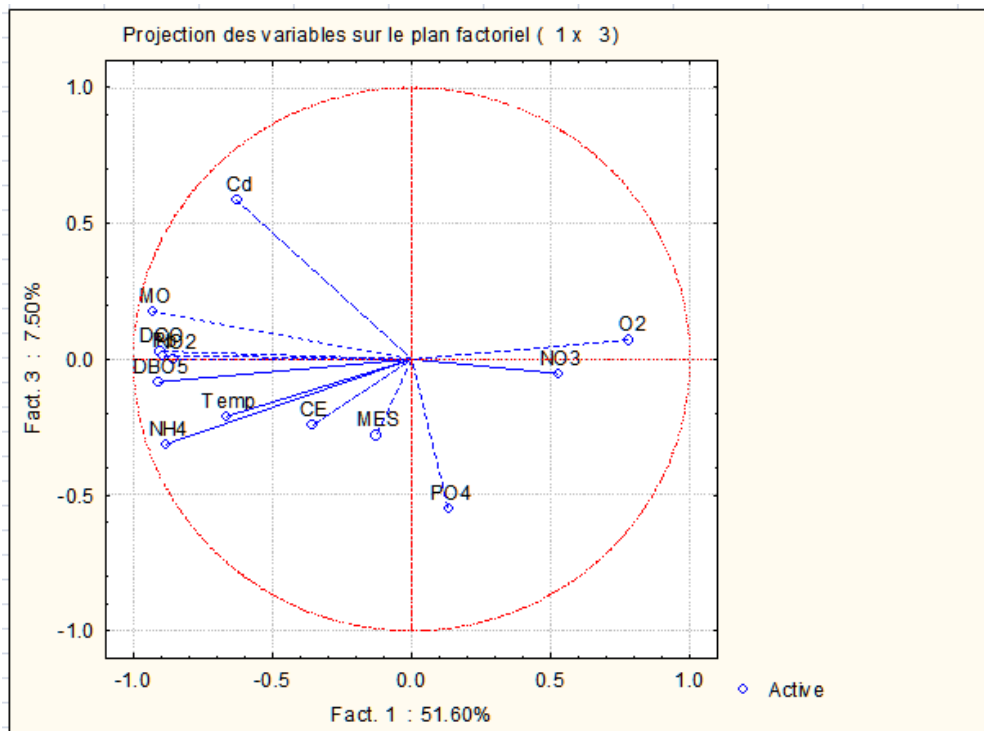


Figure 42. Cercle de corrélation des différentes variables en temps sec selon le plan F1x F3.

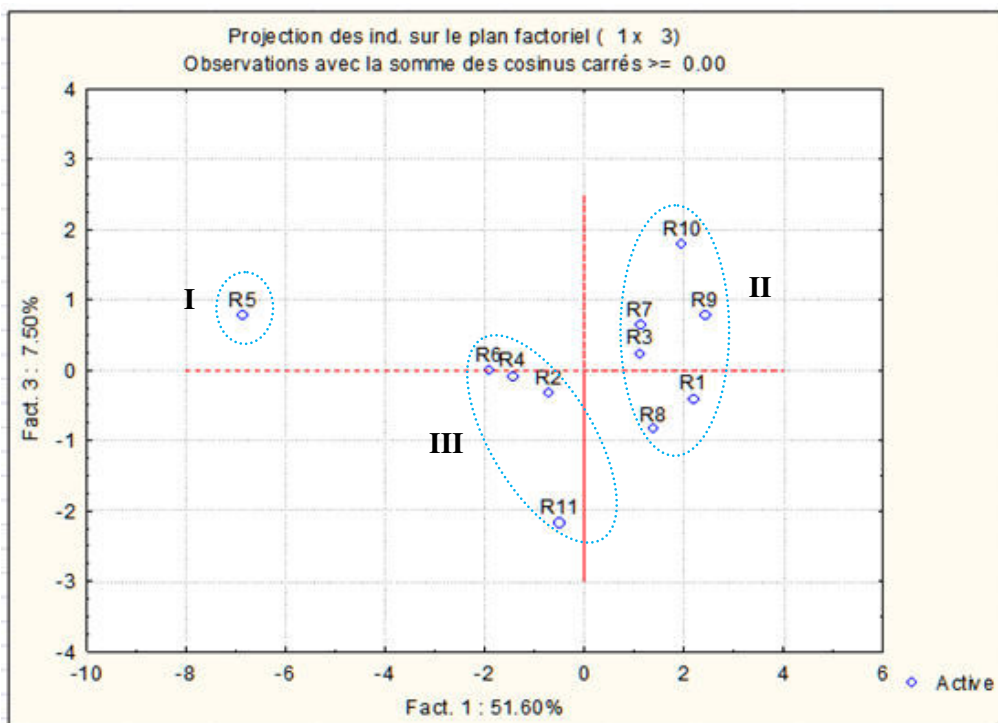


Figure 43. Répartition des individus en temps sec dans le plan factoriel F1 x F3.

III. 3. 2. L'analyse en composante principale des rejets urbains par temps de pluie

La figure 44 montre les valeurs propres calculées des composantes et leur contribution à l'inertie totale, dans cette analyse, les trois premières composantes principales expliquent 78,12 % de la l'information c'est à dire 46,73 % sur l'axe 1, 20,96 % sur l'axe 2 et 10,42 sur l'axe 3.

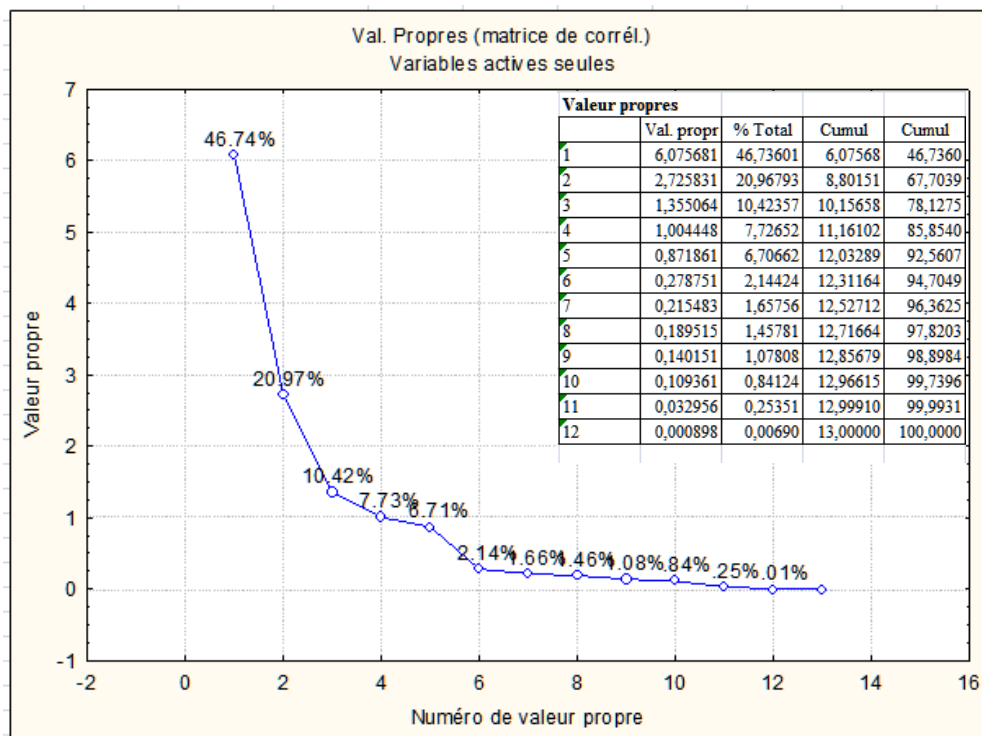


Figure 44. Représentation graphique des valeurs propres (Temps de pluie).

a) Plan factoriel F1 x F2

Le plan F1 et F2 donne un pourcentage d'information de l'ordre de 67.70 %. L'observation selon l'axe F1 (46,73 %), montre une forte corrélation négative avec les éléments qui viennent des rejets domestiques et industriels, la corrélation positive de l'oxygène dissous avec l'axe 1 (0,65) pourrait expliquer par l'augmentation de l'oxygénation des eaux usées des rejets étudiés pendant la période pluvieuse.

L'axe 2 (20,97 %) est fortement associé au phosphate (-0,90), conductivité (-0,77), nitrates (-0,73) et les matières en suspension avec un coefficient de corrélation entre facteur et variable de -0,63. Des corrélations significatives ont été observées entre la conductivité et la concentration en phosphore (0,70), la conductivité et les nitrates (0,56) et entre les nitrates et

le phosphate (0,65). La corrélation entre la conductivité et le phosphore et entre la conductivité et les nitrates peut traduire par la présence des nitrates et du phosphore sous forme ionique. La corrélation entre les nitrates et le phosphate peut être dû à l'utilisation des engrais type NPK. L'axe F2 est déterminé comme un axe de pollution par les éléments charriés par les eaux de ruissellement du bassin versant lors de temps de pluie.

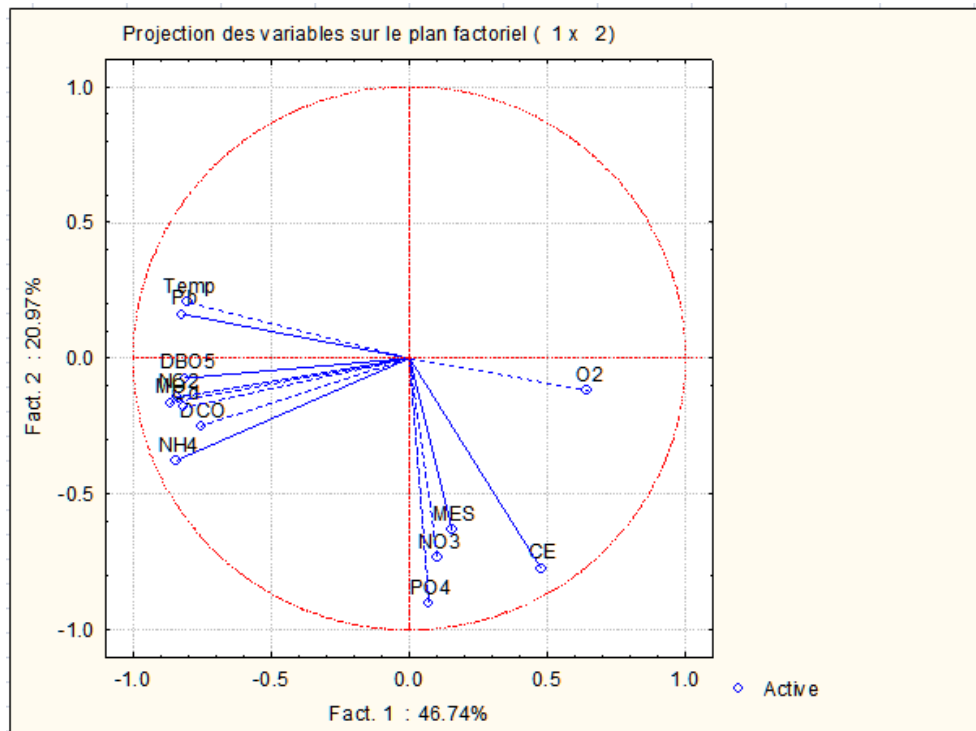


Figure 45. Cercle de corrélation des différentes variables en temps de pluie selon le plan F1x F2.

La projection des individus, selon le plan F1 et F2, montre la présence de six groupes (Figure 46), les individus ou les groupes d'individus s'opposant par rapport à un axe factoriel, s'opposeront par rapport aux variables qui font cet axe:

- Le groupe I s'oppose au groupe II par rapport à l'axe F1, les eaux du groupe I est caractérisé par une faible valeurs de la matière organique oxydable et des valeurs moyennes du phosphate et des nitrates.par contre le groupe II présente une charge polluante très importante d'origine domestique et industrielle conduisant à des concentrations faibles en oxygène dissous.

- Le groupe IV est caractérisé par des eaux usées chargées en matière organique avec des valeurs très élevées du phosphate, nitrates et ammonium dû à l'activité agricole intense. Ce groupe se compare au groupe III présente des concentrations moyennes en polluants, ce sont des rejets à faible contamination anthropique. La présence des éléments de la pollution urbaine, industrielle et agricole est liée aux conditions climatiques, ce qui laisse supposer des arrivées d'eau de diverses origines.

- Le groupe V situé en amont du bassin versant, il est défini par des concentrations élevées de conductivité, matière en suspension, oxygène dissous, nitrates, phosphate et ammonium. Ces polluants provenant de l'érosion et le lessivage des terrains par les eaux de ruissellement en temps de pluie.

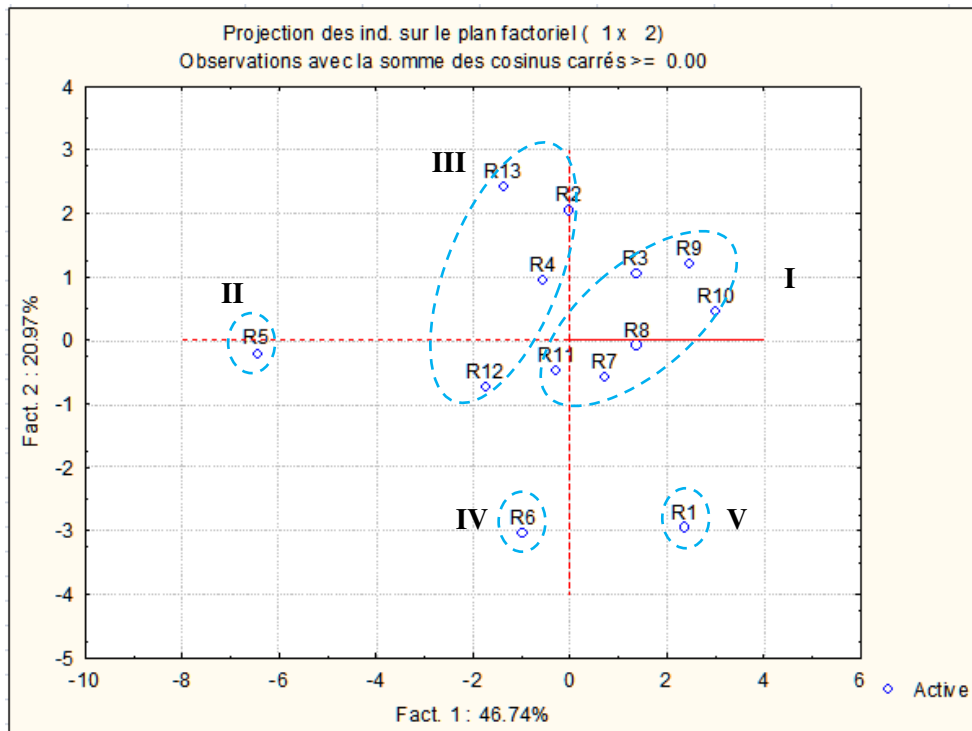


Figure 46. Répartition des individus en temps de pluie dans le plan factoriel F1 x F2.

b) Plan factoriel F1 x F3

Le plan F1 et F3 exprime 57,16 % de l'information totale. Le facteur F1 (49.74%) montre un regroupement des paramètres de pollution domestique et industrielle qui sont corrélés négativement à l'axe F1, la conductivité électrique est mal représenté sur cette axe. Le facteur F3 est bien corrélé avec l'oxygène dissous et les matières en suspension avec un coefficient de corrélation respectivement de 0,69 et 0,68. Nous observons une corrélation

entre les matières en suspension et l'oxygène dissous (0,58), l'axe F3 présente les eaux usées parfaitement oxygénées et riche en matière en suspension résultat de l'effet de la pluie.

La figure 48 montre la projection des individus sur le plan factoriel F1 et F2. Les individus qui sont superposés sur le plan factoriel, ils ont les mêmes valeurs aux différentes variables. La figure indique l'existence de trois groupes I, II et III de caractéristiques physico-chimique différentes. Les variations des concentrations sont influencées par l'effet visible de la pluie.

III. 3. 3. Classification hiérarchique ascendante

Le but de la Classification hiérarchique ascendante est d'obtenir une classification automatique de l'ensemble d'individus. Elle commence par déterminer parmi les n individus, quels sont les deux individus qui se ressemblent le plus par rapport à l'ensemble des p variables spécifiées. Elle va alors regrouper ces 2 individus pour former une classe. Il existe donc à nouveau $(n-1)$ classes, une étant formée des 2 individus regroupés précédemment, les autres ne contenant qu'un unique individu. Le processus se en déterminant quelles sont les 2 classes qui se ressemblent le plus, et en les regroupant. Cette opération est répétée jusqu'à l'obtention d'une unique classe regroupant l'ensemble des individus (M. Boubou, 2007). La classification obtenue est représentée sous forme d'arbre hiérarchique ou dendrogramme. Une coupure, faite au niveau du nœud après lequel il y a une perte d'indice importante, fournit des classes homogènes et éloignées des autres classes. Nous constatons à partir de cette figure que ce dendrogramme de répartition permet apparaître quatre classes en temps sec (Figure 49.A) et cinq classes en temps de pluie (Figure 49.B).

Le premier graphe (Figure 49.A) montre l'existence de quatre groupes : C1: R1, C2: R3 R 7 R8 R9 R10, C3: R2 R4 R6 R11, C4: R5.

En temps de pluie on distingue cinq classes (Figure 49.B) distribuée comme suit: C1: R1, C2: R6, C3: R3 R7 R8 R9 R10 R11, C4: R2 R4 R12 R13, C5: R5

Au regard de cette figure on remarque que ces résultats confirment ceux obtenus par L'ACP, et la signification des classes correspond à celles des facteurs.

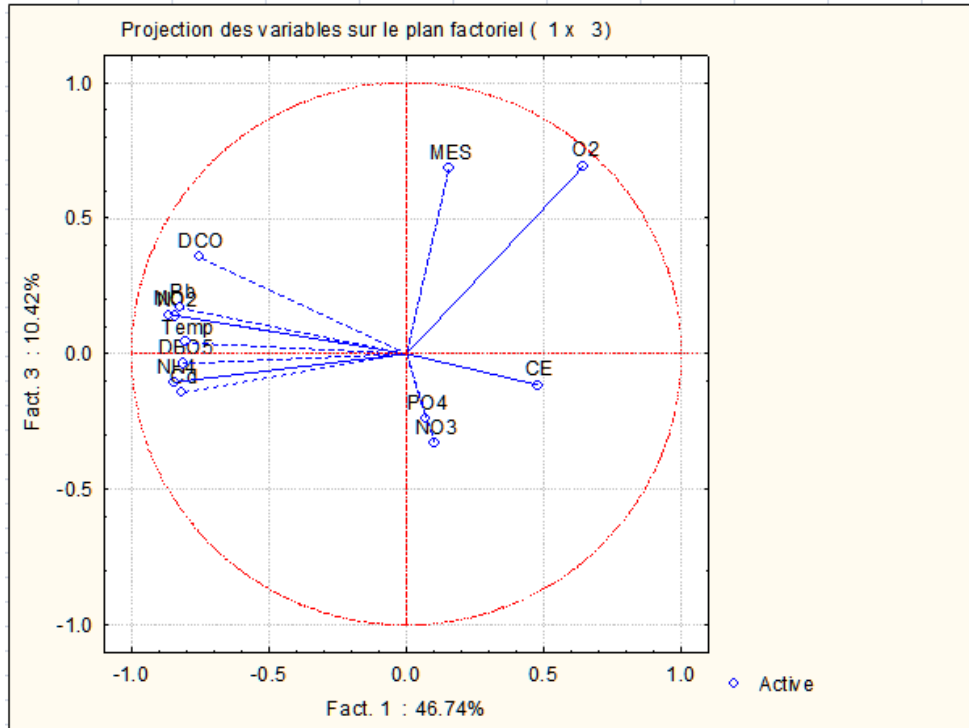


Figure 47. Répartition des individus en temps de pluie dans le plan factoriel F1 x F3.

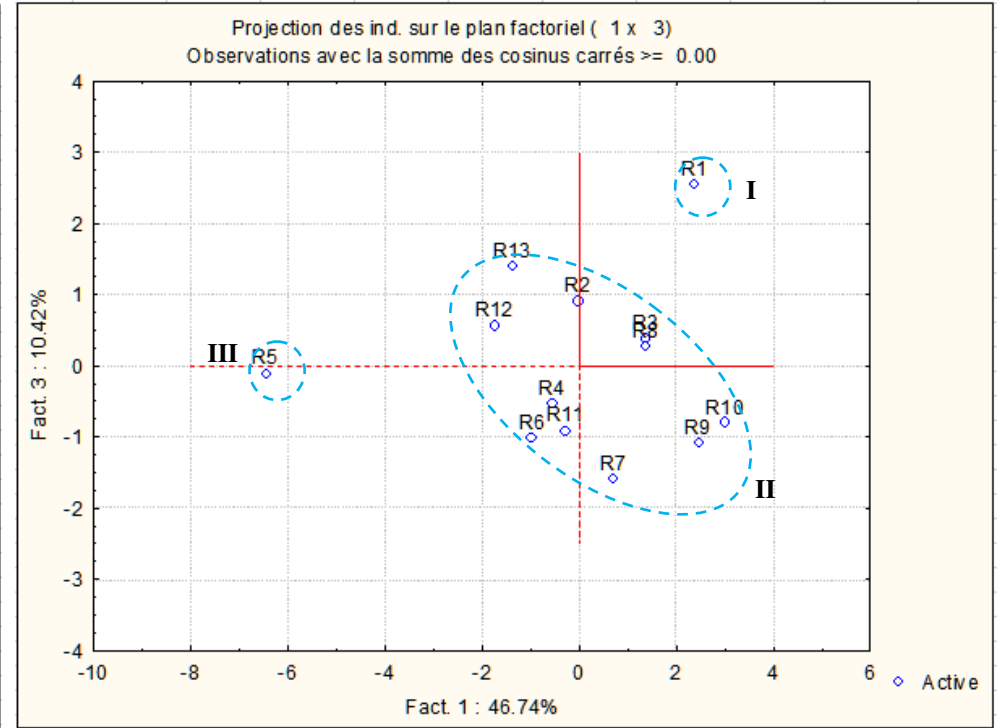


Figure 48. Cercle de corrélation des différentes variables en temps de pluie selon le plan F1x F3.

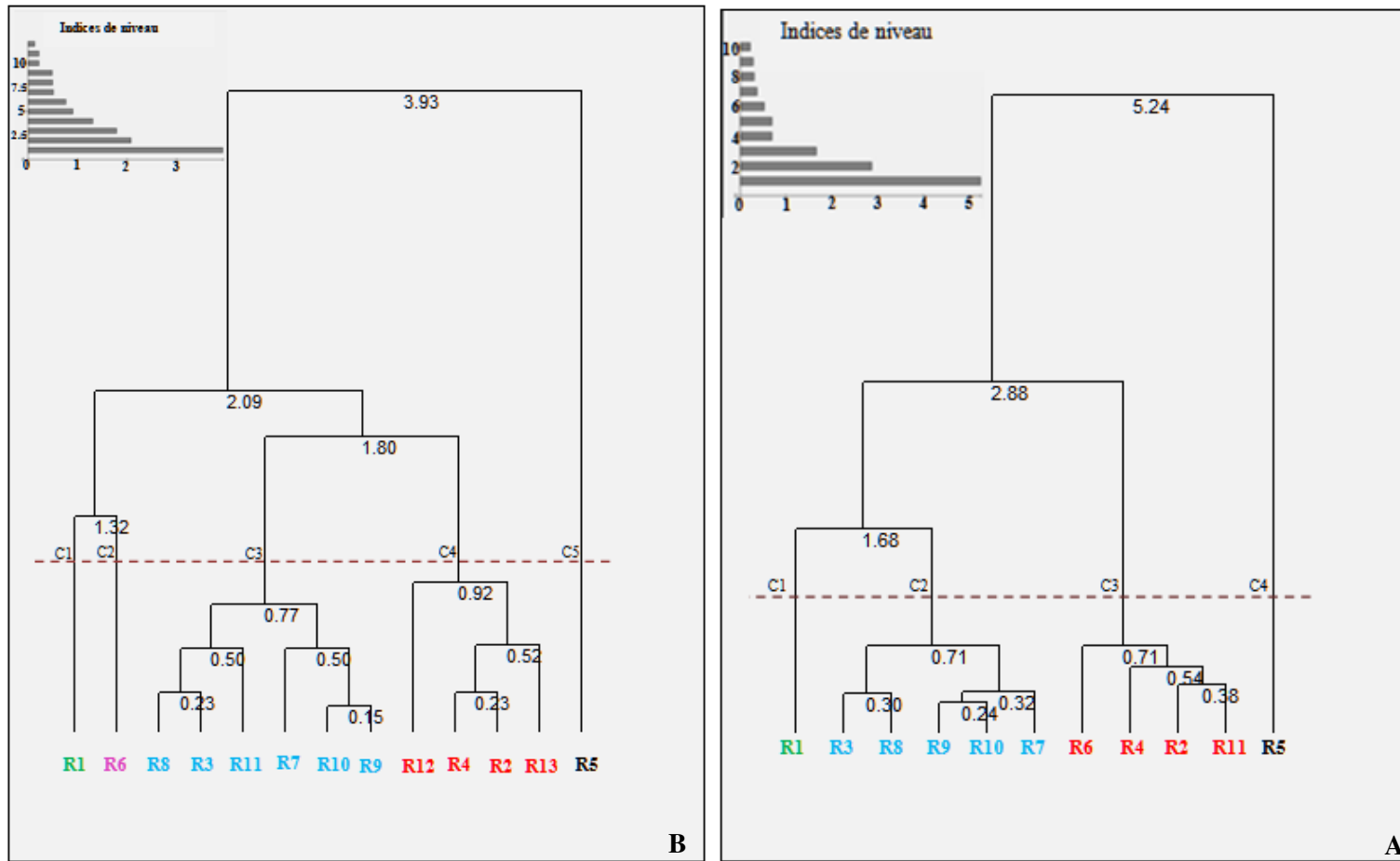


Figure 49. Dendrogramme de classification hiérarchique ascendante des rejets. A: temps sec, B: temps de pluie.

Conclusion

L'étude physico-chimique des rejets urbains par temps de pluie nous a permis d'évaluer le degré de pollution générée par les rejets urbains et industriels des agglomérations autour de l'oued Seybouse. Les résultats des analyses physico-chimiques montrent que les eaux de ce cours d'eau sont caractérisées par :

Une minéralisation moyenne dans les rejets par temps de pluie, confirment les valeurs modérées de la conductivité électrique. En temps de pluie nous observons une légère augmentation de la teneur d'oxygène dissous, cette élévation peut être due aux rejets pluviaux.

En temps de pluie, où les fortes charges (460 à 980 mg/l) enregistrées au niveau des Stations R1, R12 et R6. Ces teneurs élevées peuvent être le résultat d'une intense érosion du bassin versant suite à un événement pluvieux brutale et lessivage de la matière en suspension décanté pendant la période de temps sec dans le réseau unitaire. Pour les éléments nutritifs nous avons enregistré des valeurs très élevées en phosphate et nitrates par temps de pluie.

Les valeurs de DBO₅ et DCO sont plus élevées en période sèche, la diminution de la matière organique par temps de pluie est due la contribution des eaux de pluie à la dilution de la charge organique provenant des eaux usées. Par contre, les métaux en trace métallique montrent des teneurs assez élevées liées à la charge polluante importante générée par les grandes agglomérations. Le rapport DCO/DBO₅ est varié entre 0,47 à 4,19 pour la période sèche et de 1,15 à 4,86 en temps de pluie, la majorité des stations de prélèvement ont un rapport DCO/DBO₅ inférieur à 2 et des rejets facilement biodégradable permettant ainsi une épuration biologique. Le rapport DCO/DBO₅ est plus élevé pour les rejets urbains de temps de pluie, indication d'une moins bonne biodégradabilité des effluents qui peuvent être contiennent des polluants d'origine industrielle ou agricole plus ou moins difficilement biodégradable.

L'analyse statistique des rejets urbains selon le plan F1 et F2 montre que l'axe F1 traduisant le degré de pollution et le facteur F2 peut définir comme un axe de pollution par les eaux d'irrigation. La Classification hiérarchique ascendante des points de rejets présente des résultats similaires à ceux obtenu par l'ACP.

Qualité des eaux de
l'oued Seybouse

C
H
A
P
I
T
R
E

V

I. Introduction

La qualité des eaux de l'oued Seybouse est prévenue par des nombreuses substances rejetées dans l'oued, soit ponctuellement (rejets domestiques ou industriels non traités), soit de façon diffuse (engrais, pesticides provenant de l'agriculture intensive, boues des stations d'épuration). Dans cette partie nous allons étudier en premier lieu la qualité physico-chimique des eaux de l'oued Seybouse, en second lieu l'utilisation des indices pour l'évaluation de la qualité des eaux de l'oued Seybouse après un évènement pluvieux.

IV. 1. Caractéristiques physico-chimique des eaux de surface

L'étude de la composition physico-chimique des eaux de surface en temps de pluie permet de définir les polluants majeurs et d'établir les principaux facteurs de pollution. La caractérisation des eaux de l'oued Seybouse s'est basée sur l'analyse des paramètres physico-chimique tel que le potentiel hydrogène, la conductivité électrique, oxygène dissous, les éléments majeurs, les paramètres de pollution organique (DCO, DBO₅), les éléments nutritifs (la figure 31 présentée dans le chapitre précédent montre leurs localisation) NO₂, NO₃, NH₄, PO₄), le plomb et les matières en suspension à partir de douze stations positionnées après les points de rejets sur le cours de l'oued Seybouse et ses principaux affluents en temps sec et en temps de pluie (01/09/2012).

La représentation graphique des analyses chimiques des points d'eau prélevés de l'oued Seybouse en temps de pluie nous a permis de déterminer une dominance des chlorures pour les anions et sodium pour les cations (Figures 50-51). Nous remarquons que la présence de deux faciès chimique dominant sont le chloruré et sulfaté calcique et chloruré sodique. L'origine du chlore et les sulfates est le lessivage des formations argileuse et gypseuse, alors que le calcium provient des eaux des bordures (calcaires travertins).

IV. 2. Evaluation de la qualité de l'eau

La qualité de l'eau est un critère important pour faire correspondre la demande et l'offre d'eau, cette partie se veut une appréciation de la qualité physico-chimique de l'oued Seybouse qui traverse un centre urbain assez important. L'évaluation de la qualité des eaux de surface peut effectuée par plusieurs méthodes, nombreux indices de qualité physico-chimique ont été développés et utilisés dans différents pays dans le monde (Belhaj et al., 2013). Nous avons utilisé des indices de qualité pour évaluer les changements spatiaux et saisonniers de la qualité des eaux de surface dans le bassin versant étudié.

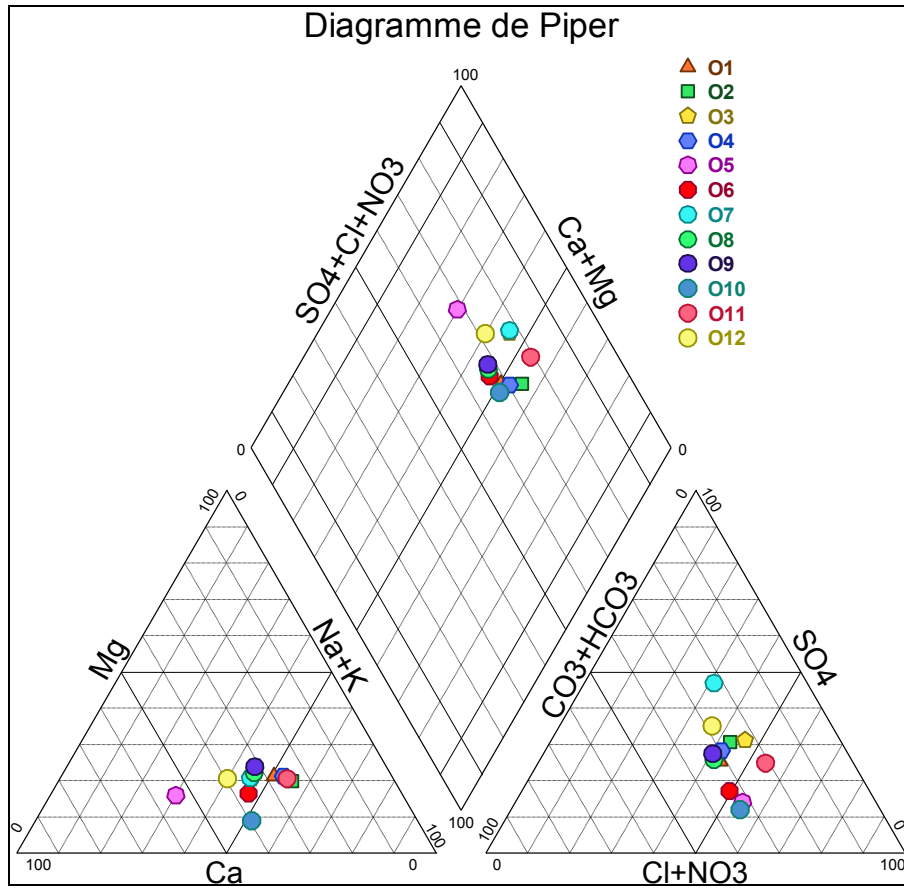


Figure 50. Diagramme de Piper des eaux de l'oued Seybouse (Temps de pluie, 2012).

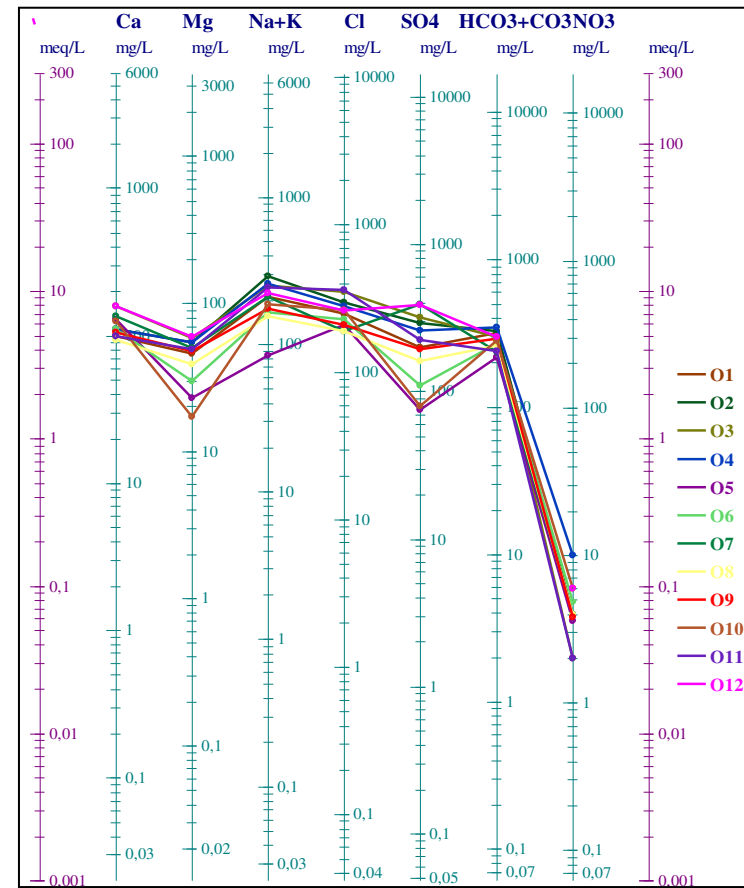


Figure 51. Diagramme de Schoeller Berkloff des eaux de l'oued Seybouse (Temps de pluie, 2012).

IV. 2. 1. Indice de la pollution organique (IPO)






L'indice de la pollution organique des eaux de l'oued Seybouse permet nous renseigner sur leur qualité et leur degré de pollution. Les indicateurs de pollution organique regroupent les phosphates et les ions provenant de l'azote qui provoquent la pollution organique. L'indice de pollution organique IPO, calculé à partir des concentrations de ces ions, permet de classer l'eau analysée sur une échelle à 5 niveaux de pollution et chaque niveau représenté avec une couleur (Haied, 2008). On introduit habituellement dans le calcul de l'IPO, la demande biologique en O₂ à 5 jours (DBO₅).

Tableau 27. Paramètres et classes de l'IPO.

	DBO₅ mg O₂/l	NH₄⁺ mg N/l	NO₂⁻ µg N/l	PO₄³⁻ µg P/l
Classe 5	< 2	< 0.1	≤ 5	≤ 15
Classe 4	2 – 5	0.1 – 0.9	6 – 10	16 – 75
Classe 3	5,1 – 10	1.0 – 2.4	11 – 50	76 – 250
Classe 2	10,1 – 15	2.5 – 6.0	51 – 150	251 – 900
Classe 1	> 15	> 6	> 150	> 900

L'indice IPO est la moyenne des numéros de classe pour chaque paramètre et les valeurs obtenues sont divisées en 5 niveaux de pollution. Les calculs de l'indice de pollution organique sont réalisés à l'aide du logiciel Aquakit, le tableau 28 montre la représentation graphique des niveaux de pollution. L'indice le plus élevé correspond à une pollution nulle ou très faible, représentée conventionnellement par une couleur bleue, les indices les plus faibles ressemblent à une pollution élevée.

Tableau 28. Grille de degré d'indice de pollution organique.

Average class	pollution organique	Cartographie
5,0 – 4,6	Nulle	
4,5 – 4,0	Faible	
3,9 – 3,0	modérée	
2,9 – 2,0	Forte	
1,9 – 1,0	Très forte	

Nous avons réalisé, à partir des résultats des calculs de l'IPO (Les résultats des calculs de l'IPO de chaque point sont présentés dans l'annexe 04 et 05) pour les deux périodes (temps sec et temps de pluie), des cartes de répartition et de l'évolution de l'indice de pollution organique (Figure 52 et 53)

a. Interprétation de l'indice de la pollution organique

L'indice de la pollution organique montre nettement que la pollution organique des eaux de l'oued Seybouse est forte dans la majorité des stations. Ceci est dû au fait que la région d'étude est soumise de toute à une activité humaine importante.

L'évolution de l'indice de pollution organique dans l'oued est illustrée par l'histogramme des valeurs de l'IPO (figure 52 et 53), il donne le profil amont-aval des valeurs indicielles pour la zone d'étude. Ainsi, nous pouvons remarquer qu'au niveau des eaux de l'oued la pollution est de qualité forte à très forte (IPO entre 1 et 1,7) pendant la période sèche, sauf les eaux au point O1 présente une qualité modérée avec IPO égale 3. Ceci peut être expliqué par les grandes variations de la charge polluante des rejets et par le nombre de population.

En temps de pluie, l'indice de pollution organique IPO fait ressortir que les eaux de l'Oued Seybouse représentent une pollution organique modérée à très forte (IPO varie de 1,25 à 3), les degrés de pollution les plus élevés sont concentrés au niveau de l'agglomération de Guelma, Belkheir et Boumahra par ailleurs les rejets urbains et industriels présentent une pollution organique très forte. Seules deux stations de mesure montrent une pollution organique modérée : O9 et O10. Dans ces dernières stations, nous pouvons également remarquer que l'indice de pollution est élevé dénotant l'impact des polluants des rejets urbains sur la qualité des eaux (Figure 53).

b. Indicateurs d'eutrophisation

Ces indicateurs regroupent les nitrates et surtout les phosphates : ils représentent le stade final de la dégradation des polluants contenant de l'azote et du phosphore dans une rivière. Ils n'ont pas un caractère toxique direct pour les êtres vivants de la rivière, mais ils peuvent provoquer un déséquilibre de l'écosystème en favorisant un développement anarchique des plantes aquatiques (Haied, 2015).

Ces indicateurs sont généralement fort dans les eaux de l'oued ce qui peut conduire à un déséquilibre de l'écosystème.

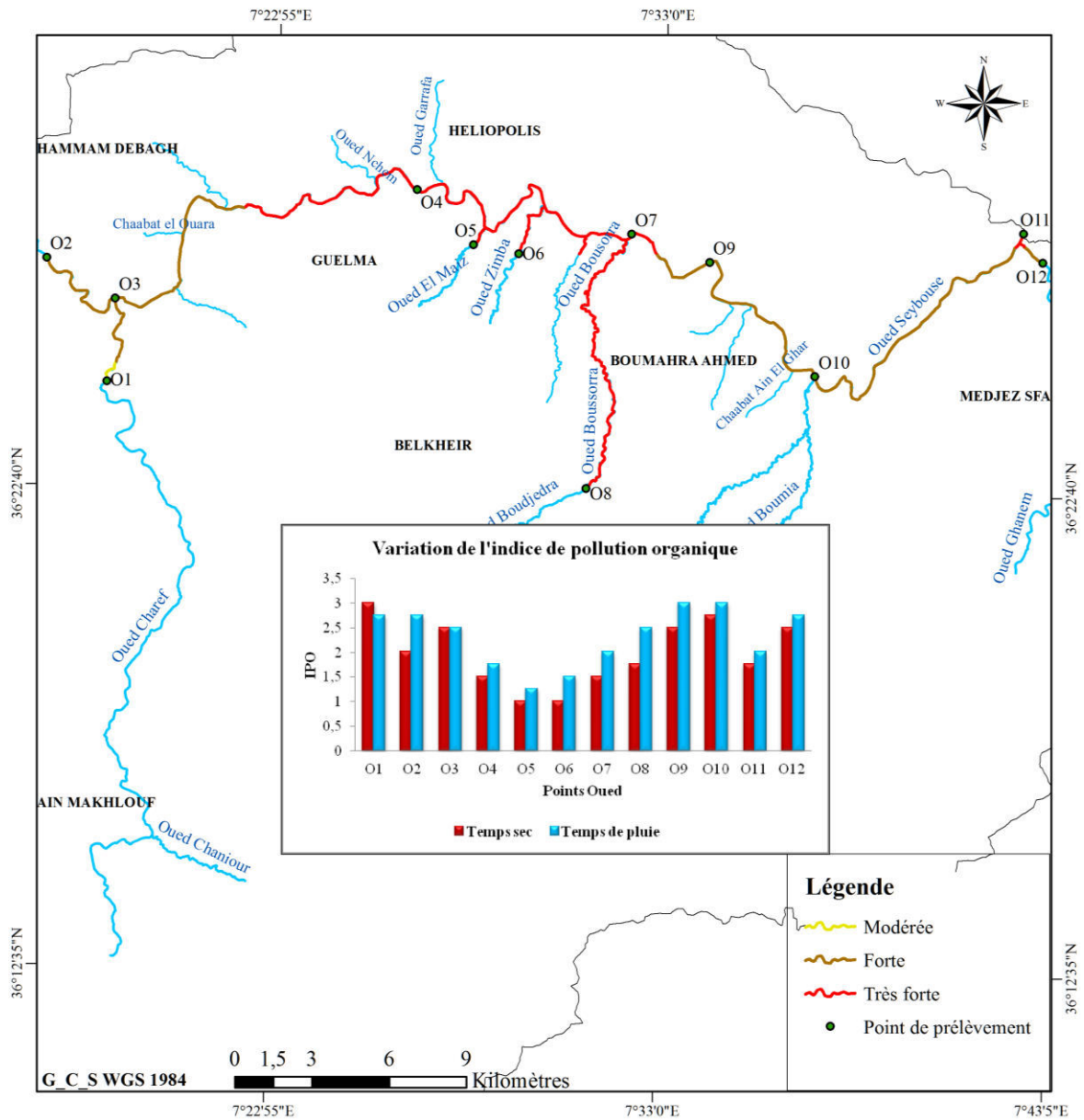


Figure 52. L'évolution de l'indice de la pollution organique dans les eaux de l'oued Seybouse (temps sec), (Khadri, 2017).

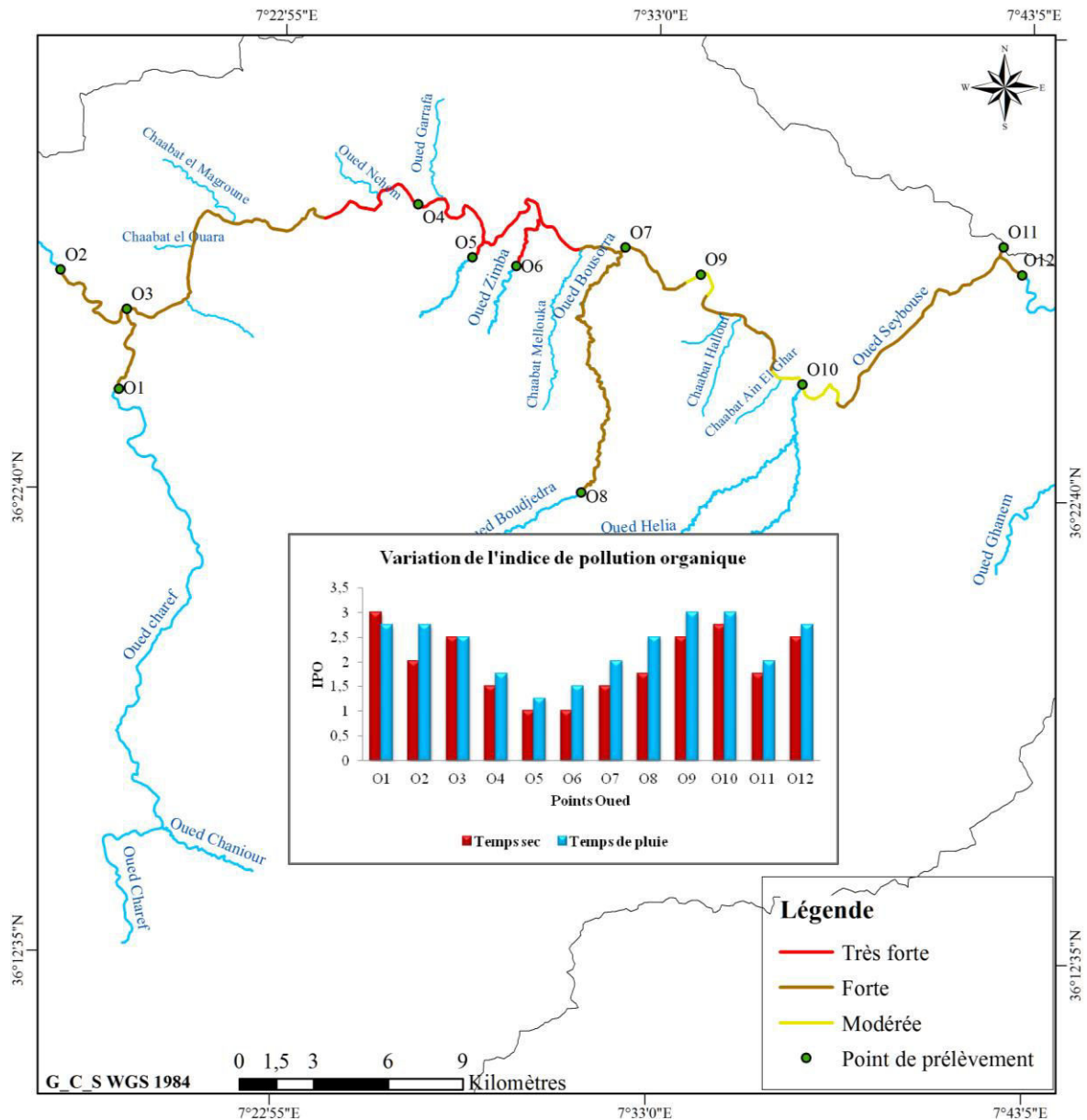


Figure 53. L'évolution de l'indice de la pollution organique dans les eaux de l'oued Seybouse (temps pluie), (Khadri, 2017).

IV. 2. 2. Indice de la qualité de l'eau (WQI)

L'indice de la qualité de l'eau est un instrument mathématique utilisé pour transformer de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en un nombre unique qui représente un niveau de qualité de l'eau (Bordalo et al., 2006, Şener et al., 2007). Nous pouvons comparer les différents échantillons de la qualité sur la base de la valeur d'indice de chaque échantillon. L'utilisation d'un indice de qualité de l'eau WQI ou IQE a été proposée par Horton (1965) et Brown et al. (1970), (Raveendra et al., 2011). Ensuite, plusieurs auteurs ont développés des

nombreux méthodes différentes pour le calcul des IQE (Şener et al., 2017). L'indice de qualité de l'eau a été considéré comme un critère pour les classifications des eaux de surface basé sur l'utilisation de paramètres standard pour la caractérisation de l'eau. Il fournit une image complète de la qualité de l'eau pour la plupart des utilisations domestiques.

a. Calcul de WQI

Pour le calcul de l'indice de qualité de l'eau nous suivons plusieurs étapes. Au début, chaque paramètres chimiques a reçu des poids différents (w_i) sur une échelle de 1 (moindre effet sur la qualité de l'eau) à 5 (effet le plus élevé sur la qualité de l'eau) en fonction de son rapport d'importance dans la qualité globale de l'eau et de leurs effets sur la santé (Şener et al., 2017). Nous avons attribué le poids le plus élevé (5) aux NO_3 , NO_2 , NH_4 , PO_4 et Pb , en raison de leur importance majeure dans l'évaluation de la qualité de l'eau; le poids minimal de 1 a été attribué au potassium K et magnésium Mg en raison de la moindre importance dans l'évaluation de la qualité de l'eau.

Dans la deuxième étape, Le poids relatif (W_i) est calculé à partir de l'équation suivante (Şener et al., 2017). Les valeurs calculées de W_i sont données dans le tableau 29 :

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Où

W_i : le poids relatif

w_i : le poids de chaque paramètre

n : le nombre de paramètres.

Après, un classement de qualité (q_i) pour chaque paramètre est donné en divisant la concentration de chaque échantillon d'eau par sa valeur limite fixée selon les normes algériennes de potabilité et le résultat multiplié par 100 (Ramakrishnaiah et al., 2009 et Şener et al., 2017):

$$q_i = (C_i/S_i) \times 100$$

Avec q_i est la notation de qualité, C_i est la concentration de chaque paramètre chimique dans chaque échantillon d'eau en mg/l, et S_i est la norme d'eau potable algérienne pour chaque paramètre chimique en milligrammes par litre. La somme des valeurs SI_i donne

l'indice de qualité de l'eau pour chaque échantillon, la valeur SI_i doit être déterminée avec l'équation suivante:

$$SI_i = W_i \times q_i$$

SI_i est le sous indice du paramètre i ème; q_i est l'évaluation de la qualité basée sur la concentration du paramètre i ème (Ramakrishnaiah et al., 2009). La somme des valeurs SI_i donne l'indice de qualité de l'eau pour chaque échantillon.

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i$$

Les valeurs de l'indice de qualité de l'eau (WQI) calculées sont classées en cinq catégories (Şener et al., 2017).

< 50 : Eau très bonne.

50 – 100 : Eau bonne.

100 – 200 : Eau pauvre.

200 – 300 : Eau très pauvre.

> 300 : Eau impropre à la consommation.

Les valeurs de l'indice de qualité de l'eau calculées sont représentées graphiquement à l'aide du logiciel Arcgis, ce logiciel permet de faire les interpolations spatiales de plusieurs paramètres sur une base de données qui a été créée sous l'Arc catalogue. Les cartes ont été générées par interpolation IDW (Pondération par l'inverse de distance).

La classification de la qualité des eaux de l'oued Seybouse est basée sur les valeurs calculées de l'indice de qualité de l'eau, les valeurs de WQI sont présentées dans les figures 54 et 55.

Les valeurs de l'indice de la qualité de l'eau calculées varient entre 92,20 et 650,38 pendant la période sèche; et entre 95,97 et 929,51 en temps de pluie. En outre, la classification de la qualité des eaux de la Seybouse est située entre eau bonne à impropre à la consommation pour les deux périodes.

La figure 54 montre que les eaux de l'oued Seybouse sont caractérisées par une qualité très variable en temps de pluie, nous observons une eau de bonne qualité au niveau de la station O10 et une eau pauvre à impropre pour les autres stations.

Tableau 29. Les poids relatifs des paramètres physico-chimiques.

Paramètres	Norme algérienne	Poids (w_i)	Poids relatif (W_i)
pH	8,5	3	0,054
PO ₄ (mg/l)	5	4	0,071
Cl (mg/l)	500	3	0,054
SO ₄ (mg/l)	400	3	0,054
NO ₃ (mg/l)	50	5	0,089
Na (mg/l)	200	3	0,054
Ca (mg/l)	200	2	0,036
Mg (mg/l)	50	1	0,018
K (mg/l)	12	1	0,018
Pb (mg/l)	0,01	5	0,089
COD (mg/l)	10	4	0,071
OD (mg/l)	5	4	0,071
DBO ₅ (mg/l)	5	4	0,071
NO ₂ (mg/l)	0,2	5	0,089
NH ₄ (mg/l)	0,5	5	0,089
MES (mg/l)	500	4	0,071

En temps sec, deux classes de qualité de l'eau (eau pauvre et impropre à la consommation) sont observées dans tous les échantillons d'eau sauf au niveau des points O8, O9 et O10 qui présentent une eau de bonne qualité pour la période de crue, tandis que les points O8 et O9 sont classés comme eau pauvre en temps de pluie (Figure 55).

La perturbation et la mauvaise qualité des eaux de l'oued Seybouse pendant la période de pluie est due principalement aux apports des rejets domestiques et industriels ainsi le lessivage des terres agricole au bord de l'oued.

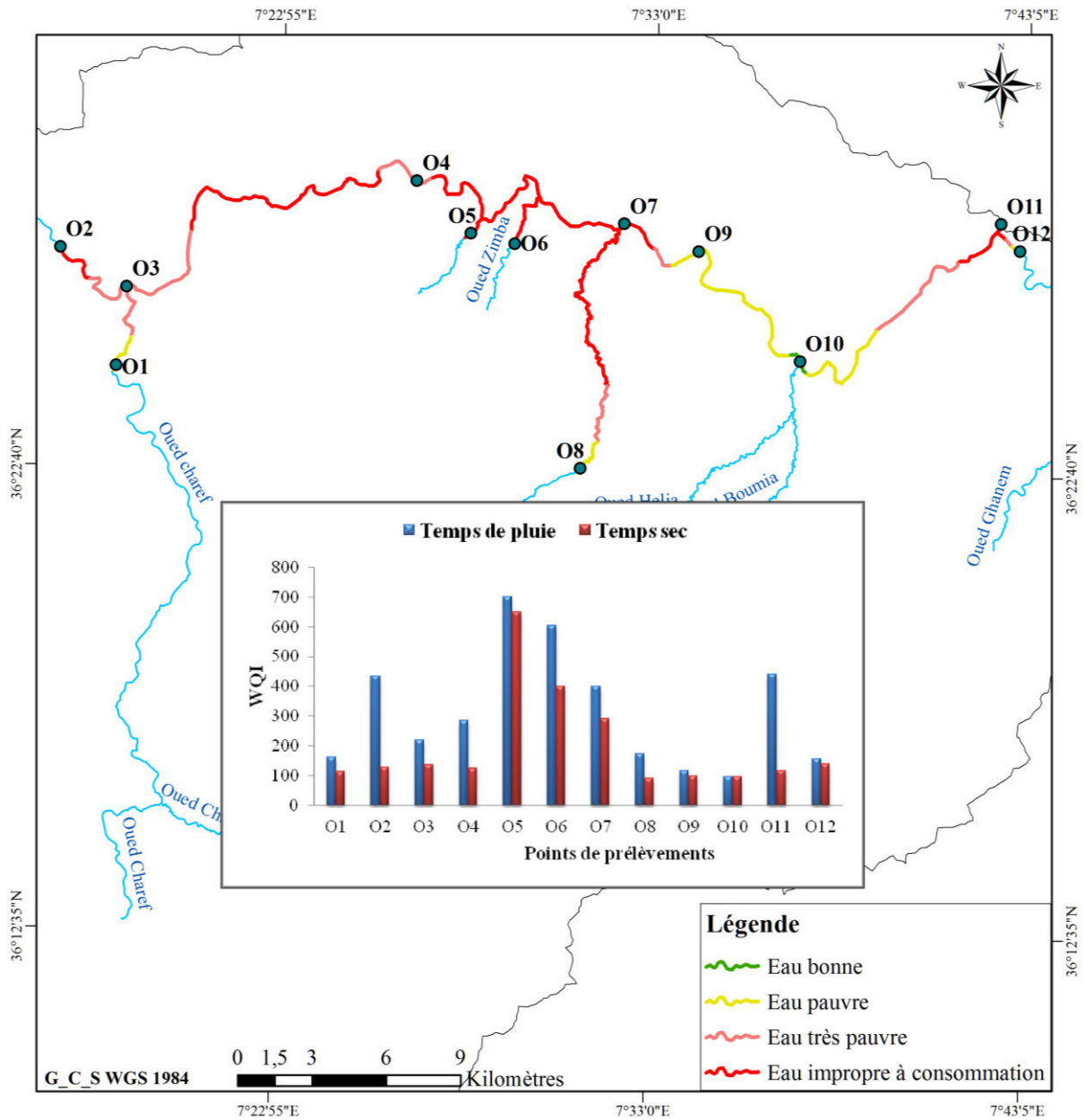


Figure 54. Répartition spatiale de l'indice de la qualité des eaux de l'oued Seybouse (Temps de pluie), (Khadri, 2017).

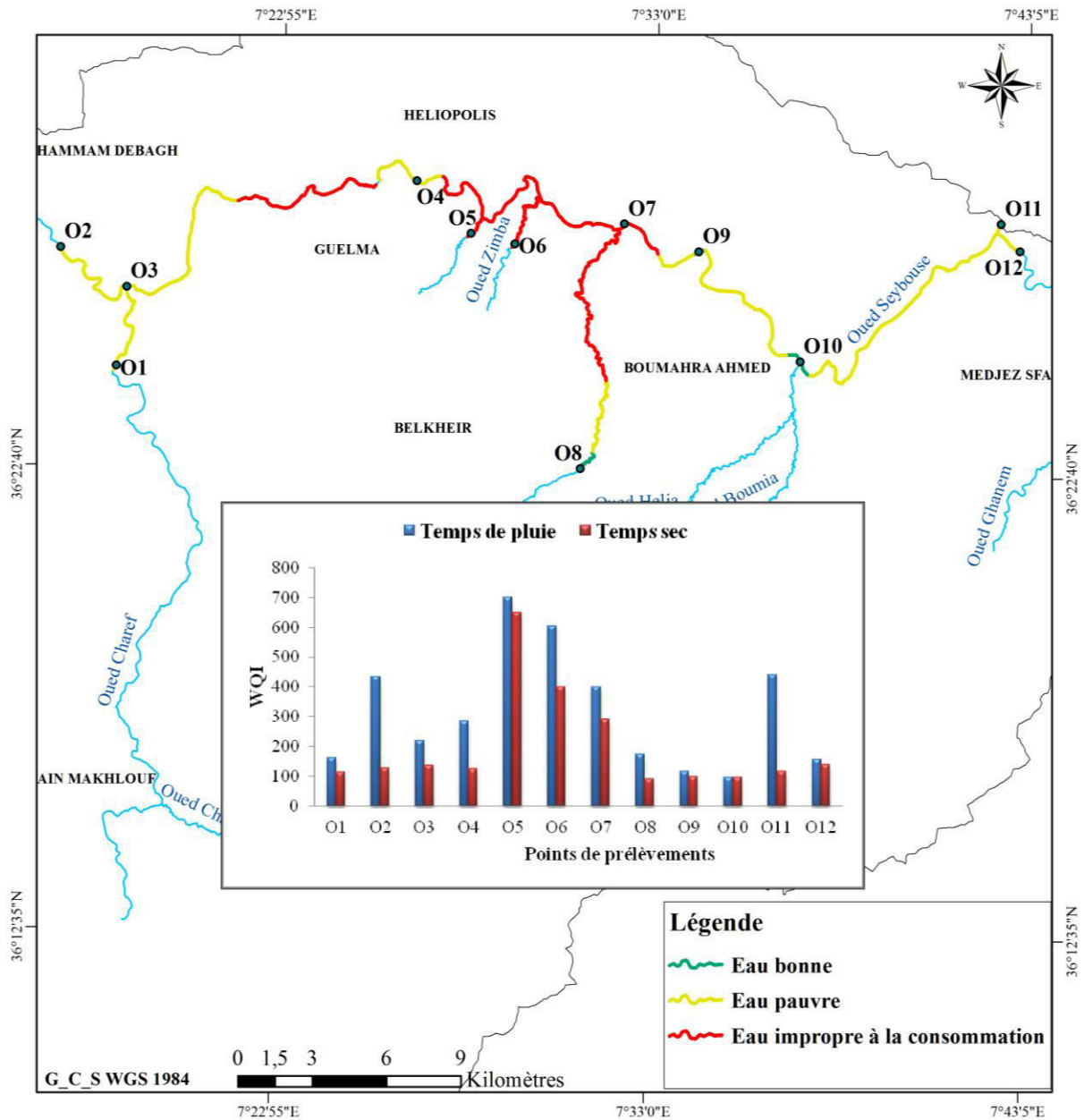


Figure 55. Répartition spatiale de l'indice de qualité des eaux de l'oued Seybouse (Temps de sec), (Khadri, 2017).

IV. 2. 3. Système d'évaluation de la qualité des eaux (SEQ-eau)

Dans la présente partie nous allons évaluer la qualité globale des eaux de l'oued Seybouse et ses effluents en temps sec et en temps de pluie.

Nous avons traité les données des analyses physicochimiques de chaque station de prélèvement grâce au système d'évaluation de la qualité des eaux (SEQ-eau) pour la déterminer la qualité globale des eaux.

Le système d'évaluation de la qualité des eaux a été développé par le ministère français de l'aménagement du territoire et de l'environnement et les agences de l'eau (1999), (Zenati et al., 2009), il a été adoptée en Algérie par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH), (Bengherbia et al., 2014).

Le système d'évaluation de la qualité de l'eau est un outil performant, il peut traiter plusieurs paramètres ensemble et résumer un grand nombre de données pour estimer la qualité globale de l'eau.

Tableau 30. Classes et indices de qualité.

Classe	Indice de qualité	Définition de la classe de qualité
Bleu	80 - 100	Eau de très bonne qualité
Vert	60 - 79	Eau de bonne qualité
Jaune	40 - 59	Eau de qualité moyenne
Orange	20 - 39	Eau de qualité médiocre
Rouge	0 - 19	Eau de mauvaise qualité

a. Composition physico-chimique des eaux de l'oued Seybouse

Les eaux de l'oued Seybouse sont évaluées à la contribution du système d'évaluation de la qualité de l'eau (SEQ-eau). Avant d'évaluer la qualité globale des eaux de l'oued Seybouse, nous avons essayé de les classer selon la grille de la qualité des eaux superficielle.

La classification des paramètres physico-chimiques analysés des eaux de l'oued Seybouse, selon la grille de la qualité des eaux superficielles, est présentée graphiquement sous forme des cartes de classification (figure 56, 57, 58, 59 et 60). Ces cartes réalisées à l'aide de logiciel Arcgis permettent de présenter une vision sur la répartition des concentrations des éléments physico-chimiques sur l'ensemble de la région en fonction des classes de qualité.

- **Le potentiel Hydrogène (pH)** de l'eau indique la nature acide ou basique et c'est un paramètre important dans les usages d'eau potable et d'irrigation (Şener et al., 2017). Les valeurs de pH des eaux de l'oued varient de 7,80 à 8,70 en temps de pluie, les résultats montrent que les échantillons d'eau de l'oued Seybouse ont des propriétés alcalines et les valeurs élevées de pH ont été déterminées dans des endroits qui sont en contact avec des roches carbonatées.

- **La conductivité électrique (CE)** de l'eau est liée à la concentration de sels dissous dans l'eau. Les valeurs de la conductivité sont comprise entre 923 et 1400 $\mu\text{S} / \text{cm}$ en période de crue et 512 à 1136 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en période sèche. Les valeurs maximales de conductivités ont enregistré au niveau des points qui présentent une charge ionique importante liés à la minéralisation des eaux ou aux rejets urbains, les valeurs de la conductivité montre une qualité très bonne selon la grille de la qualité des eaux superficielles (Figure 56).
- **Les matières en suspension (MES)** montrent des valeurs varient de 50 à 382 mg/l en temps de pluie et de 40 à 256 mg/l en temps sec, ces valeurs peuvent provenir soit de l'érosion du bassin versant suite à forte pluie soit aux eaux usées rejetées dans l'oued. Les matières en suspension constituent le principal vecteur des polluants transportés par temps de pluie dans le réseau d'assainissement unitaire (Hannouche et al., 2011) rejeté au milieu naturel. Les concentrations élevées de la matière en suspension dans les eaux de surface peuvent freiner et ralentir la pénétration de la lumière, diminué l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique (Rodier, 1996). Les teneurs en MES montre, selon la grille des eaux superficielle, une qualité mauvaise à très mauvaise dans la majorité des points de prélèvements (Figure 56).
- **Le plomb** est un élément toxique sa présence dans les eaux de l'oued est lié à l'activité industrielle dans le bassin versant de la Seybouse (Nouar, 2007). Les concentrations du plomb dans l'oued reflètent une eau passable à de mauvaise qualité (Figure 56).
- **Les éléments chimiques majeurs** étudiés ont indiqué une minéralisation importante avec la dominance des ions de chlorures, sulfates et sodium. Les chlorures montrent une qualité très mauvaise dans la plupart des stations (Figure 57 et 58), pareillement les sulfates présentent des concentrations élevées dans les eaux de l'oued en amont du bassin versant affecté par la dissolution des formations gypseuse. Dans les eaux de l'oued Seybouse, l'existence des éléments de chlorure et sodium est lié à la dissolution des formations évaporitiques. Les concentrations de calcium, magnésium et potassium présentent des teneurs moins irrégulières par rapports aux teneurs des anions ce qui permet de classer ces eaux superficielles de qualité bonne à très bonne.

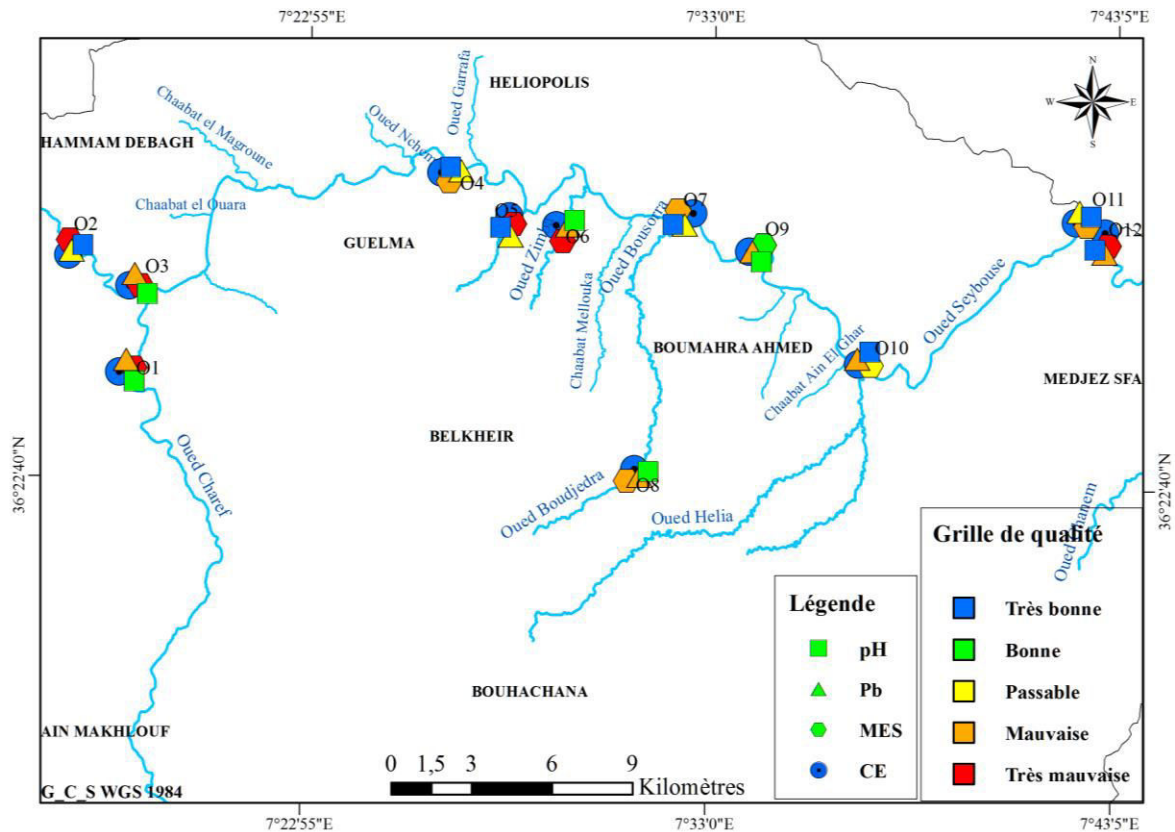


Figure 56. Classification des éléments pH, CE, MES et Pb selon la grille de la qualité des eaux superficielles (Khadri, 2017).

- **La matière organique** montre des valeurs irrégulières de DCO, les teneurs élevées sont enregistrées au niveau des grandes agglomérations où il y'a une activité urbaine et industrielle importante avec une valeur maximale de 180 mg/l par temps de pluie et de 326,66 mg/l en temps sec, l'augmentation des concentrations de DCO pendant la période sèche traduit par une augmentation de la charge organiques et inorganiques dans le milieu récepteur. Les concentrations de la DBO₅ de l'eau varient entre 12 mg/l et 145 mg/l (temps de pluie) et de 23,45 et 186,6 mg/l (temps sec). Ces valeurs montrent que les eaux de l'oued Seybouse ont une qualité mauvaise à très mauvaise par le DBO₅ (Figure 55). Les valeurs élevées de la demande biochimique en oxygène (DBO₅) et la demande chimique en oxygène (DCO) signifient que les eaux usées ont un potentiel de pollution élevé et faudrait donc être traitées avant leur rejet dans l'environnement (Bengherbia et al., 2014).

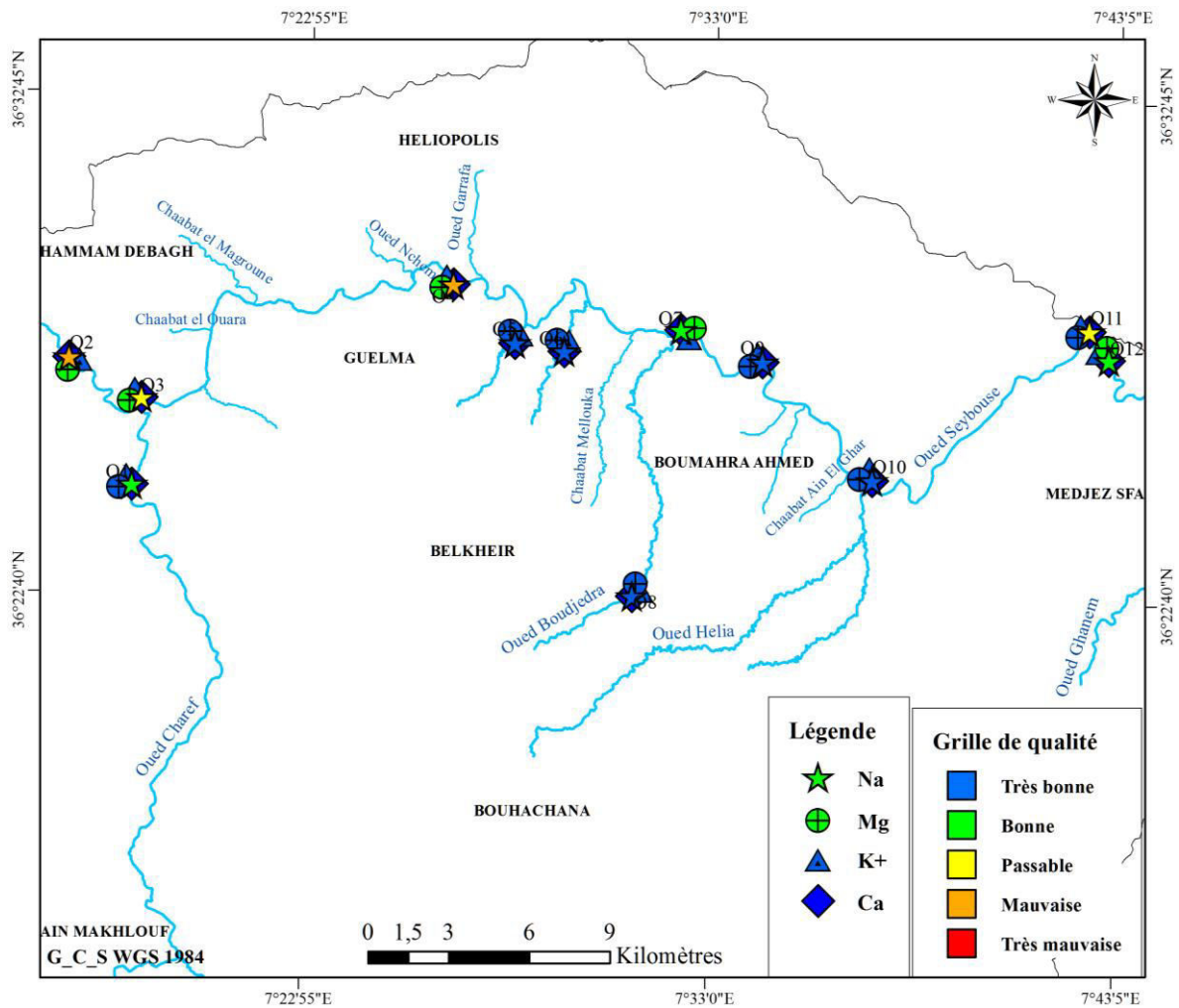


Figure 57. Classification des cations selon la grille de la qualité des eaux superficielles (Khadri, 2017).

- **L'oxygène dissous** est toujours présent dans les eaux avec des concentrations qui varient avec la température et la pression partielle dans l'atmosphère (Bendaoud et al., 2011). Les teneurs en oxygène dissous montrent une eau plus oxygénée par temps de pluie (4,6 – 10,7 mg/l) par rapport aux concentrations enregistrées en temps sec, cette diminution se traduit par une augmentation de la teneur en matières organiques responsables de la consommation d'oxygène qui provient probablement des agglomérations urbaines situées autour de l'oued (figure 59).

- **Le phosphate** existe sous forme minérale ou organique, la teneur en phosphates au niveau de l'oued subit des variations irrégulières (varie entre 1,1 à 5,68 en période de crue et de 0,6 à 5,5 mg/l en période sèche), ce qui traduit une qualité mauvaise à très mauvaise (Figure 60), ces valeurs en phosphatées peuvent être dues aux rejets industriels, domestiques ou agricoles.

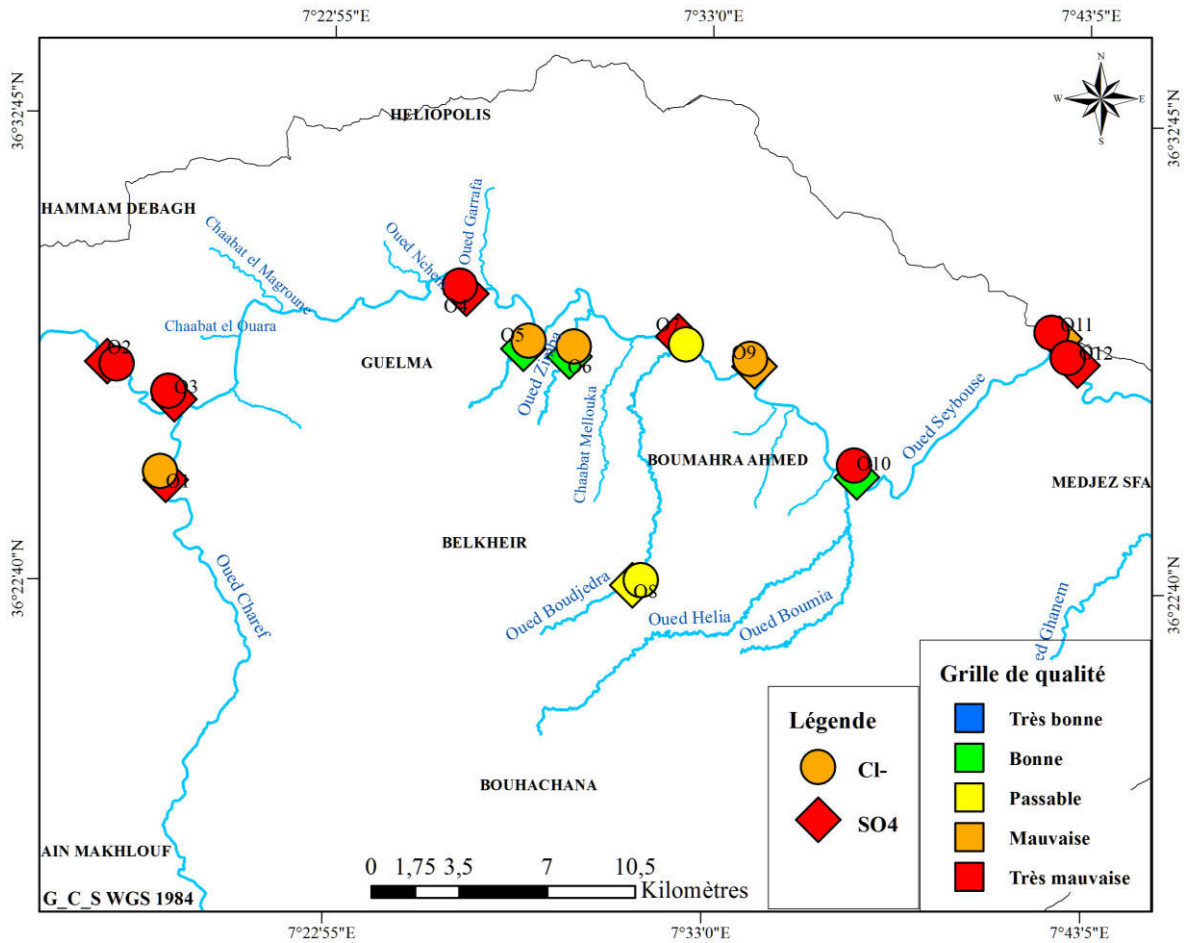


Figure 58. Classification des éléments Cl et SO₄ selon la grille de la qualité des eaux superficielles (Khadri, 2017).

- **Les nutriments** se trouvent en solution ionique dans l'eau sous trois formes principales (figure 60):

Les nitrates, nitrites et ammoniums. Les nitrates montrent des valeurs oscillent entre 6,86 et 64,8 mg/l et entre 2 et 10 mg/l par temps de pluie et temps sec respectivement, l'augmentation des teneurs en nitrates dans les eaux pendant la période de crue provient du lessivage des fertilisants. La classification des concentrations de nitrite présente une eau de qualité bonne à mauvaise vers le milieu du bassin versant étudié (temps de pluie), leur présence dans le milieu naturel est faible. Les teneurs de l'ammonium varient entre 0,5 et 11 mg/l en période de crue cette valeur maximale dépasse légèrement celle en période sèche (10.56 mg/l). Les concentrations importantes d'ammonium sont un critère de pollution.

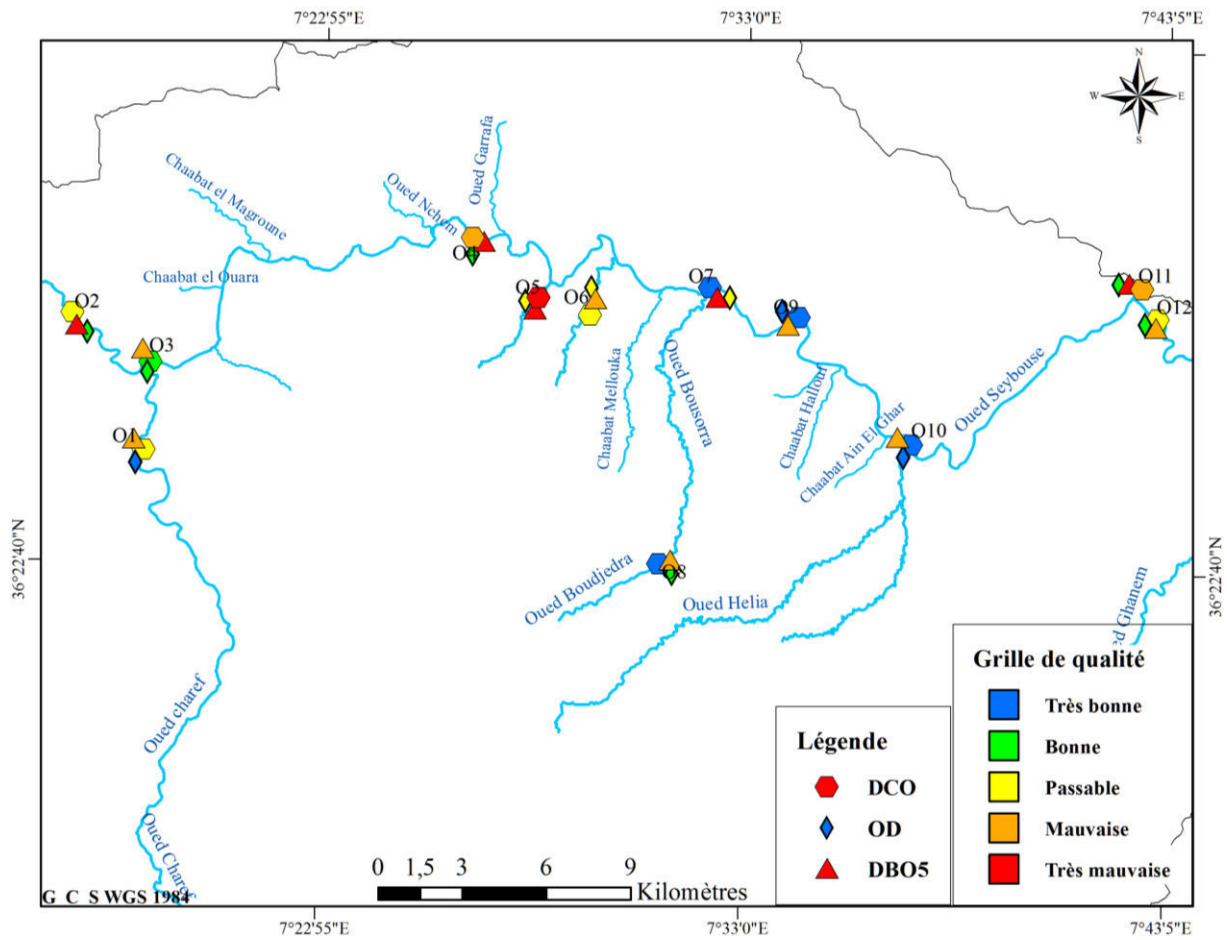


Figure 59. Classification des éléments DCO, OD et DBO₅ selon la grille de la qualité des eaux superficielles (Khadri, 2017).

b. Evaluation de la qualité globale de l'eau

Dans la présente partie nous allons évaluer la qualité globale des eaux de l'oued Seybouse et ses effluents en temps sec et temps de pluie.

L'évaluation de la qualité globale de l'eau par altération est attribuée pour distinguer les différents types de dégradation, nous avons traité les données à l'aide du système d'évaluation de la qualité de l'eau qu'est basée sur la notion de l'altération et sur le calcul de l'indice pondéré de la qualité globale de l'eau (IPQG) pour tout les point d'eau échantillonné .

Dans ce système, les concentrations mesurées des différents paramètres sont transformées en indices pondéré pour chaque paramètres à l'aide de formule mathématique pour produire l'indice final qui renseigne sur la qualité globale des eaux (Bendaoud et al., 2011, Belhaj et al., 2013 et Tohourri et al., 2017).

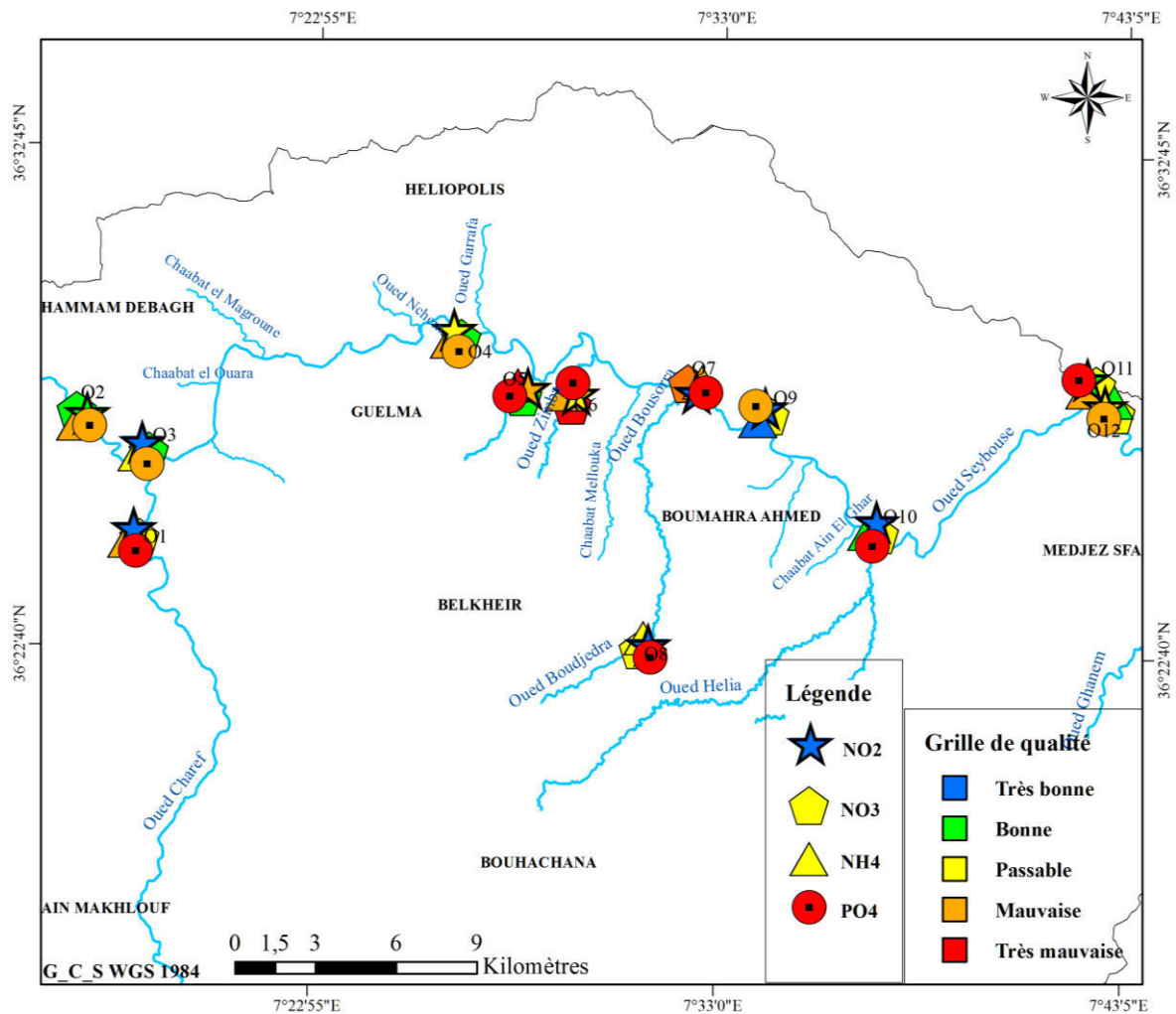


Figure 60. Classification des éléments NO₂, NO₃, NH₄ et PO₄ selon la grille de la qualité des eaux superficielles (Khadri, 2017).

L'indice pondéré de chaque paramètre est calculé selon la formule suivante (Tohuri et al., 2017):

$$IP_{pa} = I_i + [(I_s - I_i) / (b_s - b_i)] * (b_s - p_a)$$

Avec

- IP_{pa} : indice pondéré du paramètre analysé
- I_i : indice inférieur
- I_s : indice supérieur
- b_i : borne inférieure
- b_s: borne supérieure
- p_a: paramètre analysé

L'indice d'un paramètre s'obtient par pondération selon la formule précédente et l'indice d'une altération s'obtient par la moyenne des valeurs pondérées des paramètres caractérisant la dite altération. L'altération ici rassemble des paramètres de même nature ou

de même effet sur le milieu aquatique, permettant d'indiquer les types de dégradation de la qualité de l'eau (Tohouri et al., 2017). Dans cette étude nous avons distingué huit altérations au niveau des eaux de l'oued Seybouse, il s'agit des altérations :

- Matières organiques et oxydables : elle regroupe l'oxygène dissous, la demande biochimique en oxygène (DBO_5), la demande chimique en oxygène (DCO) et l'ammonium;
 - Acidification : elle est mise en évidence par le potentiel d'Hydrogène (pH) des eaux ;
 - Minéralisation et salinité : elle est déterminée par la conductivité électrique (CE), calcium (Ca), magnésium (Mg), chlorure (Cl), potassium (K) et les sulfates (SO_4);
 - Matières phosphorées : elle est composée des ortho-phosphates (PO_4) ;
 - Particules en suspension : elle rassemble les matières en suspension (MES) ;
 - Matières azotées hors nitrates : elle est caractérisée par l'ammonium (NH_4) et le nitrite ;
- Nitrates : elle est constituée par les nitrates (NO_3) ;
- Micropolluants minéraux : elle est présentée par le plomb (Pb).

La détermination de l'indice pondéré de qualité globale (IPQG) de chaque point d'eau est évaluée en choisissant l'indice le plus faible, obtenu sur l'ensemble des altérations comptées pour chaque point d'eau (Figure 62). A cet indice, nous font correspondre la classe de qualité équivalente dans la grille d'évaluation de la qualité globale des eaux (Bendaoud et al., 2011).

Le système d'évaluation de la qualité des eaux nous a permis de faire une évaluation de la qualité globale des eaux au niveau de chaque station en tenant compte de huit altérations. Les calculs des indices d'altération et la qualité globale pour chaque point de prélèvement sont représentées dans les tableaux 31 et 32.

A partir des résultats des calculs (Tableau 31 et 32), nous avons établi des cartes de la qualité globale des eaux de l'oued Seybouse (Figures 61 et 63). La figure 61 présente la qualité globale des eaux de l'oued Seybouse par temps de pluie, ces eaux sont caractérisés par une eau de qualité médiocre à très mauvaise dans l'ensemble de la région. La dégradation de leur qualité est liée principalement à l'altération par les matières en suspension, les matières phosphatées et l'altération micropolluants minéraux.

L'indice de la qualité globale calculé en temps sec (Figure 63) montre une qualité moyenne à mauvaise en amont et en aval de la région d'étude, cette qualité se dégrade de mauvaise à très mauvaise en allant vers le centre où se trouvent les grandes agglomérations au

niveau (points O5 et O6). Cette détérioration est due à la forte charge polluante déversée dans les eaux de l'oued issue des activités anthropiques, domestiques, industrielles et agricoles.

Tableau 31. Résultats des indices de pondérations et d'altérations (Temps de pluie).

	Nitrates	Acidification	Minéralisation et salinité	Matières phosphatées	Particules en suspension	Matières organiques	Matières azotées	Micropolluants minéraux	Qualité globale
O1	43	55,86	68,45	19,77	6,33	45,76	64,7	40,1	6,33
O2	67,45	84,11	52,6	33,3	10,97	42,17	54,95	26,55	10,97
O3	60,47	56,64	52,44	26,84	25,91	43,53	67,3	42,34	25,91
O4	60	83,59	53,12	23,8	26	37,34	38,7	45,86	26
O5	65,7	84,7	79,68	19,84	14,98	18,06	24,16	4	4
O6	55,11	54,41	77,74	19,65	12,24	31,02	26,65	3,45	3,45
O7	52,22	80	61,07	19,71	11	41,55	53,16	10,23	10,23
O8	43	57,76	70,98	19,91	16,96	46,51	64	19,58	16,96
O9	56,46	59,44	74,18	25,7	39,34	63,9	86,66	47,84	25,7
O10	42,53	81,17	71,65	49,96	46,56	55,73	79,03	55,68	42,53
O11	52,66	80,35	57,98	20,84	22,83	31,99	37	27,67	20,84
O12	40	82,35	54,21	37,1	12,4	42,22	51,4	58,3	12,4

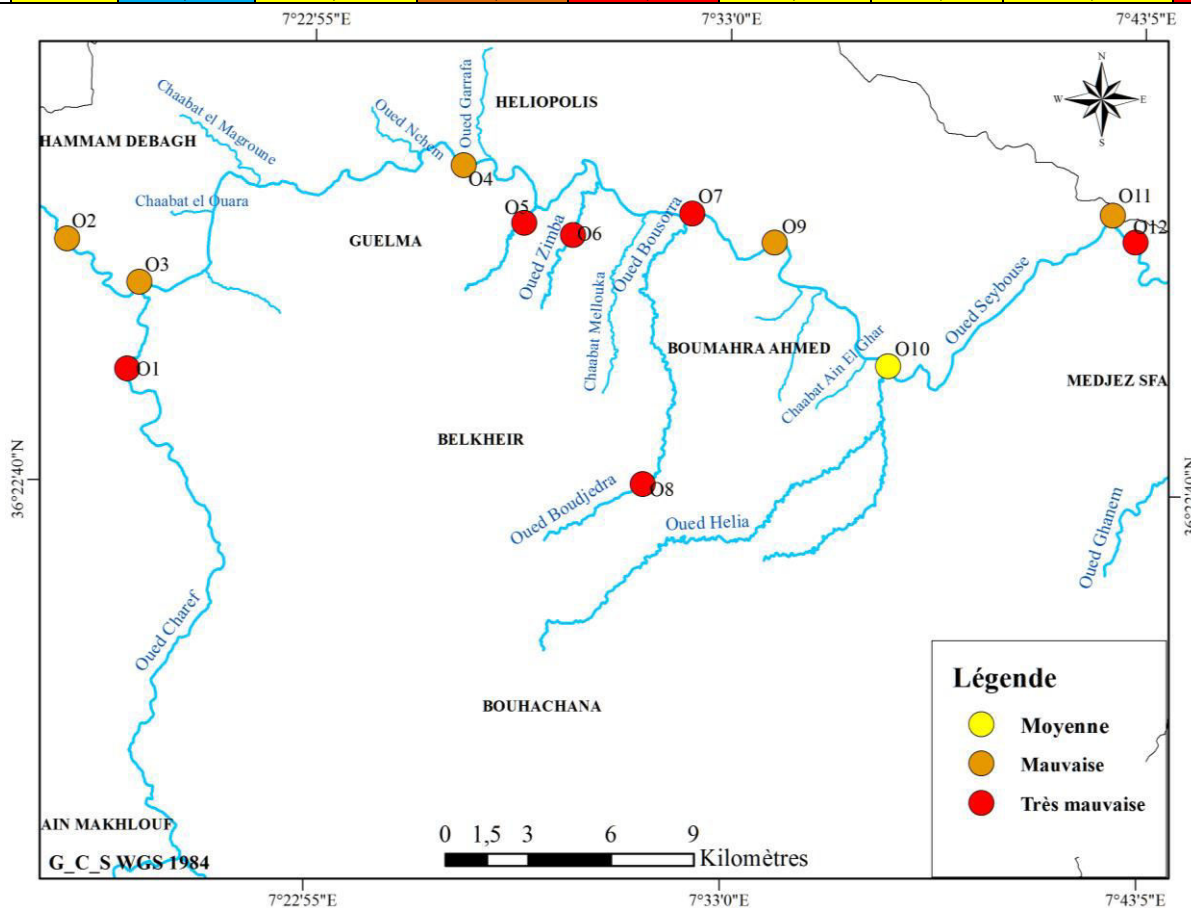


Figure 61. Carte de la qualité globale des eaux de l'oued Seybouse (Temps de pluie), (Khadri, 2017).

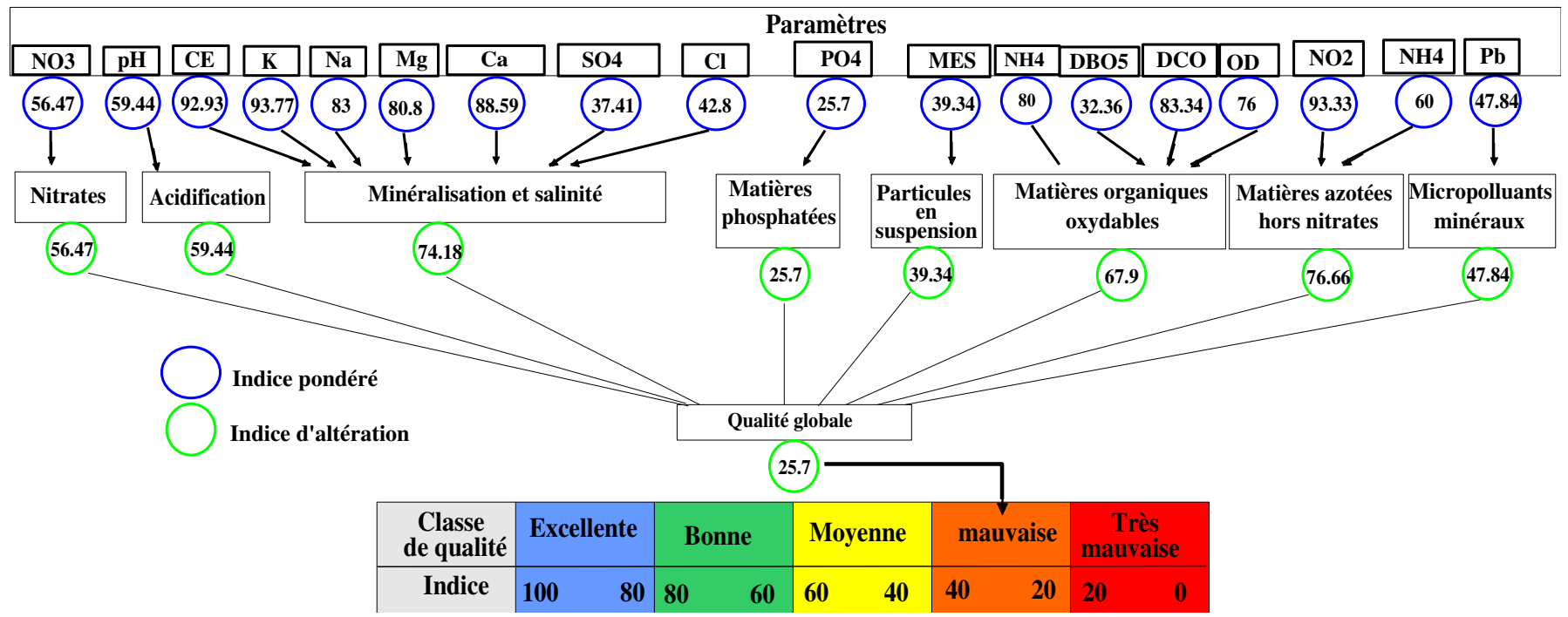


Figure 62. La méthode de détermination de la qualité globale au point O9 à partir du SEQ-eau et des valeurs mesurées (Temps de pluie).

Tableau 32. Résultats des indices de pondérations et d'altérations (Temps sec).

	Nitrates	Acidification	Minéralisation et salinité	Matières phosphatées	Particules en suspension	Matières organiques	Matières azotées	Micropolluants minéraux	Qualité globale
O1	58,43	64,68	82,24	41	59,33	57,89	72,7	29,45	29,45
O2	75,06	90,31	59,61	63,2	58,79	22	44,52	33,26	22
O3	59	66,47	53,86	40,36	55,29	41,35	78,16	56,26	40,36
O4	30,62	74,95	72,48	41,17	61,96	20,79	34,23	57,86	20,79
O5	77,8	54,64	69,19	38,26	46,5	3,88	21,45	16,32	3,88
O6	58,69	50,36	78	11,25	42,87	6,14	22,42	38,54	6,14
O7	29,83	53,85	47,25	23	49,26	27,93	54,61	36,2	23
O8	58,42	65,68	79	42,4	50,71	25,95	60,9	36,27	25,95
O9	45,24	75,63	66,54	74,48	78,12	40,62	75,8	54,32	40,62
O10	49,1	88	61,87	63,47	43,21	40,6	78,15	57,23	40,6
O11	48,14	73,55	44,2	41,49	68,27	20,81	28,43	35,47	20,81
O12	56,87	84,45	76,8	58,34	61,89	40	41,82	53,32	20

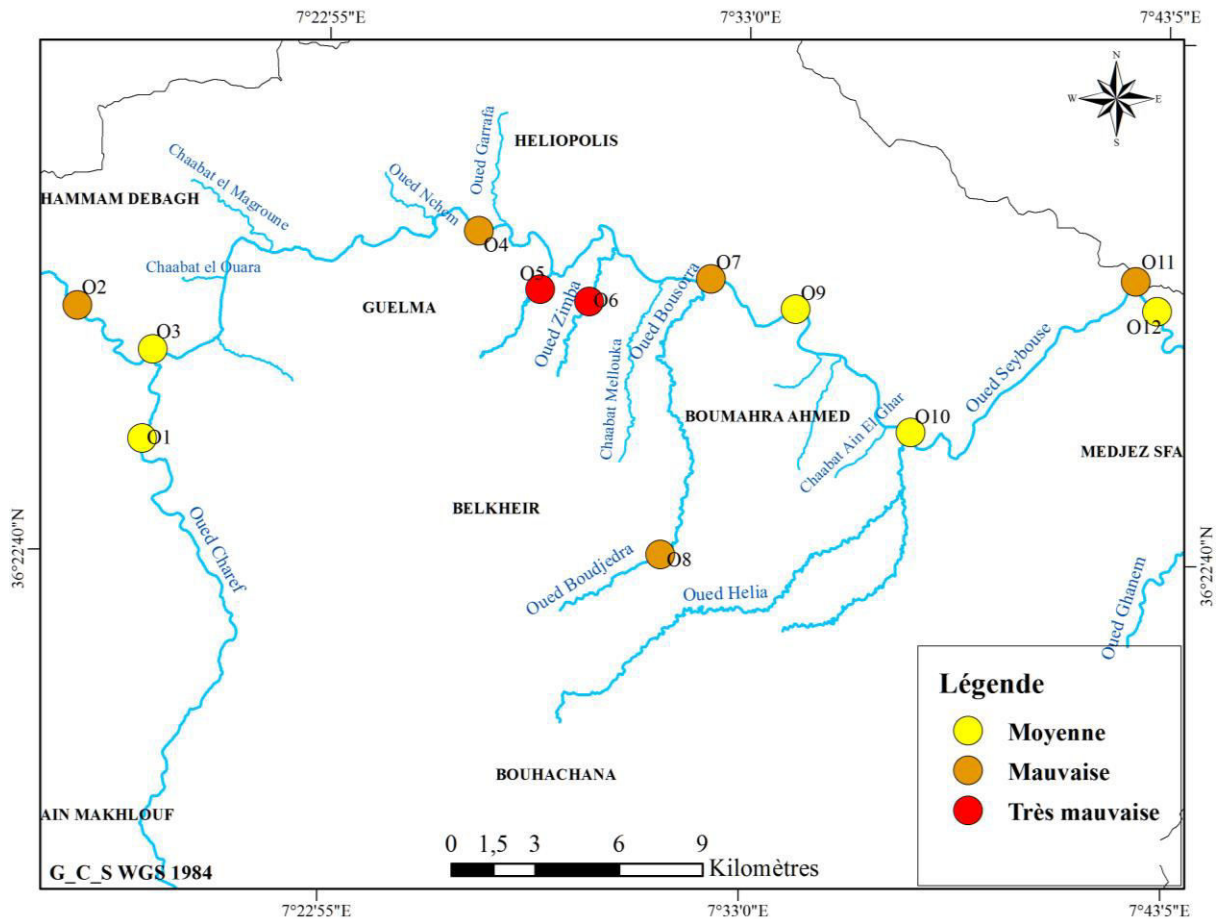


Figure 63. Carte de la qualité globale des eaux de l'oued Seybouse (Temps sec), (Khadri, 2017).

Conclusion

L'oued Seybouse reçoit quotidiennement des eaux usées traitées et non traitées de différentes origines (urbaine, industrielle et agricole). Le diversement des rejets des eaux usées dans les oueds constitue un problème qui se traduit par une dégradation du milieu récepteur. Ces eaux usées ont un effet important dans le déséquilibre du milieu aquatique et constitue la cause essentielle de l'insuffisance des ressources hydrique.

L'analyse de la composition physicochimique des eaux selon le diagramme de Piper et Schoeller Berkaloff montre que les eaux possède deux faciès chimique dominant sont le chloruré et sulfaté calcique et chloruré sodique. L'origine du chlore et les sulfates est le lessivage des formations argileuse et gypseuse, alors que le calcium provient des eaux des bordures (calcaires travertins).

L'évaluation de la qualité des eaux de l'oued Seybouse a été effectuée par plusieurs indices de qualité (indice IPO, WQI et IPQG). L'application de ces trois indices indique une situation presque identique au cours du temps, les résultats montrent que les degrés de pollution les plus élevés sont concentrés au centre de la région au niveau de l'agglomération de Guelma, Belkheir et Boumahra par ailleurs les rejets urbains et industriels avec une qualité mauvaise à très mauvaise des eaux de l'oued.

La pollution est diminuée aux stations situées à coté des centres urbains de faible densité de population ou loin des rejets urbains. La qualité de l'eau de l'oued se dégrade à cause des eaux usées urbains, de l'industrie et de l'activité agricole, sa qualité se détériore par temps de pluie en raison de forte charge polluante transporté par les eaux de ruissellement lors des crues.

La dégradation de leur qualité est liée principalement à l'altération par les matières en suspension, les matières phosphatées, les matières azotées hors nitrates, les matières organiques et oxydables et l'altération micropolluants minéraux.

Qualité des eaux usées
traitées et possibilité
de leur réutilisation

*C
H
A
P
I
T
R
E*

VI

I. Introduction

En temps de pluie, les eaux usées et les eaux pluviales sont collectées et évacuées vers la station d'épuration. Elles peuvent présenter une source de pollution qui contribue à la détérioration du milieu récepteur, soient elles ont subi un traitement (le traitement est moins efficace lorsque le débit traité est supérieur au débit habituel de temps sec) ou rejeter directement dans le milieu naturel par les déversoirs d'orage sans aucun traitement (Chocat et al, 2010).

Les eaux épurées peuvent créer des problèmes environnementaux à long terme mais présentent une ressource pour l'agriculture et l'industrie et leur réutilisation peut résoudre le problème de rareté des eaux. L'objectif de cette étude consiste à évaluer la qualité physicochimique et organique des eaux usées brutes et épurées à la station d'épuration de la ville de Guelma afin de voir la possibilité de réutiliser ces eaux dans l'irrigation.

II. Présentation de la station d'épuration

La station d'épuration de Guelma est située à 1 km environ au Nord de la ville de Guelma sur la route nationale N° 21 vers à Annaba, près de l'oued Seybouse. Elle a été mise en service en 2008 son lieu de rejet est l'oued Seybouse (figure 64).

Les eaux usées de l'agglomération de la ville de Guelma sont raccordées à la STEP avec un taux de raccordement égal à 97 %. La capacité de la station d'épuration de Guelma est de l'ordre de 32000 m³/j en temps sec et 43000 m³/j en temps de pluie (Bedouh, 2014). La réalisation de la station d'épuration est pour but de protéger et préserver l'environnement.

Les eaux usées de la ville de Guelma qui sont collectées par deux stations de relevage, l'une se trouvant au niveau de la cité Ghehdour : point de rejet de Oued El Maïz avec un débit de 1575 m³ /h, et la seconde au niveau du point de rejet de Oued Skhoun (son débit est de 1125 m³/h) (d'après Dadci, 2008 in Bedouh 2014).

Au niveau de la station d'épuration la filière de traitement employée est de type : boues activées à moyenne charge. Une série de traitements primaires permettent d'écarter rapidement les déchets les plus grossiers mais aussi les sables, les graisses, et les matières en suspension. Un traitement biologique est également effectué afin d'éliminer le reste de la pollution (Bedouh, 2014).

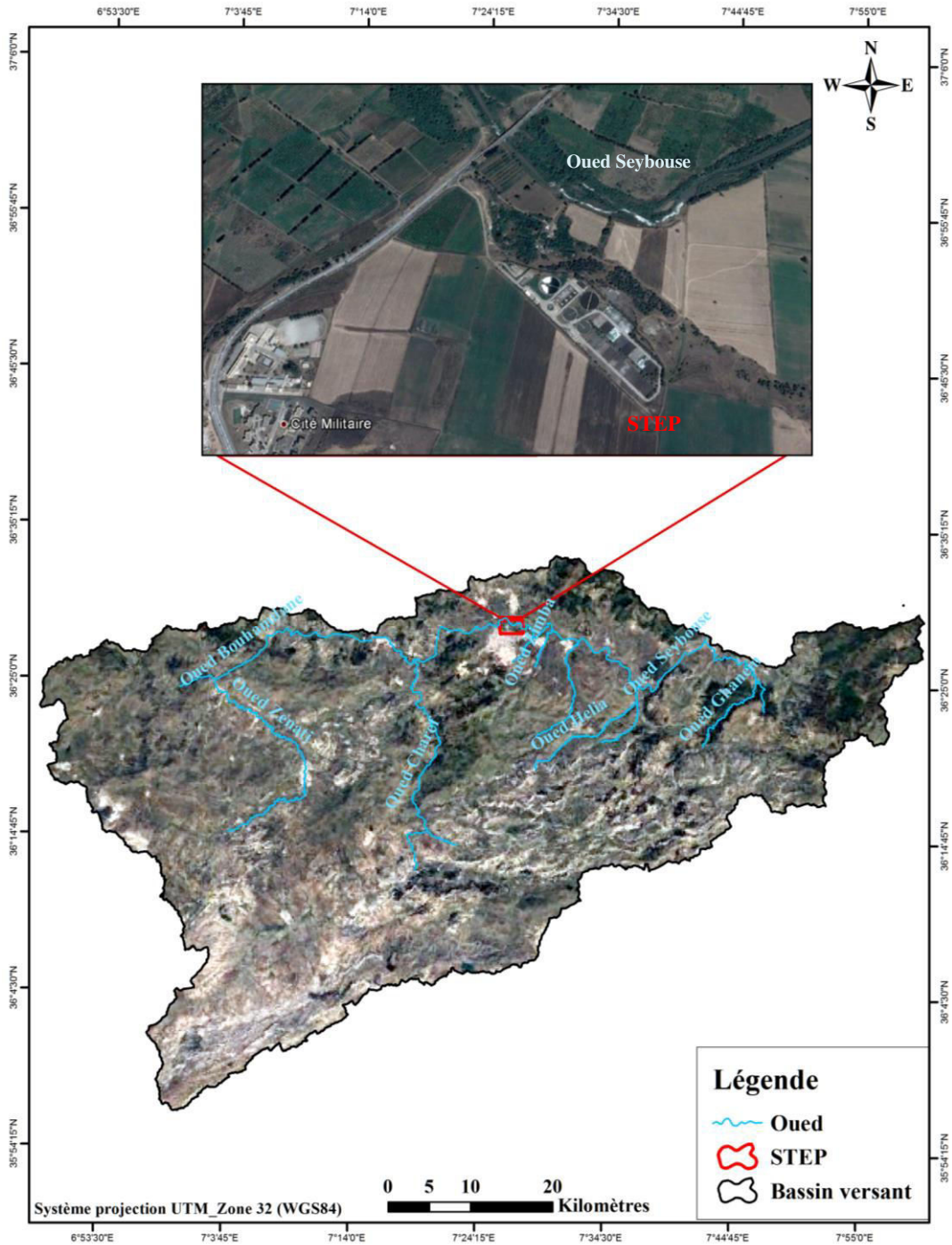


Figure 64. Image satellitaire représentant la localisation de la station d’épuration de Guelma (Google Earth, 2017), (Khadri, 2017).

III. La qualité des eaux épurées

Dans cette partie nous avons utilisé les données des analyses physico-chimiques mensuelles des eaux usées enregistrées à l’entrée et à la sortie de la station d’épuration pendant quatre ans (2011/2014) fournie par l’ONA de Guelma. Pour les principaux paramètres de pollution la température, pH, NO₃, NO₂, NH₄, MES, DBO₅ et DCO.

III. 1. Température

La température joue un rôle primordial sur les réactions chimiques et biologiques dans l'eau, les variations de la température des eaux usées brutes et traitées au niveau de l'entrée et la sortie de la station d'épuration de Guelma pour les quatre ans sont présentées dans la figure 61. A l'entrée de la station d'épuration de Guelma, les valeurs des températures varient entre 12 °C et 26 °C et entre 11,3 et 26,9 à la sortie de la station (figure 65), nous remarquons que les valeurs des températures de l'eau enregistrées suivent celle de la saison. Les températures moyennes mensuelles des eaux usées traitées enregistrées au niveau de la station d'épuration de Guelma sont inférieures à 30 °C, cette valeur est considérée comme une valeur limite des rejets directs dans le milieu récepteur et aussi une valeur limite pour les eaux usées destinées à l'irrigation des cultures (Bedouh, 2014).

III. 2. Potentiel d'hydrogène

La figure 66 montre les valeurs de pH mesurées à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration, les eaux brutes présentent des valeurs variant de 6,5 à 7,8 pendant les quatre ans et pour les eaux traitées les valeurs sont comprises entre 6,7 et 7,6. Ces valeurs sont conformes aux normes des rejets algérienne ($6.5 < \text{pH} < 8.5$). Le pH de l'eau reste presque stable durant toute l'année et les valeurs indiquant une faible alcalinité de l'eau.

III. 3. Matières en suspension

Les matières en suspension présentent les matières insolubles dans l'eau organique ou inorganique leurs effets sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau sont très néfastes, elles modifient la turbidité des eaux et réduisent la pénétration de la lumière donc de la photosynthèse (Dimane et al., 2016). Les concentrations des matières en suspension à l'entrée varient entre 164 mg/l et 544 mg/l durant les quatre ans, ces valeurs indiquent la charge importante en matières organiques et minérales engendrées par l'agglomération de la ville de Guelma. À la sortie, les matières en suspension varient entre un minimum de 2 mg/l pendant le mois d'octobre pour l'année 2011 et un maximum de 15,5 mg/l pendant le mois de novembre (2013). Les valeurs des matières en suspension sont inférieures à la norme de l'OMS appliquée en Algérie pour les eaux d'irrigation (30 mg/l), ces résultats montrent le bon rendement et l'efficacité de traitement (figure 67).

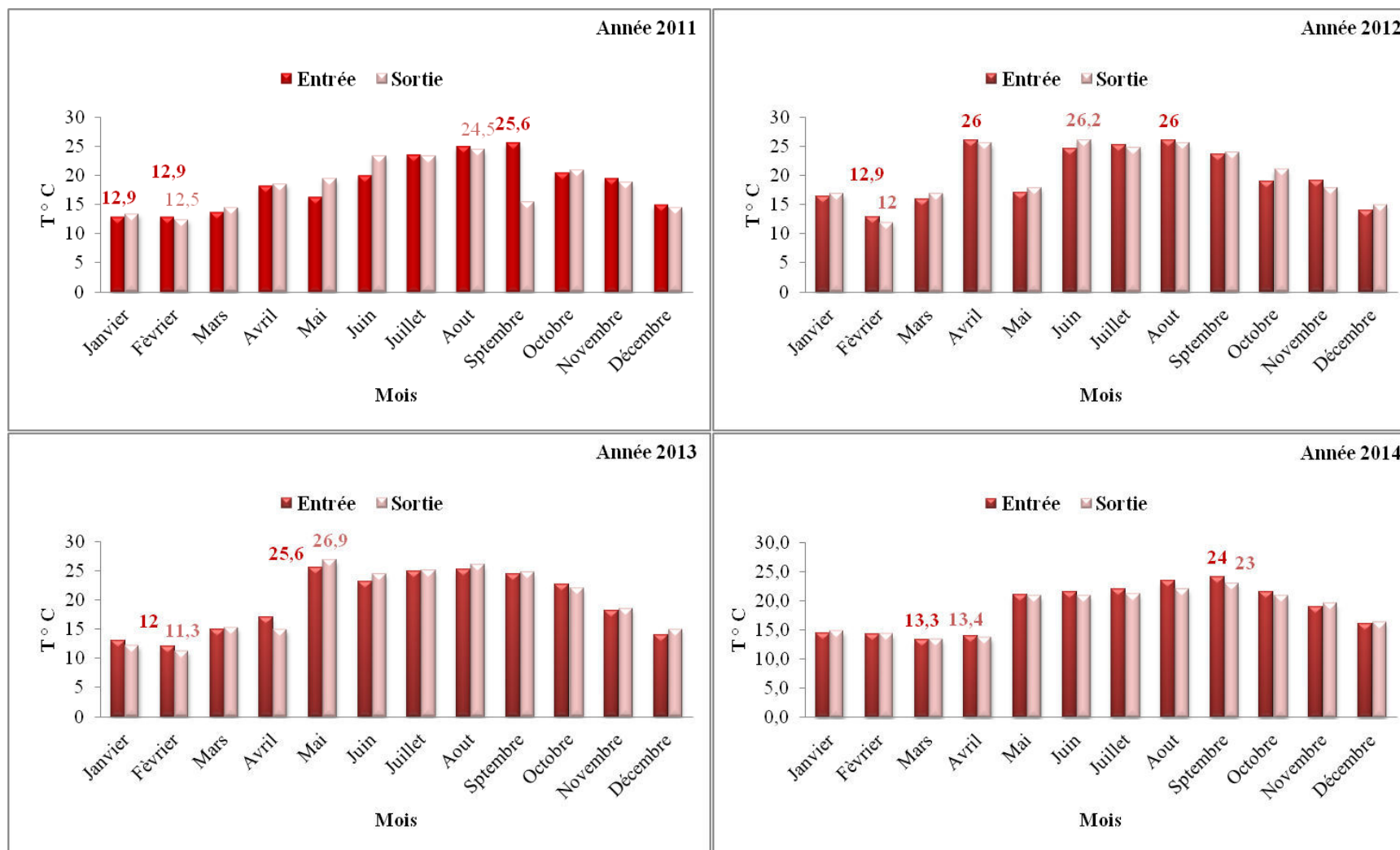


Figure 65. Variation temporelle de température.

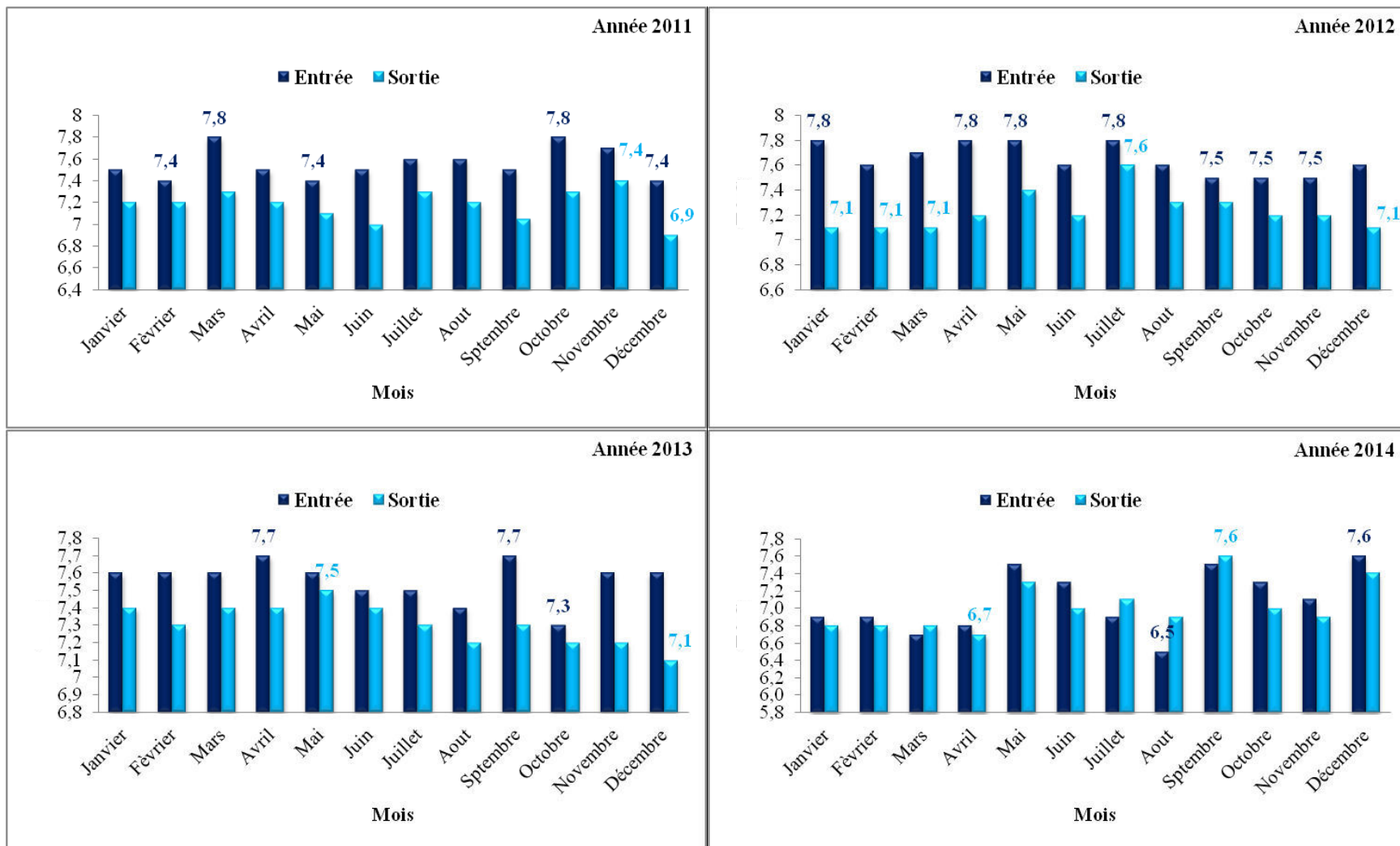


Figure 66. Variation temporelle de pH.

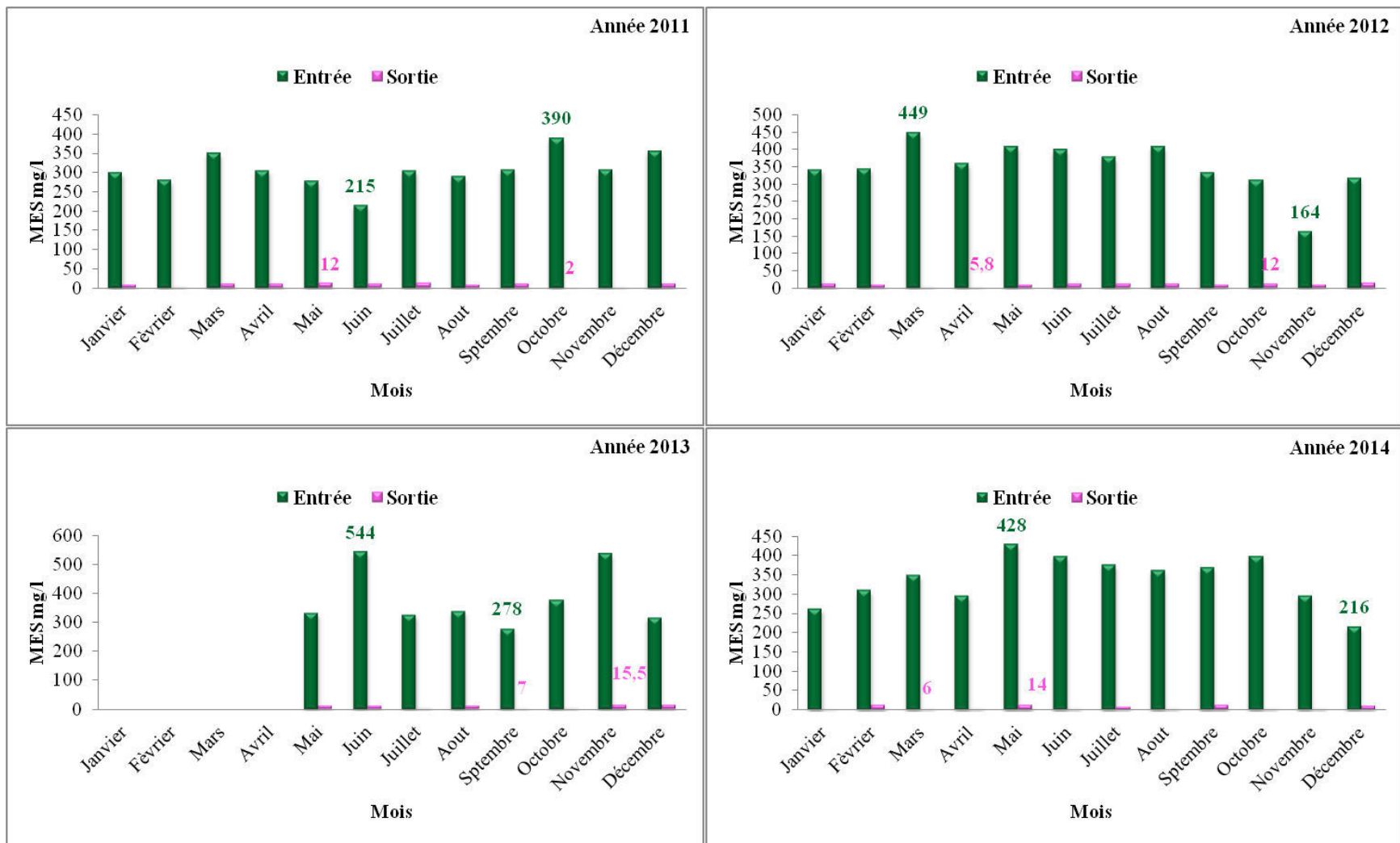


Figure 67. Variation temporelle des matières en suspension.

III. 4. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène permet d'estimer la concentration en matières organiques ou minérales dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale (d'après Rodier, 2009 in Dimane et al., 2016). Les valeurs de la demande chimique en oxygène enregistrées à l'entrée montrent une valeur minimale de 272 mg/l en mois de février 2014 et une valeur maximale de 844 mg/l. à la sortie de la station les valeurs de la demande chimique en oxygène sont comprises entre 4,2 mg/l (le mois de novembre 2013) et 68 mg/l au mois de septembre pour l'année 2014. Les valeurs obtenues sont inférieures aux normes fixées par la FAO (125 mg/l) pour les eaux destinées à l'irrigation et demeurent dans les normes déterminées par l'OMS appliquées en Algérie (90 mg/l) de l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation.

III. 5. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène, mesure la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes après 5 jours, pour oxyder les matières organiques biodégradables. Les concentrations de la demande biochimique en oxygène à l'entrée varient entre 104,08 mg/l et 358 mg/l au mois de Mai pour l'année 2013 (Figure 69). Les valeurs enregistrées à la sortie de la station d'épuration varient entre 5 et 24 mg/l respectivement les mois de janvier et février 2012 et mars 2013, ce qui correspond à des concentrations moyennes mensuelles inférieures à la norme appliquées en Algérie (30 mg/l) et à la norme fixée par la FAO (25 mg/l). Les valeurs minimales enregistrées au niveau de la sortie de la STEP, indique que le traitement biologique effectué sur les eaux usées est très significatif.

III. 6. Nitrates

Les concentrations des nitrates dans les eaux usées brutes varient entre un minimum de 0,1 en mois de juin pour l'année 2013 mg/l et un maximum de 7 mg/l (mars 2012), tandis que celles des eaux usées épurées oscillent entre un minimum de 1,3 mg/l (juillet 2011) et un maximum de 24,25 mg/l (février 2011), (Figure 70). Les valeurs des nitrates enregistrées au niveau de la sortie de station d'épuration sont supérieures à la norme de l'OMS (50 mg/l) et aux les normes internationale des eaux d'irrigation de la FAO (30 mg/l). L'augmentation insignifiante des teneurs en nitrates à la sortie de la STEP est due à la nitrification.

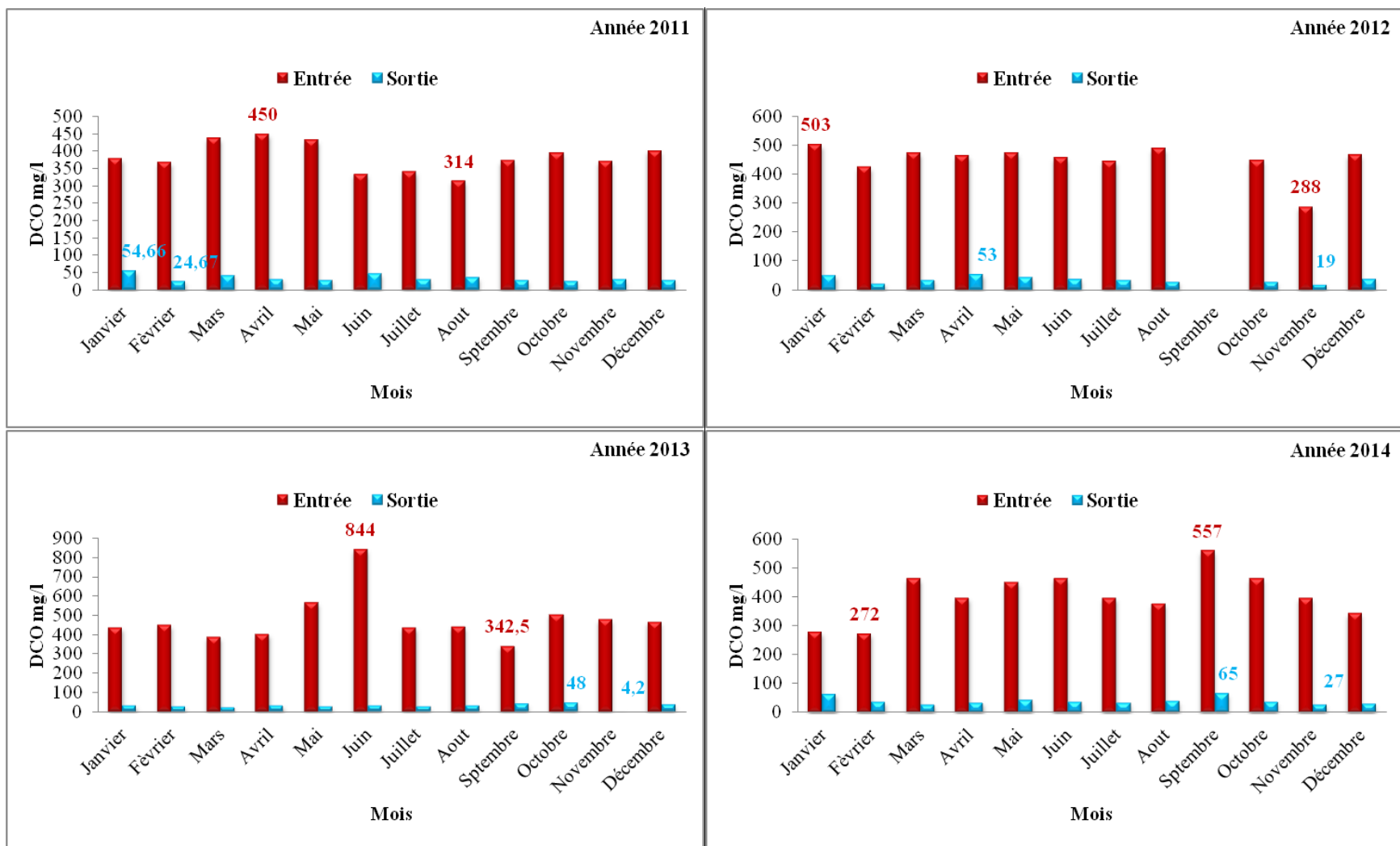


Figure 68. Variation temporelle de la demande chimique en oxygène (DCO).

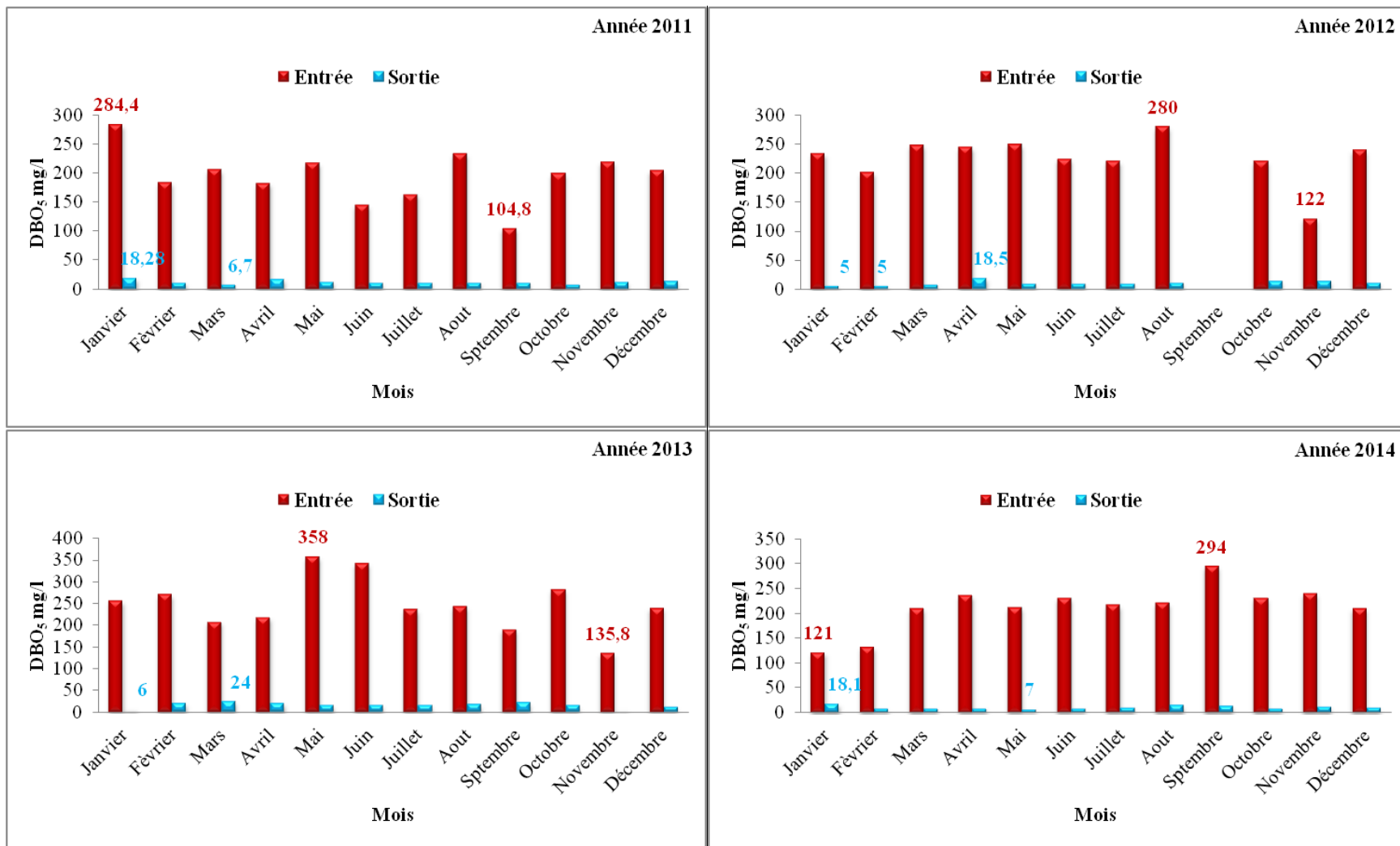


Figure 69. Variation temporelle de la demande Biochimique en oxygène (DBO₅).

III. 7. Ammonium

Les mesures de l'ammonium réalisées à l'entrée de la station d'épuration de Guelma sur les eaux usées, oscillent entre 23 mg/l et 50 mg/l respectivement en mois de décembre 2014 et le mois de mai 2012. Les concentrations de l'ammonium élevées enregistrées à l'entrée de la STEP indiquent l'existence d'une importante pollution azotée. Les teneurs en ammonium des eaux usées épurées varient entre 0,03 mg/l et 8,5 mg/l (Figure 71).

Nous remarquons que les valeurs de l'ammonium sont élevées et parfois supérieures à la norme des eaux d'irrigation recommandées par la FAO qui exige des teneurs inférieures à 3 mg/l et inférieures à la gamme habituelle d'une eau destinée à l'irrigation de 0 à 5 mg/l (Bedouh, 2014).

III. 8. Nitrite

Les nitrites ou azote nitreux représentent une forme moins oxygénée et moins stable, elle représente la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium (Bebeiche, 2002). Leur existence est liée, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates (Bedouh, 2014).

Les valeurs en nitrite enregistrées à l'entrée de la STEP varient entre 0,8 mg/l et 7 mg/l et entre 0,05 mg/l et 1,5 mg/l pour les eaux épurées à la sortie. Nous observons des valeurs faibles généralement inférieures aux normes fixées par la FAO et l'OMS (1 mg/l) sauf pour l'année 2012 les concentrations dépassent la norme avec une valeur de 1,3 mg/l en février et 1,5 mg/l en avril (Figure 72), les faibles teneurs peuvent être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac. La diminution de l'azote est une exigence pour réduire les phénomènes d'eutrophisation.

IV. Les besoins en eau d'irrigation

Les besoins en eau d'irrigation dépend des données climatiques et des ressources en eau de surface et souterraines. Nous voulons estimer l'évolution des superficies irriguées et les besoins en eau d'irrigation à partir d'une année de référence 2008 jusqu'au l'horizon 2060, avec un pas de cinq ans. L'évolution des besoins en eau d'irrigation est liée directement à l'augmentation des terres irrigables, en effet, en projetant une augmentation de 100 ha toute les cinq années avenir avec une dose moyenne annuelle de l'ordre de 806 m³/ha/an (Figure 73), les résultats des calculs sont présentés dans le tableau suivant 33.

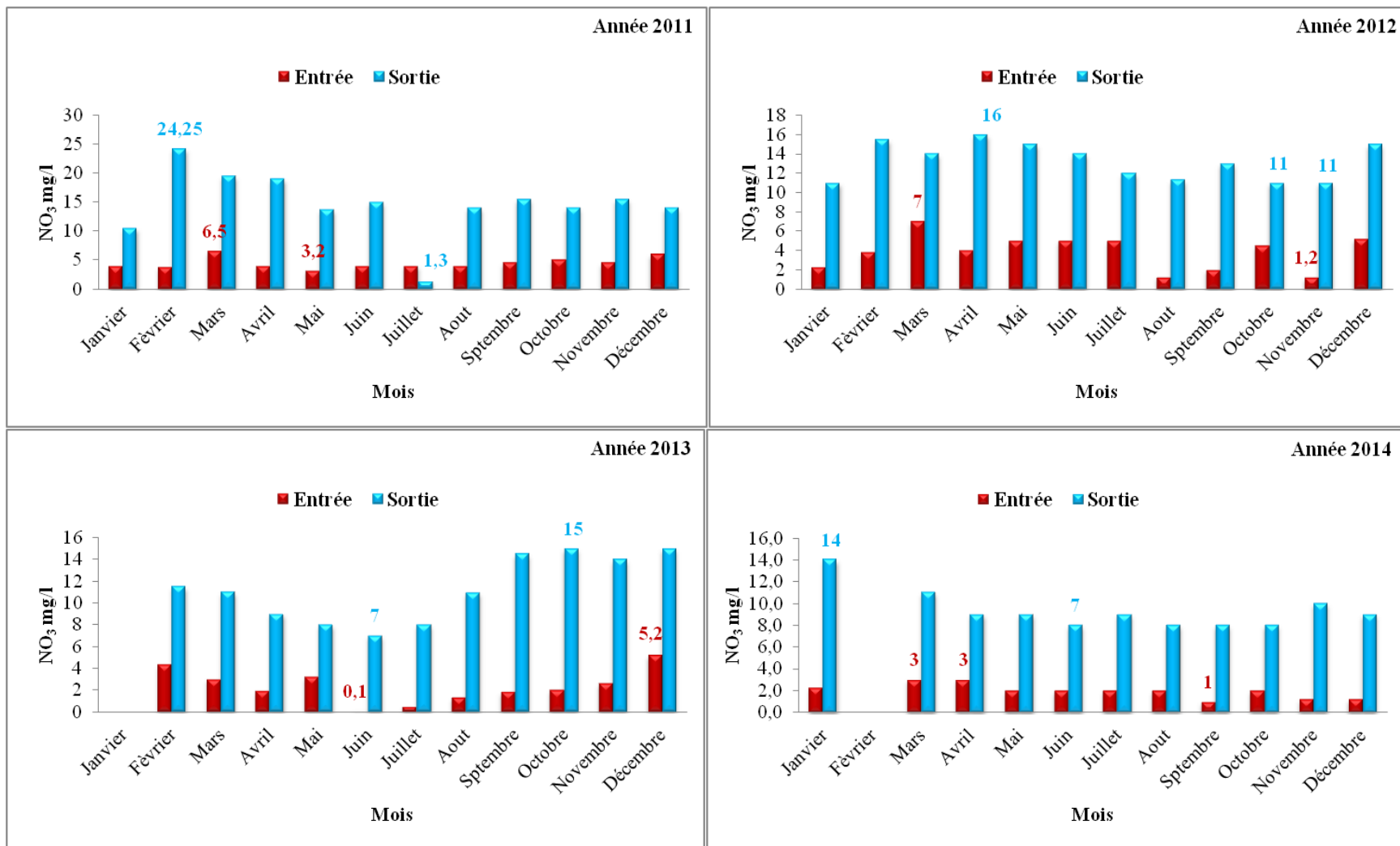


Figure 70. Variation temporelle des nitrates.

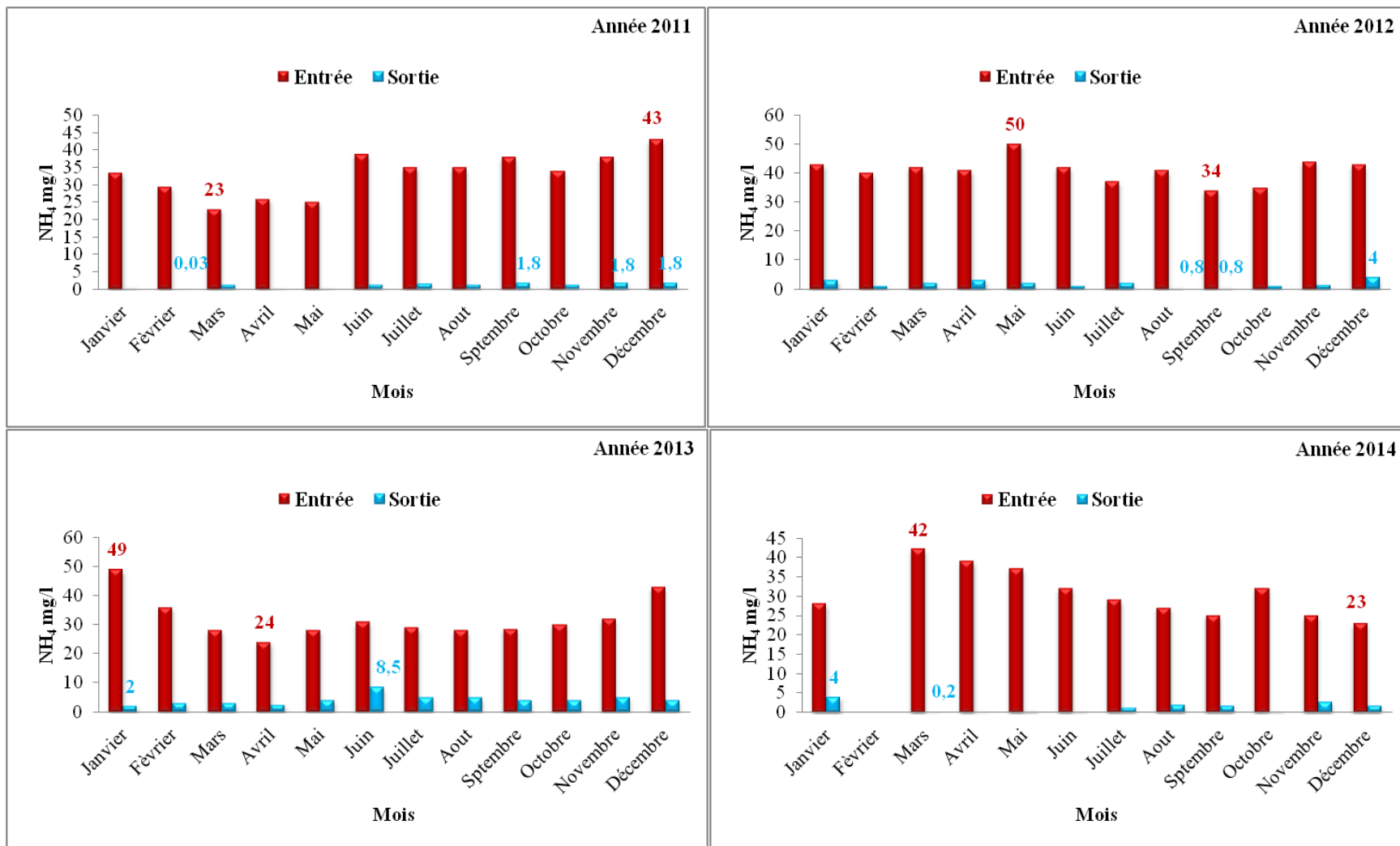


Figure 71. Variation temporelle de l'ammonium.

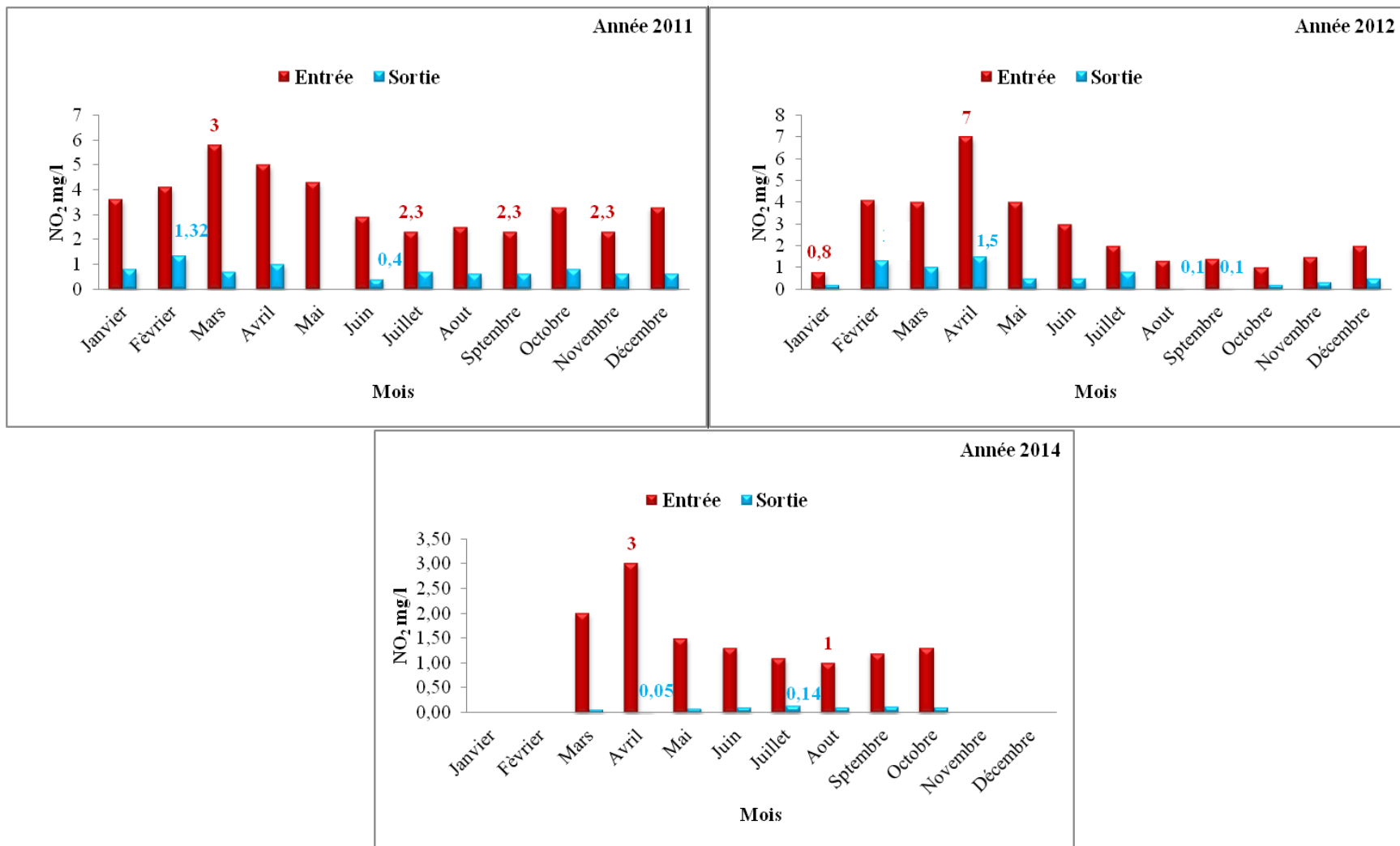


Figure 72. Variation temporelle des nitrites.

Tableau 33. Evolution des besoins en eau d'irrigation de la Wilaya de Guelma
(2008 - 2060).

	Superficie irriguée (ha)	Besoins en eau d'irrigation
2008	11841	9,54
2010	11881	9,58
2015	11981	9,66
2020	12081	9,74
2025	12181	9,82
2030	12281	9,9
2035	12381	9,98
2040	12481	10,06
2045	12581	10,14
2050	12681	10,22
2055	12781	10,3
2060	12881	10,38

V. Réutilisation des eaux usées traitées en irrigation

L'installation des stations d'épuration permet de protéger le milieu naturel et les ressources hydriques, elles peuvent assurer également une quantité considérable des ressources renouvelable non conventionnelle ayant satisfaire les besoins en eau. La réutilisation des eaux usées traitées nécessite de vérifier et contrôler ces eaux vu la variabilité de sa qualité dans le temps et évaluer leur impact sur l'environnement.

Les eaux usées traitées de la station d'épuration de Guelma peuvent être réutilisées dans le domaine agricole et industriel. La réutilisation des eaux usées traitées dans les domaines de l'irrigation et l'industrie permet d'exploiter la quantité d'eau conventionnelle équivalente dans le domaine de l'AEP. En plus, elle peut accroître les investissements industriels et agricole par le bayé de l'augmentation des superficies destinées à ces deux domaines.

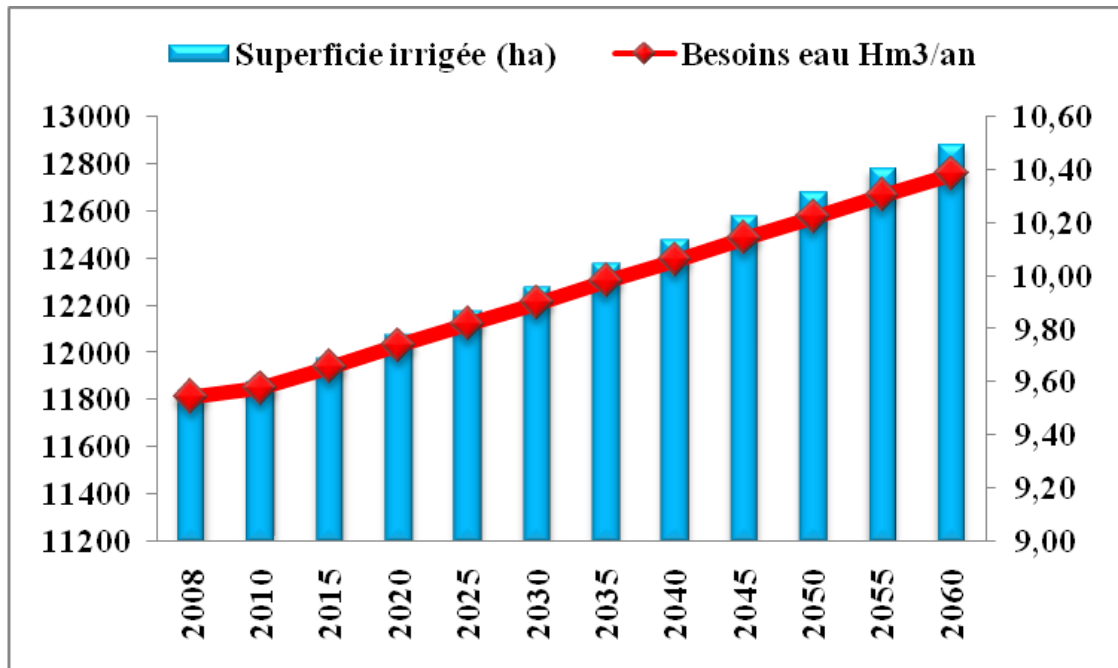


Figure 73. Evolution dans le temps des besoins en eau d’irrigation de la Wilaya de Guelma (2008-2060).

La capacité totale de traitement de la STEP de Guelma avoisine les 13.68 Hm³/an pour une capacité de production de 100% (Monographie Guelma, 2016).

Nous avons analysé les débits et les volumes pour les eaux épurées mesurées à la STEP pendant la période (2011/2012), nous observons que les valeurs les plus élevés des débits moyens des eaux traitées sont enregistrés durant les années 2011 et 2012 avec une valeur maximale de 32331 m³/j (l’année 2012) et une valeur minimale de l’ordre de 8201 m³/j enregistrée au mois de janvier pour l’année 2013 (figure 74).

La figure 75 montre que les volumes épurés du mois varient entre 223722 m³ et 881979 m³, le volume moyen des eaux usées traitées le plus élevé est enregistré au mois de mars pour l’année 2012 (881979 m³). Les apports de cette station traduits par des volumes annuels en eau usées traités présentés dans le tableau 34.

Tableau 34. Les volumes d’eaux usées traitées à la STEP de Guelma (2011/2014).

Année	Volume traité annuel (m ³)
2011	891576
2012	8512721
2013	5687458
2014	6848372

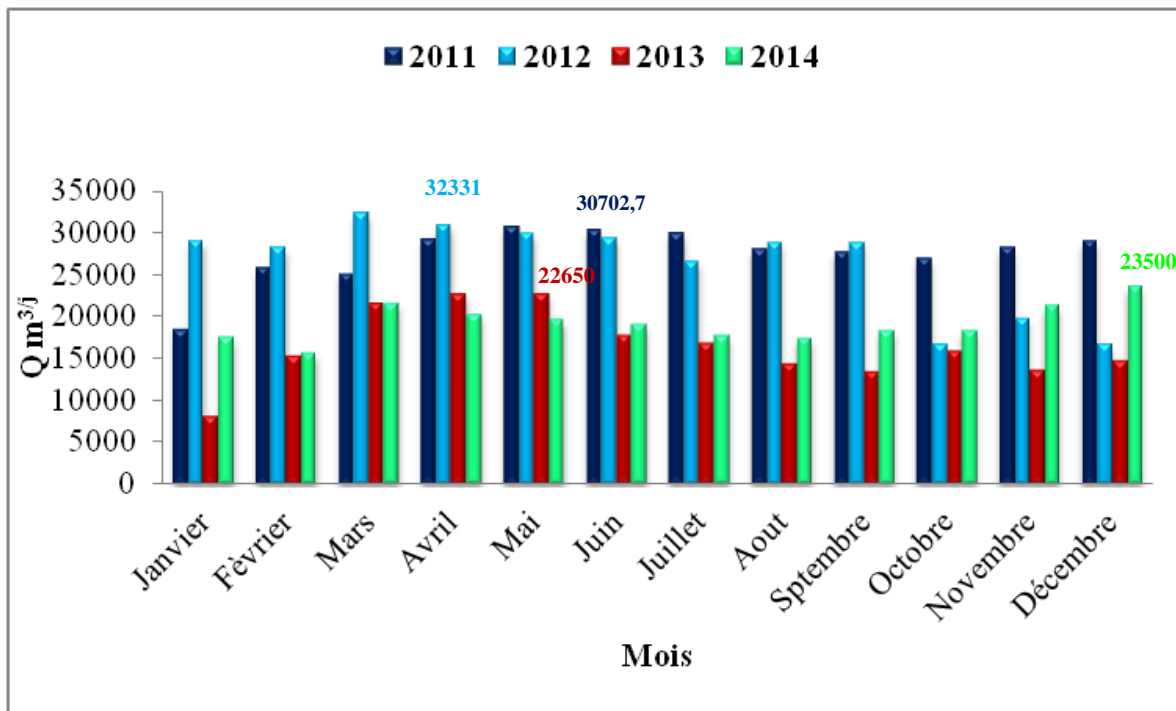


Figure 74. Variation moyenne mensuelle des débits traités en m³/j des eaux usées.

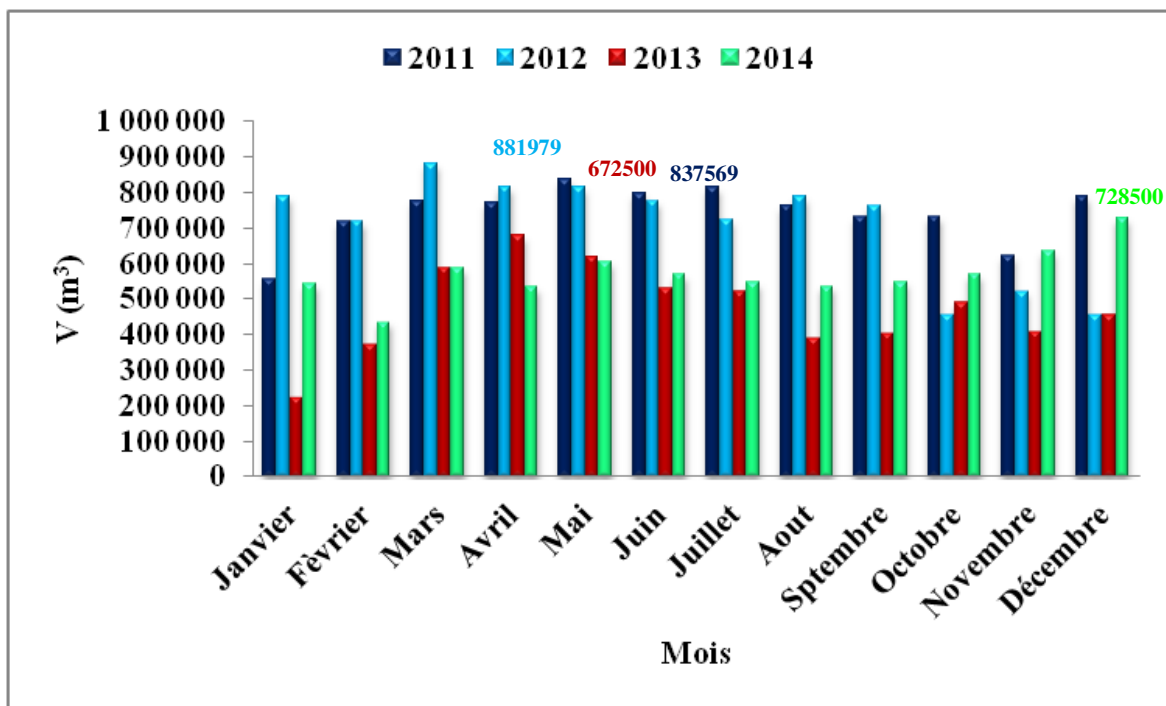


Figure 75. Variation moyenne mensuelle du volume d'eau usée traité.

VI. Conclusion

Le suivi des paramètres physico chimiques des eaux usées brutes et épurées de la station d'épuration de Guelma nous a permis de déduire que : Le rendement épuratoire a connu une fiabilité significative pour la DBO5, DCO, MES, pH et la température mais pas pour les nitrates, nitrites et l'ammonium qui ont considéré comme des éléments toxique et ont des effets indésirables sur la santé et l'environnement. L'augmentation des teneurs des nitrates vers la sortie de la station d'épuration est à cause de la nitrification, ce qui désigne que les concentrations en oxygène dissous dans le bassin d'aération est importante et qu'il y'a eu une mauvaise dénitrification.

Les paramètres physico-chimiques enregistrés pendant la période étudiée (2011/2014) présentent généralement des valeurs qui conformes aux normes internationales des eaux d'irrigation. Les eaux traitées peuvent contenir des polluants avec des concentrations importantes parfois inférieurs aux normes mais l'accumulation de ces polluants dans le milieu naturel qui peuvent provoquer des problèmes environnementaux. La réutilisation des eaux usées dans l'irrigation nécessite une surveillance de leur qualité. La station d'épuration de Guelma traite un volume moyen annuel de l'ordre de 7491078 m³ pour la période étudié (2011/2014). Le volume et le débit des eaux usées varient avec l'activité des habitants et la saison.

Conclusion générale

L'importance de l'eau en tant que ressource indispensable et facteur de développement est universellement reconnue, la protection et la préservation de cette ressource contre la pollution nous conduit à évaluer et apprécier les paramètres qui influent sur la qualité des eaux superficielles et leur modalité d'écoulement.

Au terme de cette étude qui nous a permis d'identifier les sources de pollution et de comprendre le comportement des paramètres physico-chimique dans le cycle urbain de l'eau, leur mouvement dans le temps et dans l'espace, nous présentons une synthèse des importants aspects évoqués et des résultats obtenus:

La présente étude s'est effectuée sur le grand bassin versant de l'oued Seybouse qui s'étend sur une superficie de 6471 km². Il possède trois parties bien différentes : (1) les hautes plaines (Haute Seybouse), (2) le tell méridional (Moyenne Seybouse) et (3) le tell septentrional (Basse Seybouse). La région d'étude englobe quatre sous bassin (sous bassin de Charef, sous bassin de Bouhamdane, sous bassin de Guelma et sous bassin de Mellah).

L'étude géomorphologique fait ressortir les grandes diversités lithologiques qui emporte des conséquences sur la stabilité du régime des eaux de surface et souterraines. L'orographie de la région d'étude est formée en ligne générale de 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 ce qui leur donne un caractère torrentiel. Parmi les reliefs les plus élevés de la région de Guelma sont Djebel Mahouna de 1411 m, Ras El Alia de 1317 m et Houara 1292 m d'altitude. Cette hétérogène reste un facteur important dans le déplacement des polluants.

La géologie de la région d'étude fait partie de l'ensemble géologique du Tell algérien nord oriental. Elle est constituée essentiellement de deux formations géologiques qui affleurent le long de la région d'étude; les formations mio-pliocène et quaternaires. Ces formations sont constituées essentiellement d'alluvions, graviers, limons, conglomérats, travertins perméables, présents sur l'ensemble du terrain et offre par conséquent un intérêt hydrogéologique, le trias gypsifère qui affleure au Sud de la région de Bouchegouf, qui est à l'origine de la contamination par les sels. Le couvert végétal est parfois dense parfois absent, il est souvent constitué par des plantes propres à la zone tel que le Guendoul, Rihane...parfois

par des cultures. La connaissance de ces cultures est très importante pour l'étude de la pollution.

La synthèse des données climatiques nous permet de distinguer que la région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, elle est caractérisée par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse humide à précipitations relativement élevées et des températures basses, l'autre sèche moins pluvieuse et avec des températures relativement élevées. La température moyenne annuelle est de 17,81 °c, elle est assez régulière, par contre, la moyenne annuelle des précipitations est de 594,71 mm à Medjez Amar et de 596,99 mm à Belkheir.

L'étude du climat en utilisant l'indice d'aridité de De Martonne a montré que notre secteur d'étude est en zone tempérée, elle est marquée par une évapotranspiration réelle (ETR) de 442,2 mm (station des Belkheir) et de 441,4 mm (station de Medjez Amar), alors que la lame d'eau ruisselée constitue 84 mm et 83 mm respectivement à Belkheir et Medjez Amar. L'infiltration est de 70,69 mm à Belkheir et de 70,31 mm Medjez Amar qui pourra jouer un rôle important dans la recharge des nappes d'eau souterraines et pour l'écoulement de surface.

L'étude hydrologique basée sur l'analyse des paramètres morphométriques, climatologiques et hydrométriques du bassin étudié, Nous avons été amenés à extraire le bassin versant étudié, et à déduire ses caractéristiques géomorphologiques et hydrométriques, à partir d'un modèle numérique de terrain. L'extraction automatique de ces paramètres géomorphologiques et hydrométriques est une technique très adaptée actuellement. L'évaluation de ces paramètres qui intervenant dans le comportement hydrologique du bassin versant étudié nous a permis d'obtenir les résultats suivants : Le bassin versant étudié présente une forme allongée avec une surface de 3645,21 km², un bassin en état de maturité, un relief fort avec une altitude maximale de 1419 m et une altitude minimale de 87 m, la courbe hypsométrique montre que le bassin étudié est en état de maturité. Le réseau hydrographique présente une hiérarchisation moyenne et le temps de concentration estimé est de 7 heures et 35 minutes. Ces caractéristiques favorisent ainsi aux eaux superficielles le temps de s'infiltrer.

Estimation des débits maximums par des méthodes empiriques pour différentes périodes de retour a été basée sur les observations des données pluviométriques. Le calcul des débits maximums est déterminé par la formule de maillet Gauthier et Possenti. La formule de

Possenti montre des valeurs de débits surestimés ce qui nous recommandons de choisir la formule qui répond au mieux aux conditions locales de région d'étude.

L'étude physico-chimique des rejets urbains par temps de pluie nous a permis d'évaluer le degré de pollution produite par les rejets urbains et industriels des agglomérations autour de l'oued Seybouse. Les résultats des analyses physico-chimiques montrent que les eaux de ce cours d'eau sont caractérisée par :

Une minéralisation moyenne dans les rejets par temps de pluie, confirment les valeurs modérée de la conductivité électrique. En temps de pluie nous observons une légère augmentation de la teneur d'oxygène dissous, cette élévation peut être due aux rejets pluviaux.

En temps de pluie, les résultats montrent des teneurs élevées pour les matières en suspension peuvent être le résultat d'une intense érosion du bassin versant suite à un événement pluvieux brutale et lessivage de la matière en suspension décanté pendant la période de temps sec dans le réseau unitaire. Pour les éléments nutritifs nous avons enregistré des valeurs très élevées en phosphate et nitrates.

Les valeurs de DBO_5 et DCO sont plus élevées en période sèche, la diminution de la matière organique par temps de pluie est due à la contribution des eaux de pluie à la dilution de la charge organique provenant des eaux usées. Par contre, les métaux en trace métallique montrent des teneurs assez élevées liées à la charge polluante importante. Le rapport DCO/DBO_5 est varié entre 0,47 à 4,19 pour la période sèche et de 1,15 à 4,86 en temps de pluie, la majorité des stations de prélèvement ont un rapport DCO/DBO_5 inférieur à 2 et des rejets facilement biodégradable permettant ainsi une épuration biologique. Le rapport DCO/DBO_5 est plus élevé pour les rejets urbains de temps de pluie, indication d'une moins bonne biodégradabilité des effluents qui peuvent être contiennent des polluants d'origine industrielle ou agricole plus ou moins difficilement biodégradable. La Classification hiérarchique ascendante des points de rejets présente des résultats similaires à ceux obtenu par l'ACP.

Nous avons remarqué que les teneurs élevés des nitrates, phosphates, matières en suspension et les métaux lourds sont considéré comme des éléments de pollution de temps de pluie. La diminution des autres éléments est due à l'effet de la dilution par les eaux de pluie.

Le diversement des rejets, de différentes origines (urbaine, industrielle et agricole), dans l'oued Seybouse traitées et non traitées constitue des problèmes environnementaux qui se traduit par une dégradation du milieu récepteur.

L'étude de la composition physicochimique des eaux selon le diagramme de Piper et Schoeller Berkloff montre que les eaux possèdent deux faciès chimique dominant sont le chloruré et sulfaté calcique et chloruré sodique. L'origine du chlore et les sulfates est le lessivage des formations argileuse et gypseuse, alors que le calcium provient des eaux des bordures (calcaires travertins).

L'évaluation de la qualité des eaux de l'oued Seybouse a été effectuée par plusieurs indices de qualité (indice IPO, WQI et IPQG). La comparaison de ces trois indices désigne une situation presque identique au cours du temps, les résultats montrent que les degrés de pollution les plus élevés sont concentrés au centre de la région au niveau des grandes agglomérations (Guelma, Belkheir et Boumahra) avec une qualité mauvaise à très mauvaise des eaux de l'oued. La pollution est diminuée aux stations situées à côté des centres urbains de faible densité de population ou loin des rejets urbains. La qualité des eaux de l'oued Seybouse se détériore par temps de pluie en raison de forte charge polluante transporté par les eaux de ruissellement. La dégradation de leur qualité est liée principalement à l'altération par les matières en suspension, les matières phosphatées, les matières azotées hors nitrates, les matières organiques et oxydables et l'altération micropolluants minéraux.

Le suivi des paramètres physico chimiques des eaux usées brutes et épurées de la station d'épuration de Guelma indique que : Le rendement épuratoire a connu une fiabilité significative pour la DBO5, DCO, MES, pH et la température mais pas pour les nitrates, nitrites et l'ammonium qui ont considéré comme des éléments toxique et ont des effets indésirables sur la santé et l'environnement. Les valeurs élevées des nitrates vers la sortie de la station d'épuration sont due à la nitrification.

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées brutes ou traitées pendant la période (2011/2014) montrent généralement des valeurs qui conformes aux normes internationales des eaux d'irrigation. Les eaux traitées peuvent contenir des polluants avec des concentrations importantes parfois inférieurs aux normes mais l'accumulation de ces polluants dans le milieu naturel qui peuvent provoquer des problèmes environnementaux. La réutilisation des eaux usées dans l'irrigation nécessite une surveillance de leur qualité. Les

concentrations des paramètres physico-chimiques, le volume et le débit des eaux usées varient avec l'activité des habitants et la saison.

Les rejets urbains par temps de pluie ont un effet important dans le déséquilibre du milieu aquatique et constitue la cause essentielle de la détérioration et l'insuffisance des ressources hydrique. La première nécessité est de réduire les effets de ces rejets sur le milieu récepteurs et leurs impacts sur la santé humaine, ainsi nous recommandons :

- Un prétraitement des eaux des rejets particulièrement industriel,
- La construction des stations d'épuration et de lagunage au niveau des agglomérations.
- Diminuer la charge polluante des eaux pluviales par la réduction de la surface imperméable et la diminution de la vitesse d'écoulement des eaux de ruissellement et leur parcours.

Bibliographie

- ABOU A., 1990**, "Pluie de projet et modèles de transfert "pluie-débit" pour les petits bassins versants", ingénieur de conception, Ecole polytechnique de Thies, 146 p.
- Agence de bassin hydrographique Constantinois -Seybouse- Mellegue, 2002**, " Cahiers de l'Agence du bassin de la Seybouse", actualisation, N7 Av.2002, 32 p.
- Agence de Bassin Hydrographique Constantinois –Seybousse-Mellegue, 2009**, " Pollution de l'oued Seybouse- Diagnostic et solutions-", journée de la pollution du bassin de la Seybouse, Guelma, le 2 Février 2009.
- ANRH . (Agence Nationale des Ressources Hydriques).**, (2012) : Grille de qualité des eaux de surface.
- Bachoc, F., Ammar, K., and Martinez, J. 2015**, "Improvement of code behavior in a design of experiments by metamodeling", Nuclear science and engineering, 183(3), 387-406.
- Bechiri N., 2011**, "Evolution du chimisme des eaux de surface et souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Nord-Est Algérien) ", mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 129 p.
- Bedouh Y., 2016**, "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 LMD, Université de Badji Mokhtar Annaba, 158 p.
- Belhadj H., Kettani K., 2013**, "Evaluation de la qualité physico-chimique de l'oued Martil (Rif occidental, Maroc) " gestion et protection de l'environnement, Proceedings G-ENVIRON-5, Volume 3, 31-38.
- Blayac J., 1912**, "Esquisse géologique du bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines", 480 p.
- Bendaoud M., Mouhaddach O., Essahlaoui A., Layachi A., Kestemont M.P., El Jaafari S., 2011**, " Conception d'un SIG pour l'évaluation de l'impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux superficielles de la ville de Meknès (Maroc)", Cahiers de l'ASEES N° 16, 17–25.
- Bengherbia A., Hamaidi F., Zahraoui R., Hamaidi M.S., Megateli S., 2014**, "Impact des rejets des eaux usées sur la qualité physico-chimique et bactériologique de l'oued Beni Aza (Blida, Algérie) ", Lebanese Science Journal, Vol. 15, N°. 2, 39-51.
- Benhadj Khaled. Z., 2011**, "Réalisation d'une synthèse sur la qualité des milieux aquatiques sur le territoire du SIVOM de la région mulhousienne", Diplôme de Master 2, Université Nancy, P 94.

- Benedjai N., 2002**, "Etude de l'influence des paramètres physiques et morphométriques sur les débits à l'exutoire des bassins versants", Mémoire de magister, université Elhadj Lakhdar Batna1, 246 p.
- Benmarce K., 2015**, "Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines dans la région de Guelma, Nord-Est Algérien", Thèse de doctorat en sciences, IST, Université de Badji Mokhtar Annaba, 156 p.
- Benmia ., 2012**, "Évaluation de la performance des barrages de Protection contre les inondations cas de la ville de Ghazaouet", Mémoire de magister, université Aboubakr Belkaïd de Tlemcen, 181 p.
- Benziane F.Z., 2016**, " Impact sur l'écosystème de la région d'Ouled Mimoun des eaux usées urbaines ", Mémoire de master, université Aboubakr Belkaïd de Tlemcen, 72 p.
- Bordalo A., Teixeira R., Wiebe W., 2006**, "A Water Quality Index Applied to an International Shared River Basin: The Case of the Douro River", *Environ Manage* (2006) 38, 910–920.
- Bouanani A., 2004**, " Hydrologie, transport solide et modelisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie) ", Thèse doctorat d'état, université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 250 p.
- Boubou M., 2007**, " Contribution aux méthodes de classification non supervisée via des approches prétopologiques et d'agrégation d'opinions", Thèse de doctorat, université Claude Bernard – Lyon I, 204 p.
- Boukrouh F., 2004**, "Etude géologique des dépôts évaporitiques du bassin de Guelma", mémoire de magister, IST, Université Mentouri de Constantine, 107 p.
- Brahmia N., 2016**, "Evaluation et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant de la moyenne Seybouse, Nord-Est, Algérien", Thèse de doctorat en sciences, IST, Université de Badji Mokhtar Annaba, 133 p.
- Chaoui W., 2007**, "Impact de la pollution organique et chimique deseaux de l'oued Seybouse et de l'oued Mellah sur les eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (Guelma)", mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 97p.
- Charlotte P.R et Boisson J.C., 2007**, "Impacts des rejets urbains de temps de pluie (RUTP) sur les milieux aquatiques", État des connaissances. *Revue des sciences de l'eau /Journal of Water Science*, vol. 20, n ° 2, 229-239 p.
- Chocat B., Ashley R., Marsalek J., Matos M.R., Rauch W., Schilling W., Urbonas B., 2007**, "Toward Sustainable Management of Urban Storm Water", *Indoor Built Environment*, 16(3), pp 273-285.

- Chocat B., Bertrand-Krajewski J.L., 2010,** " Les eaux pluviales urbaines et les rejets urbains de temps de pluie", Encyclopédie des techniques de l'ingénieur
- Darest De La Chavane J.C., 1910,** " La région de Guelma, études spécial des terrains tertiaires. Bull. Serv. Carte géol., Algérie. Thèse sciences, Lyon (France), 256 p.
- Debieche T.H., 2002,** "Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est algérien", Thèse de doctorat, Université Comté-Franche-, 199 p.
- Djediai H., 2014,** " Etude de la qualité des eaux du bassin versant de la Tafna et une approche théorique de la dégradation du méthyle Parathion", Doctorat en Sciences, Université des sciences et de la technologie d'ORAN Mohamed Boudiaf, 214 p.
- Dimane F., Haboubi K., Hanafi I., El Himri A., 2016,** "Étude de la performance du dispositif de traitement des eaux usées par Boues activées de la ville d'Aihoceima, Maroc", European scientific journal june 2016 édition, vol.12, N°17, p 272.
- Djabri L. (1996),** "Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de l'oued Seybouse, origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines", Thèse de doctorat d'état en hydrogéologie, IST, Université de Badji Mokhtar, Annaba. 256 p.
- Domergue S., 2011,** "Gestion du temps de pluie sur les bassins Rhône Méditerranée & Corse : Collectivités prioritaires et dispositifs d'infiltration des rejets urbains de temps de pluie", Master 2, Université Pierre et Marie Curie, École des Mines de Paris & École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, 54 p.
- Foucault A., 2009,** "Climatologie et paleoclimatologie", Dunod, Paris, 323 p.
- Haied N., 2008,**" Impact des eaux de réalimentation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja (NE Algérien) ", Mémoire de magister, IST, Université de Badji Mokhtar Annaba, 193 p.
- Haied N., 2015,**"Evaluation quantitative d'une réalimentation de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja dans la région de Bordj Ali Bey et son impact sur la qualité des eaux souterraines", Thèse de doctorat en sciences, IST, Université de Badji Mokhtar Annaba, 193 p.
- Hannouche A., Chebbo G., Ruban G., Tassin B., Joannis C., 2011,** "Relation entre la turbidité et les matières en suspension en réseau d'assainissement unitaire", Techniques Sciences Méthodes , ASTEE/EDP Sciences, N° 10, pp.42-51.

- Joleaud L., (1912),** "étude géologique de la chaîne numidique et des monts de Constantine (Algérie) "
- Kachi N., 2015,** "Impact du périmètre irrigué sur la qualité des eaux souterraines dans le bassin versant de la Seybouse", Thèse de doctorat en sciences, IST, Université Badji Mokhtar d'Annaba, 209 p.
- Kachi N., Kachi S., Bousnoubra H., 2016,** "Effects of Irrigated Agriculture on Water and Soil Quality (Case Perimeter Guelma, Algeria) ", *Soil & Water Res.*, 11, 2016 (2), pp 97–104.
- Khadri S., Laraba A., Haied N., 2017,** "Physico-chemical composition of urban wet weather discharges in Seybous Watershed (North Eastern Algeria) ", *American Institute of Physics*, 020018-1–020018-11.
- Kafi-Benyahia M., 2006,** "Variabilité spatiale des caractéristiques et des origines des polluants de temps de pluie dans le réseau d'assainissement unitaire Parisien", Thèse de doctorat, Ecole nationale des ponts et chaussées, 502 p.
- Kerdoun R.M., 2016,** " Evaluation du niveau de la pollution organique des eaux de l'oued Rhumel en amont et en aval de Constantine ". Mémoire Master, Université des Frères Mentouri Constantine, 72 p.
- Krajewski B. J-L., 2006,** " Les polluants des rejets urbains de temps de pluie : natures, concentration, flux, caractéristiques physico-chimiques, solides en suspension et répartition temporelle durant les événements pluvieux", *Cours d'hydrologie urbaine*, OSHU3 07, INSA Lyon, 54 p.
- Laborde J.P., 2009,** "Eléments d'hydrologie de surface", cours. Université de Nice Sophia-Antipolis, édition 2009, 191p.
- Lamprea Maldonado D. K., 2009,** "Caractérisation et origine des métaux traces, hydrocarbures aromatiques polycycliques et pesticides transportés par les retombées atmosphériques et les eaux de ruissellement dans les bassins versants séparatifs péri-urbains", Thèse de Doctorat, École Centrale de Nantes, 297 p.
- Laraba A., Hadj Zobir S., 2009,** "Pollution organique des eaux de l'oued Seybouse : plaine alluviale de Guelma Nord-est Algérien", *Bulletin des sciences géographiques* N° 23, 5 p.
- Nouar T., 2007,**"Impact de la pollution sur les ressources en eau superficielles et souterraines de la région de Guelma", Thèse de Doctorat, IST, université de Badji Mokhtar Annaba, 179 p.

- Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., Van. Clooster M., 2011,** " Contribution a l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental)", Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, Décembre 2011, pp. 149-169.
- Marre A., 1987,**" Le Tell oriental Algérien (de Collo a la frontière Tunisienne", étude géomorphologique, Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Aix - en- Provence, France, volume 1-2, 463 p.
- Mecibah I., 2017,** " Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant d'oued Guebli (nord-est Algérien) " Thèse de doctorat en sciences, IST, Université Badji Mokhtar d'Annaba, 314 p.
- Mouchara N., 2009,** " Impacts des lâchées de barrage hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (nord-est algérien) ", mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 141 p.
- Ramakrishnaiah C. R., Sadashivaiah C., Ranganna G., 2009,** "Assessment of Water Quality Index for the Groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India", E-Journal of Chemistry, 6(2), 523-530.
- Riad S., 2003,** "Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc", Thèse de doctorat, université des sciences et technologies de Lille & université Ibnou Zohr d'Agadir, 154 p.
- Roche M., 1963,** "Hydrologie de surface", Gauthier - Villars Éditeur – Paris, 431 p.
- Rodier J., 1996,** "L'analyse de l'eau eaux naturelles - eaux usées", troisième édition, DUNOD, Paris, 412 pages.
- Şener Ş., Şener E., Davraz A., 2017,** "Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey)", Science of the Total Environment 584–585 (2017), 131–144.
- Taha B.M.J. O., Gingras H., Bobée B., Lemonier M., 2001,** "Synthèse des méthodes simples de régionalisation", Rapport de recherche Numéro 600 de Rapport scientifique, INRS-Eau, 64 p.
- Tohouri P., Adja G. M., Soro G., Ake E.G., Konan I.N., Biemi J., 2017,** " Qualité physico-chimique en saison pluvieuse des eaux de surface de la région de Bonoua (sud-est de la Côte d'Ivoire)", International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324 Vol. 20 N° 1 Apr. 2017, pp. 28-41.
- Vialle C., 2011,** "Etude du comportement hydraulique, physico-chimique et microbiologique d'un système de récupération d'eaux de toiture. Evaluation de l'empreinte environnementale", Thèse de doctorat, université de Toulouse, 350 p.

- Vila J. M., 1980,** "La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens",
Thèse de Doctorat ès sciences Nat., Université de Pierre Marie Curie, Paris VI,
France, 2t 665p, 199 fig., 40pl.
- Zenati N., Messadi D., 2009,** "Système d'évaluation de la qualité des eaux superficielles –
application au bassin versant côtier Constantinois Est", Le journal de l'Eau et de
l'Environnement, 120-131.

Annexes

Annexe 01. Les points de rejets dans la Wilaya de Guelma (ABH Annaba, 2007).

Année	Agglomération	Commune	Type de réseau	Etat de réseau	Vol. Rejeté (m3/j)	Milieu receuteur
2007	Tamlouka	Tamlouka	U	Bon	1359	Oued El Malah
2007	Ain Arko	Tamlouka	U	Bon	278	Oued El Malah
2007	Ain Makhlouf	Ain Makhlouf	U	Bon	964	Chaabet
2007	Abid Mabrouk	Ain Larbi	U	Bon	14340	Oued Cherf
2007	Ain Hessainia	Houari Boumedienne	U	B-Moy	657	Oued Cherf
2007	Hammam Debagh	Hammam Debagh	Mixte	Bon	1237	O/Bouhamdane
2007	Tahar Dahmoun	Hammam Debagh	U	B-Moy	94	Chaaba
2007	Bouhamdane	Bouhamdane	Mixte	Moy	285	Chaaba
2007	Oued Zenati	Oued Zenati	Mixte	Moy	1655	Oued Zenati
2007	Ain Trab	Oued Zenati	U	Moy	151	Chaaba
2007	Ain Regada	Ain Regada	S/U	bon	392	Oued Zenati
2007	Ksar El Azeb	Ain Regada	U	Moy	153	Oued
2007	Bordj Sabath	Bordj Sabath	U	Moy	208	Chaaba
2007	Ras El Aioun	Bordj Sabath	U	Moy	69	Oued
2007	Guelaat Bou Sbaa	Guelaat Bou Sbaa	U	Bon	59	Chaaba
2007	El Fedjoudj	El Fedjoudj	U	Moy	723	Chaaba
2007	Guelma	Guelma	Mixte	Moy	21063	Oued Seybouse
2007	Belkheir	Belkheir	U	Moy	2301	Oued Zimba
2007	Khezaras	Khezaras	U	Moy	789	O/Boussourra
2007	Heliopolis	Heliopolis	U	Moy	2389	Oued Seybouse
2007	Hammam Ouled Ali	Heliopolis	U	Moy	73	Oued Seybouse
2007	Boumahra Ahmed	Boumahra Ahmed	U	Moy	2477	Oued Seybouse
2007	Chorfa Ahmed	Boumahra Ahmed	U		153	Chaaba
2007	Bouhachana	Bouhachana	U	Moy	657	Chaaba
2007	Medjez Amar	Medjez Amar	U	B-Moy	964	Oued Seybouse
2007	Salah Salah Salah	Medjez Amar	U	B-Moy	163	Oued Seybouse
2007	Serfani Salah	Medjez Amar	U	B-Bon	150	Oued Seybouse
2007	Ain Sandal *	Ain Sandal *	U	Bon	216	Chaaba
2007	Ben Djerrah	Ben Djerrah	U	Moy	526	Chaaba
2007	Djaballah Khemissi	Djaballah Khemissi	U	Bon	241	Chaaba
2007	Ras El Agba	Ras El Agba	U	B-Moy	219	Chaaba
2007	Beni Mezline	Beni Mezline	U	Bon	198	Chaaba
2007	Cité Nador	Beni Mezline	U		132	Oued Seybouse
2007	Sellaoua Anouna	Sellaoua Anouna	U	B-Moy	263	Chaaba
2007	Dahouara	Dahouara	U	Moy	252	Chaaba
2007	Hammam N'Bails	Hammam N'Bails	U	Moy	526	Oued Hammam N'bail
2007	Oued Cheham	Oued Cheham	U	Moy	800	Chaaba
2007	Bouguetaya Laid	Oued Cheham		Moy	46	Chaaba
2007	Tagtaga (Kef Errym)	Oued Cheham	U	Moy		Chaaba

ANNEXES

2007	Boucheouf	Boucheouf	U	Moy	1753	Oued Seybouse
2007	Bouaroua	Oued Fragha	U	Moy	357	Oued Seybouse
2007	Bouriachi Youcef	Boucheouf	U	Moy	158	Chaaba
2007	Medjez Sfa	Medjez Sfa	U	Moy	657	Chaaba
2007	Badji Mokhtar	Medjez Sfa	U	Moy	202	Chaaba
2007	Ain Ben Beida	Ain Ben Beida	U	Moy	401	Chaaba
2007	Nouadria	Ain Ben Beida	U	Moy	137	Chaaba, Fosse Septique
2007	Nechmaya	Nechmaya	U	Moy	701	Oued Fragha
2007	Oued Fragha	Oued Fragha	U	Moy	219	Chaaba
2007	Moumena	Oued Fragha	U	Moy	268	Oued Seybouse
2007	Boukamouza	Oued Fragha	U	Moy	349	Oued Seybouse
2007	Sidi Abid	Oued Zenati	U	Moy	150	Oued Seybouse
2007	Bekouche Ahmed	Ain Regada	U	Moy	65	Chaaba
2007	Roknia	Roknia	U	Moy	504	Chaabat
2007	Bouati Mahmoud	Bouati Mahmoud	S	Moy	811	Oued El Hammam
2007	Annabi Tahar	Bouati Mahmoud	U	Moy		Chaaba
2007	Benarbia Sadek	Bouati Mahmoud	U	Moy		Chaaba

Annexe 02. Matrice de corrélation (temps sec).

	MES	O2	NO3	NO2	NH4	PO4	DCO	DBO5	CE	Temp	MO	Cd	Pb
MES	1,000000	0,273026	0,696637	0,240149	0,185754	0,318017	0,465556	0,040579	0,725441	0,137944	0,199649	0,013234	0,081930
O2	0,273026	1,000000	0,805588	0,613348	0,663568	0,142940	0,518637	0,765264	0,071747	0,787049	-0,616355	0,427371	0,545079
NO3	0,696637	0,805588	1,000000	0,294695	0,469894	0,359328	0,150554	0,589340	0,429360	0,633861	-0,357453	0,363778	0,388436
NO2	0,240149	0,613348	0,294695	1,000000	0,777000	0,339538	0,838124	0,584444	0,598766	0,401508	0,736070	0,454237	0,819753
NH4	0,185754	0,663568	0,469894	0,777000	1,000000	0,187819	0,742657	0,833999	0,381127	0,466266	0,728501	0,486890	0,847471
PO4	0,318017	0,142940	0,359328	0,339538	0,187819	1,000000	0,395787	0,115538	0,565579	0,050390	-0,284767	0,133907	0,134810
DCO	0,465556	0,518637	0,150554	0,838124	0,742657	0,395787	1,000000	0,757735	0,598498	0,535392	0,908103	0,550381	0,820944
DBO5	0,040579	0,765264	0,589340	0,584444	0,833999	0,115538	0,757735	1,000000	0,136831	0,674989	0,884198	0,596866	0,755698
CE	0,725441	0,071747	0,429360	0,598766	0,381127	0,565579	0,598498	0,136831	1,000000	0,019781	0,370751	0,085002	0,416339
Temp	0,137944	0,787049	0,633861	0,401508	0,466266	0,050390	0,535392	0,674989	0,019781	1,000000	0,563028	0,160763	0,448311
MO	0,199649	0,616355	0,357453	0,736070	0,728501	0,284767	0,908103	0,884198	0,370751	0,563028	1,000000	0,666982	0,839962
Cd	0,013234	0,427371	0,363778	0,454237	0,486890	0,133907	0,550381	0,596866	0,085002	0,160763	0,666982	1,000000	0,543576
Pb	0,081930	0,545079	0,388436	0,819753	0,847471	0,134810	0,820944	0,755698	0,416339	0,448311	0,839962	0,543576	1,000000

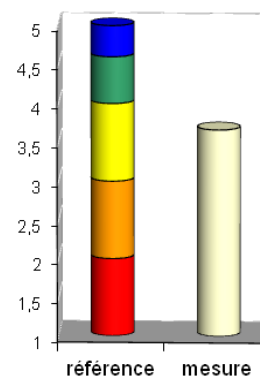
Annexe 03. Matrice de corrélation (temps de pluie).

	MES	O2	NO3	NO2	NH4	PO4	DCO	DBO5	CE	Temp	MO	Cd	Pb
MES	1,000000	0,579616	0,214950	0,091672	0,068851	0,428172	0,200611	0,175178	0,468939	0,193086	0,014356	0,050685	0,083174
O2	0,579616	1,000000	0,055178	0,450395	0,597423	0,021511	0,218159	0,530740	0,331308	0,473925	0,436276	0,574186	0,392417
NO3	0,214950	0,055178	1,000000	0,262961	0,132262	0,655499	0,192869	0,113894	0,567274	0,142906	0,020346	0,044209	0,102329
NO2	0,091672	0,450395	0,262961	1,000000	0,797280	0,087732	0,569006	0,699573	0,226848	0,595055	0,708895	0,762646	0,578007
NH4	0,068851	0,597423	0,132262	0,797280	1,000000	0,308708	0,629815	0,693199	0,086871	0,536254	0,733827	0,753388	0,626213
PO4	0,428172	0,021511	0,655499	0,087732	0,308708	1,000000	0,011975	0,006323	0,702906	0,212283	0,009676	0,194406	0,270712
DCO	0,200611	0,218159	0,192869	0,569006	0,629815	0,011975	1,000000	0,639923	0,280364	0,507344	0,876455	0,485091	0,623044
DBO5	0,175178	0,530740	0,113894	0,699573	0,693199	0,006323	0,639923	1,000000	0,285261	0,488227	0,930855	0,500540	0,411004
CE	0,468939	0,331308	0,567274	0,226848	0,086871	0,702906	0,280364	0,285261	1,000000	0,522366	0,312042	0,220133	0,540227
Temp	0,193086	0,473925	0,142906	0,595055	0,536254	0,212283	0,507344	0,488227	0,522366	1,000000	0,547146	0,676644	0,863805
MO	0,014356	0,436276	0,020346	0,708895	0,733827	0,009676	0,876455	0,930855	0,312042	0,547146	1,000000	0,544287	0,553779
Cd	0,050685	0,574186	0,044209	0,762646	0,753388	0,194406	0,485091	0,500540	0,220133	0,676644	0,544287	1,000000	0,758758
Pb	0,083174	0,392417	0,102329	0,578007	0,626213	0,270712	0,623044	0,411004	0,540227	0,863805	0,553779	0,758758	1,000000

Annexe 04. Les résultats des calculs de l'indice de la pollution organique (Temps sec).

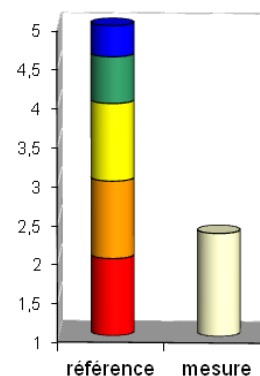
Indicateurs de pollution			
Station O1		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N/l)	698	4	Faible
NO ₂ ⁻ (µg N/l)	9	4	Faible
PO ₄ ³⁻ (µg P/l)	228	3	Modéré
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	18,3	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	3,00	Modérée
	sans DBO5:	3,67	Modérée
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N/l)	0,9		
PO ₄ ³⁻ (µg P/l)	228	3	Modéré

IPO sans DBO5



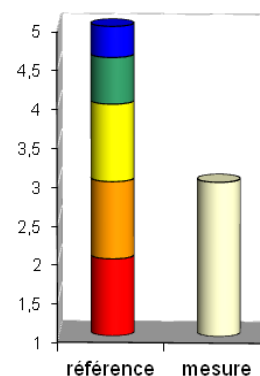
Indicateurs de pollution			
Station O2		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N/l)	3104	2	Forte
NO ₂ ⁻ (µg N/l)	46	3	Modéré
PO ₄ ³⁻ (µg P/l)	685	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	80,0	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	2,00	Forte
	sans DBO5:	2,33	Forte
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N/l)	0,9		
PO ₄ ³⁻ (µg P/l)	685	2	Forte

IPO sans DBO5



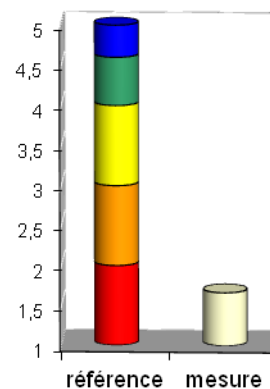
Indicateurs de pollution			
Station O3		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N/l)	2173	3	Modéré
NO ₂ ⁻ (µg N/l)	12	3	Modéré
PO ₄ ³⁻ (µg P/l)	196	3	Modéré
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	24,0	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	2,50	Forte
	sans DBO5:	3,00	Modérée
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N/l)	0,5		
PO ₄ ³⁻ (µg P/l)	196	3	Modéré

IPO sans DBO5



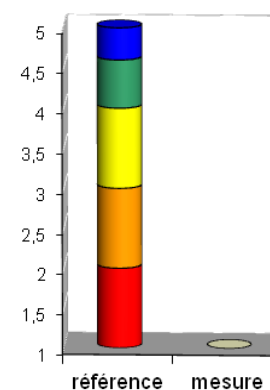
Indicateurs de pollution			
Station O4		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	4967	2	Forte
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	298	1	Très Forte
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	783	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	69,3	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	1,50	Très Forte
	sans DBO5:	1,67	Très Forte
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	2,3		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	783	2	Forte

IPO sans DBO5



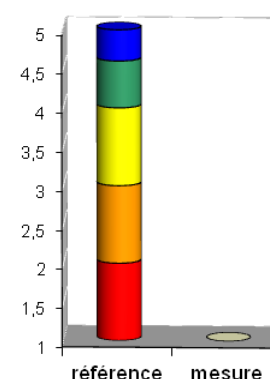
Indicateurs de pollution			
Station O5		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	8195	1	Très Forte
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	377	1	Très Forte
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	1794	1	Très Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	166,0	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	1,00	Très Forte
	sans DBO5:	1,00	Très Forte
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	0,8		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	1794	1	Très Forte

IPO sans DBO5

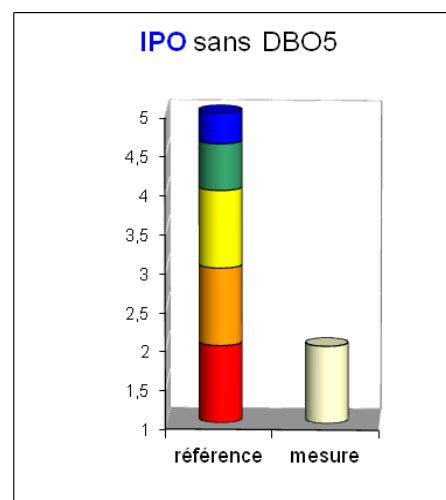


Indicateurs de pollution			
Station O6		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	6053	1	Très Forte
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	247	1	Très Forte
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	1207	1	Très Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	79,5	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	1,00	Très Forte
	sans DBO5:	1,00	Très Forte
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	1,1		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	1207	1	Très Forte

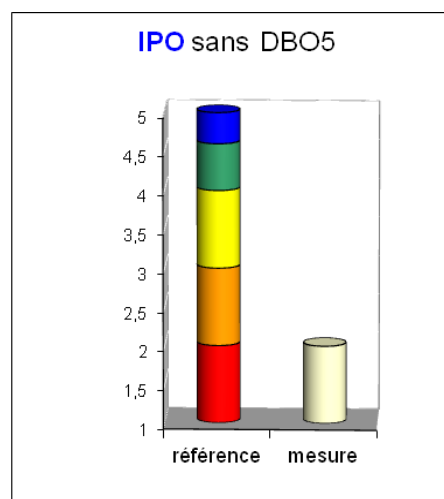
IPO sans DBO5



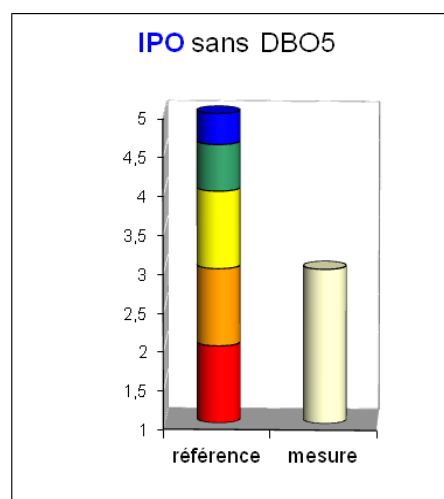
Indicateurs de pollution			
Station O7		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	3880	2	Forte
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	46	3	Modéré
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	913	1	Très Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	30,8	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	1,75	Très Forte
	sans DBO5:	2,00	Forte
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	0,9		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	913	1	Très Forte



Indicateurs de pollution			
Station O8		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	3415	2	Forte
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	149	2	Forte
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	554	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	23,5	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	1,75	Très Forte
	sans DBO5:	2,00	Forte
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	0,9		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	554	2	Forte

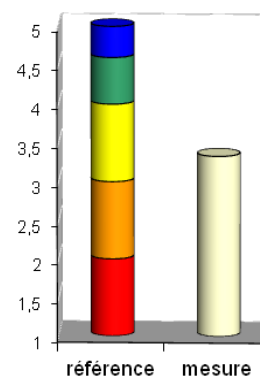


Indicateurs de pollution			
Station O9		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	1506	3	Modéré
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	11	4	Faible
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	538	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	24,1	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	2,50	Forte
	sans DBO5:	3,00	Modérée
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	0,9		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	538	2	Forte



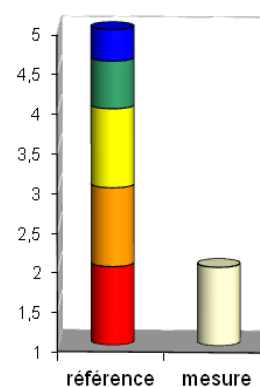
Indicateurs de pollution			
Station O10		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	2080	3	Modéré
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	5	5	Nulle
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	620	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	25,3	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	2,75	Forte
	sans DBO5:	3,33	Modérée
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	1,4		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	489	2	Forte

IPO sans DBO5



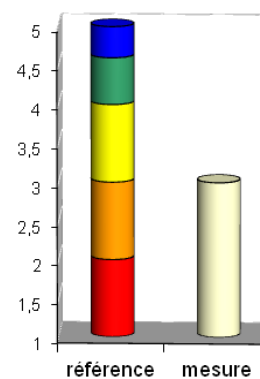
Indicateurs de pollution			
Station O11		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	5991	1	Très Forte
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	27	3	Modéré
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	489	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	110,0	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	1,75	Très Forte
	sans DBO5:	2,00	Forte
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	0,5		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	489	2	Forte

IPO sans DBO5



Indicateurs de pollution			
Station O12		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	2126	3	Modéré
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	8	4	Faible
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	424	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	22,6	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	2,50	Forte
	sans DBO5:	3,00	Modérée
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	1,4		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	424	2	Forte

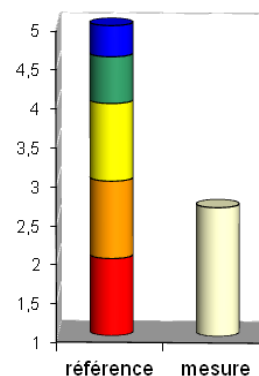
IPO sans DBO5



Annexe 05. Les résultats des calculs de l'indice de la pollution organique (Temps de pluie).

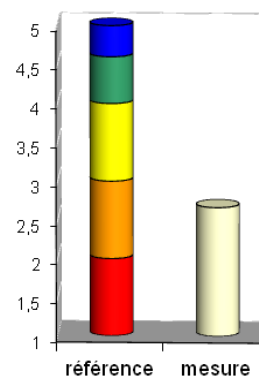
Indicateurs de pollution			
Station O1		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	621	4	Faible
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	37	3	Modéré
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	1011	1	Très Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	8,6	3	Modéré
IPO:	avec DBO5 :	2,75	Forte
	sans DBO5:	2,67	Forte
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	5,0		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	1011	1	Très Forte

IPO sans DBO5



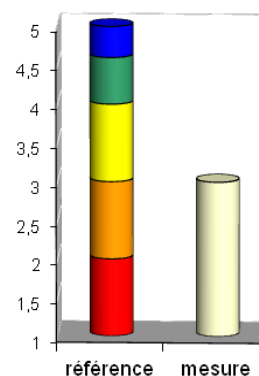
Indicateurs de pollution			
Station O2		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	2328	3	Modéré
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	30	3	Modéré
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	293	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	7,9	3	Modéré
IPO:	avec DBO5 :	2,75	Forte
	sans DBO5:	2,67	Forte
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	2,2		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	424	2	Forte

IPO sans DBO5



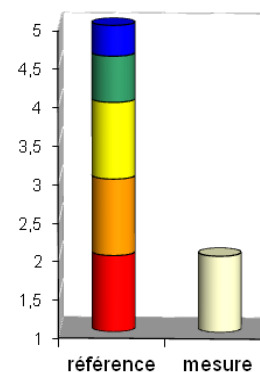
Indicateurs de pollution			
Station O3		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	1397	3	Modéré
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	9	4	Faible
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	535	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	17,7	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	2,50	Forte
	sans DBO5:	3,00	Modérée
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	2,2		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	535	2	Forte

IPO sans DBO5



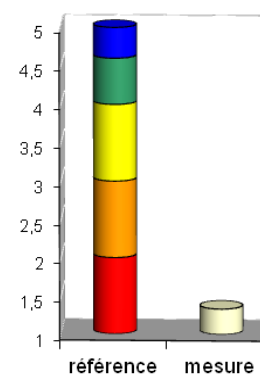
Indicateurs de pollution			
Station O4		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	2716	2	Forte
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	122	2	Forte
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	587	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	44,0	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	1,75	Très Forte
	sans DBO5:	2,00	Forte
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	2,3		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	587	2	Forte

IPO sans DBO5



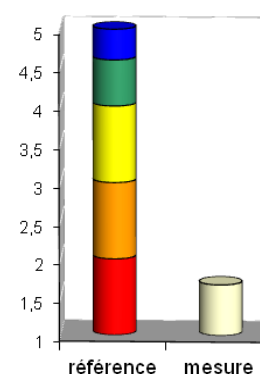
Indicateurs de pollution			
Station O5		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	6208	1	Très Forte
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	244	1	Très Forte
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	900	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	145,0	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	1,25	Très Forte
	sans DBO5:	1,33	Très Forte
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	1,7		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	900	2	Très Forte

IPO sans DBO5

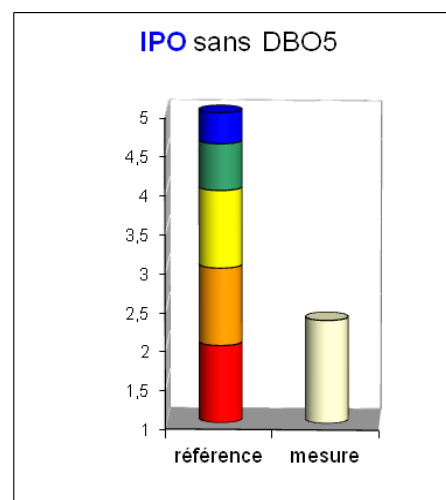


Indicateurs de pollution			
Station O6		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	4346	2	Forte
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	110	2	Forte
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	1200	1	Très Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	23,0	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	1,50	Très Forte
	sans DBO5:	1,67	Très Forte
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	14,6		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	1200	1	Très Forte

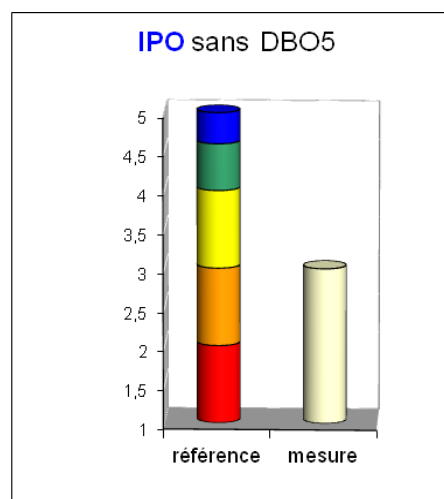
IPO sans DBO5



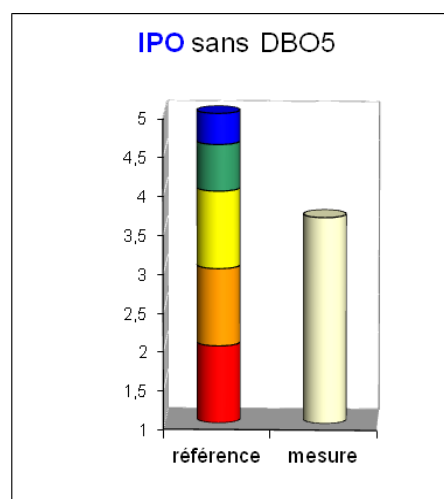
Indicateurs de pollution			
Station O7		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	2794	2	Forte
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	9	4	Faible
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	1109	1	Très Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	36,0	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	2,00	Forte
	sans DBO5:	2,33	Forte
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	10,2		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	1109	1	Très Forte



Indicateurs de pollution			
Station O8		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	2173	3	Modéré
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	5	4	Faible
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	783	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	20,0	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	2,50	Forte
	sans DBO5:	3,00	Modérée
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	5,0		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	783	2	Forte

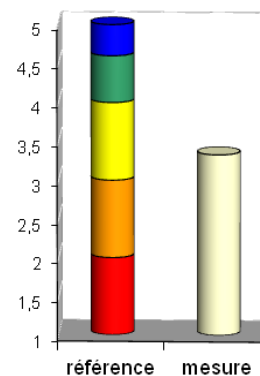


Indicateurs de pollution			
Station O9		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N /l)	388	4	Faible
NO ₂ ⁻ (µg N /l)	3	5	Nulle
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	554	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	15,0	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	3,00	Modérée
	sans DBO5:	3,67	Modérée
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N /l)	2,7		
PO ₄ ³⁻ (µg P /l)	554	2	Forte



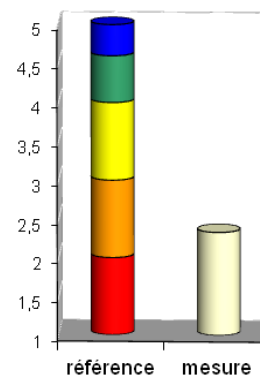
Indicateurs de pollution			
Station O10		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N/l)	698	4	Faible
NO ₂ ⁻ (µg N/l)	6	4	Faible
PO ₄ ³⁻ (µg P/l)	704	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	12,0	2	Forte
IPO:	avec DBO5 :	3,00	Modérée
	sans DBO5:	3,33	Modérée
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N/l)	5,2		
PO ₄ ³⁻ (µg P/l)	704	2	Forte

IPO sans DBO5



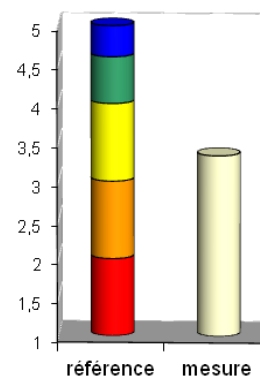
Indicateurs de pollution			
Station O11		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N/l)	4113	2	Forte
NO ₂ ⁻ (µg N/l)	30	3	Modéré
PO ₄ ³⁻ (µg P/l)	897	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	66,0	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	2,00	Forte
	sans DBO5:	2,33	Forte
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N/l)	3,4		
PO ₄ ³⁻ (µg P/l)	897	2	Forte

IPO sans DBO5



Indicateurs de pollution			
Station O12		Classe	Pollution
NH ₄ ⁺ (µg N/l)	1009	3	Modéré
NO ₂ ⁻ (µg N/l)	5	5	Nulle
PO ₄ ³⁻ (µg P/l)	293	2	Forte
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	18,0	1	Très Forte
IPO:	avec DBO5 :	2,75	Forte
	sans DBO5:	3,33	Modérée
Indicateurs d'eutrophisation			
		Classe	Eutrophisation
NO ₃ ⁻ (mg N/l)	5,6		
PO ₄ ³⁻ (µg P/l)	293	2	Forte

IPO sans DBO5



Annexe 06. Grille d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau).

<u>Matières organiques et oxydables</u>	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Oxygène dissous (mg/l)	8	6	4	3	
DCO (mg/l O ₂)	20	30	40	80	
DBO (mg/l O ₂)	3	6	10	25	
Ammonium (mg/l)	0,5	1,5	2,8	6	
<u>Matières phosphate</u>	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Phosphate (mg/l)	0,1	0,5	1	2	
<u>Matières azoté hors nitrates</u>	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Nitrite (mg/l)	0,03	0,3	0,5	1	
Ammonium (mg/l)	0,1	0,5	2	5	
<u>Particules en suspension</u>	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
MES (mg/l)	25	50	100	150	
<u>Minéralisation</u>	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Conductivité (µS/cm)	2500	3000	3500	4000	
Chlorure (mg/l)	62,5	125	190	250	
Sulfate (mg/l)	62,5	125	190	250	
Calcium (mg/l)	24-160	18-230	12-300	500	
Magnésium (mg/l)	50	75	100	400	
Sodium (mg/l)	200	225	250	750	
Potassium (mg/l)	12	13,5	15	70	
<u>Micropolluants minéraux</u>	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Plomb (µg/l)	0,18	1,8	18	350	
<u>Acidification</u>	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
pH	6,5-8,5		8,5-9,2	3-6,5 et 9,2-10	
<u>Nitrates</u>	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Nitrates (mg/l)	2	10	25	50	