

لجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la
Terre et de l'Univers

Département d'Ecologie et Génie de l'Environnement
Laboratoire de Biologie, Eau et Environnement



THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de
Doctorat 3^{ème} cycle en Sciences Biologiques

Option : Santé, Eau et Environnement

Thème

**Contribution à l'étude de la qualité microbiologique
et physico-chimique des eaux d'Oued Seybouse**

Présentée par
REGGAM Asma

Devant le jury:

Président:	KACHI S.	M.C.A	Université de Guelma
Directeur de thèse:	HOUHAMDI M.	Prof.	Université de Guelma
Examineur:	MAOUI A.	Prof.	Université de Guelma
Examineur:	K. KHIARI A.	Prof.	Université d'Oum El-Bouaghi
Examineur:	MEZEDJRI L.	M.C.A	Université de Skikda
Examineur:	LABAR S.	M.C.A	Université d'El-Tarf

Année Universitaire 2014/2015

DEDICACES

Je dédie cette thèse à mes plus chers êtres au monde :

Ma mère et mon père. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A mes chères sœurs: Khadija, Fatiha et Fadhila, ainsi que leurs enfants

A mes chers frères: Bachir et Imad

A toute ma famille, et mes amis surtout « Zinette » et mes collègues

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Asma REGGAM

REMERCIEMENTS

Après avoir rendu grâce à DIEU,

J'adresse mes remerciements les plus chaleureux à :

Mes parents, pour tous le soutien et l'encouragement qu'ils m'avaient donné, mes frères et sœurs.

*Je remercie profondément les deux personnes qui m'ont été pour un énorme soutien: mon directeur de recherches, Monsieur **HOUHAMDI Moussa**, Professeur à l'Université de Guelma pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance, et Monsieur **BOUCHELAGHEM El Hadi**, maître assistant « A » à l'Université de Guelma qui m'a beaucoup encouragé et m'accompagné durant toutes mes sorties sur terrain.*

*Je voudrais également remercier les membres du jury : Monsieur **KACHI Slimane**, maître de conférences « A » à l'Université de Guelma qui a bien voulu présider le jury et Monsieur **MAOUI Amar**, Professeur à l'Université de Guelma, Monsieur **KHIARI Abdelkader**, professeur à l'Université d'Oum El-Bouaghi, Monsieur **MEZEDJRI Lamine**, maître de conférences « A » à l'Université de Skikda et Monsieur **LABAR Sofine**, maître de conférences « A » à l'Université d'El-Tarf pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques.*

Je tiens également à remercier Dr. Patrick Triplet (Syndicat Mixte Baie de Somme, Abbeville).

Je tiens également à remercier Dr. HANNANE Saâd (Centre de Recherche Forestière, Maroc).

Je remercie tout le corps enseignant et doctorants de laboratoire Biologie, Eau et Environnement de l'Université 8 mai 1945 de Guelma pour ces aides précieuses.

Je remercie également toute l'équipe du laboratoire de l'Algérienne des Eaux de Hammam Debagh qui nous ont fourni gracieusement du matériel d'analyse pour mener à bien nos expérimentations sur les paramètres physico chimiques et microbiologiques.

J'exprime toute ma reconnaissance à Messieurs : Abd Elghani ELLAGOUNE, Chef de Station (ADE) et Salah AMRAOUI chef de labo, pour avoir bien accueilli et facilité mon intégration.

Que Monsieur, Mahdi BOUKERDDINE, Mesdemoiselles, Mebarka BAOUT et Samira BOUCHEBOUT, Mesdames; Nawel REGIMI, Radia CHOUAREF, Amel FISLI, Wahiba DRIDRI, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude pour m'avoir accueillie dans leur laboratoire et m'avoir offert les moyens et beaucoup de facilités techniques dans mes expériences.

Toutes les personnes qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce document.

Je voudrais remercier notre responsable de Laboratoire de Biologie, Eau et Environnement Liela ABAS, fidèle complice et compagnon mémorable pour ses soutiens multiformes et pour la bonne ambiance dans laquelle elle nous a permis de travailler.

Je tiens également à remercier Monsieur Abd Elghani REGGAM.

Je remercie toute notre famille pour sa patience durant toutes ces années.

*Et enfin, je tiens à remercier tous les amis qui m'ont aidée et encouragée pour réaliser cette thèse, je cite spécialement : **Zinette, Fadhila, Meriem, Soumia et Imen.***

TABLE DES MATIERES

Dédicace	
Remerciements	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des sigles et abréviation	
Introduction générale.....	1
 CHAPITRE 1 : DESCRIPTION DE L’AIRE D’ETUDE	
1.1. Description du bassin versant.....	3
1.1.1. Situation géographique.....	3
1.1.2. Réseau hydrographique	4
1.1.3. Aperçu socio-économique.....	5
1.1.3.1. Agriculture	5
1.1.3.2. Industrie.....	6
1.1.3.3. Population.....	6
1.1.4. Aspect géomorphologique.....	8
1.1.4.1. Le Bassin de la Seybouse moyenne	8
1.1.4.2. Le Bassin de la Seybouse maritime.....	9
1.1.5. Couvert végétal	9
1.1.6. Aspect géologique	9
1.1.6.1. Unités géologiques	9
A. Atlas Saharien.....	9
B. Atlas Tellien	9
C. Chaîne Numidique.....	10
D. Massif de l’Edough	10
1.1.6.2. Les grands ensembles lithologiques.....	10
A. La moyenne Seybouse.....	10
B. La basse Seybouse	11
1. 2. Cadre climatologique	11
1.2.1. Station des mesures	11
1.2.2. Facteurs climatiques.....	11
1.2.2.1. Température	11
A. Station de Guelma	12
B. Station d’Annaba	13
1.2.2.2. Précipitation	14
A. Station de Guelma	15
B. Station d’Annaba	17
1.2.2.3. Humidité relative.....	19
A. Station de Guelma	19
B. Station d’Annaba	19

1.2.2.4. Vent	20
A. Station de Guelma	20
B. Station d' Annaba	20
1.2.3. Relation température et précipitation	21
1.2.3.1. L'indice d'aridité	21
1.2.3.2. Diagramme pluvio-thermique	21
A. Station de Guelma	22
B. Station d' Annaba	22
1.2.3.3. Synthèse climatique.....	23
1.2.4. Bilan hydrique	25
1.2.4.1. Evapotranspiration selon la méthode de Thornthwaite	25
A. Estimation de l'ETP	25
B. Estimation du ruissellement.....	28
C. Estimation de l'infiltration	29
Conclusion.....	29

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

2.1. Echantillonnage	31
2.1.1. Site et période de prélèvement	31
2.1.2. Matériel de prélèvement	33
2.1.3. Méthode de prélèvement	34
2.1.4. Transport et conservation au laboratoire.....	34
2.2. Méthode d'analyses.....	34
2.2.1. Différentes paramètres	34
2.2.1.1. Paramètres organoleptiques	35
A. Turbidité	35
2.2.1.2. Paramètres physico-chimiques	36
A. pH	36
B. Température.....	36
C. Conductivité.....	36
D. Salinité.....	37
E. Potentiel redox	37
F. Oxygène dissous	37
2.2.1.3. Paramètres de minéralisation globale.....	38
A. Dureté totale	38
B. Calcium (Ca^{2+}).....	38
C. Magnésium (Mg^{2+})	39
D. Chlorure (Cl^-)	39
E. Potassium (K^+).....	40
F. Sulfate (SO_4^{3-})	40
J. Résidu sec	41
2.2.1.4. Paramètres concernant des substances indésirables.....	41
A. Nitrate (NO_3^-)	41
B. Nitrite (NO_2^-)	42
C. Ammonium (NH_4^+):	42
D. Phosphate (PO_4^{3-})	43
E. Matière en suspension.....	43
F. Matière organique	43

2.2.1.5. Paramètres Microbiologiques.....	44
A. Recherche et dénombrement des germes aérobies revivifiables à 22°C et 37°C.....	44
B. Recherche et dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale	45
C. Recherche des micro-organismes pathogènes	49
D. Recherche des Levures	54
E. Antibiogramme	56
2.2.1.6. Analyses statistiques	57

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Analyses Physico-chimiques.....	58
3.1.1. Evolution spatio-temporelle	58
3.1.1.1. Evolution temporelle des paramètres Physico-chimiques.....	58
A. Paramètres organoleptiques.....	58
B. Paramètres Physico-chimiques	59
C. Paramètres minéralisations globales.....	63
D. Paramètres de pollution	66
3.1.1.2. Evolution spatiale des paramètres Physico-chimiques.....	69
A. Paramètres organoleptiques.....	69
B. Paramètres Physico-chimiques	69
C. Paramètres minéralisations globales.....	72
D. Paramètres de pollution	75
3.1.2. Traitement statistiques des données	77
3.1.2.1. Statistiques élémentaires	77
A. Paramètres physico-chimiques	77
B. Eléments de la pollution	80
C. Cycle de l'azote	83
D. Autres éléments de pollution	85
3.1.2.2. Analyse explicative	85
A. Analyse en composantes principales.....	86
B. Analyse factorielle	106
3.2. Analyses Microbiologiques.....	112
3.2.1. Résultats des dénombrements des microorganismes de l'eau.....	112
3.2.1.1. Germes totaux	112
3.2.1.2. Coliformes totaux	113
3.2.1.3. Coliformes fécaux	114
3.2.1.4. Streptocoques fécaux.....	114
3.2.1.5. Anaérobies sulfito-réductrices.....	115
3.2.2. Identification des souches bactériennes	115
3.2.2.1. Caractères morphologiques et coloration de Gram	115
3.2.2.2. Résultats de l'identification biochimique.....	117
3.2.2.3. Evaluation de l'Antibiorésistance	119
A. Antibiorésistance des Entérobactéries.....	119
B. Antibiorésistance des Streptocoques	122
C. Antibiorésistance des Staphylocoques.....	124

3.2.3. Origine de la contamination fécale.....	128
3.2.4. Recherche des levures	129
3.2.4.1. Caractères morphologiques et coloration Bleu de Méthylène	129
3.2.4.2. Identification biochimique des levures	130
A. Test de Chlamydosporulation.....	130
B. API 20 C aux	130
Conclusion générale	132
Références bibliographiques	134
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Annexes	

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 1

Tableau 1: Répartition par surface des sous bassins de la Seybouse.....	3
Tableau 2: Présentation des différentes cultures par secteur.	6
Tableau 3: Répartition de la population	7
Tableau 4: Montagnes de la Wilaya de Guelma	8
Tableau 5: Coordonnées des stations météorologiques et périodes d'observation.....	11
Tableau 6: Températures moyennes mensuelles de la station de Guelma (1994-2013).....	12
Tableau 7: Evaluation des températures mensuelles de la région d'étude (Station de Guelma /Années 1994- 2013).....	Annexe
Tableau 8: Températures moyennes mensuelles de la station d'Annaba (2004-2013).....	13
Tableau 9: Précipitations moyennes mensuelles de la station de Guelma (1994-2013).....	15
Tableau 10: Précipitations moyennes saisonnières de la station de Guelma (1994-2013).....	16
Tableau 11: Précipitations moyennes mensuelles de la station d'Annaba (2004-2013).....	17
Tableau 12: Précipitations moyennes saisonnières de la station d'Annaba (2004-2013).....	18
Tableau 13: Evaluation mensuelle des humidités relatives de la région d'étude (Station de Guelma/1994-2013).	Annexe
Tableau 14: Variations moyennes mensuelles des vents à la station de Guelma (Années 1994-2013).....	20
Tableau 15: Variations moyennes mensuelles des vents à la station d'Annaba (Années 2004-2013).....	20
Tableau 16: Température moyenne mensuelle et précipitation moyenne mensuelle (Station Guelma/1994-2013).....	Annexe
Tableau 17: Bilan hydrique de Thornthwaite de la station de Guelma (1994-2013).....	26
Tableau 18: Bilan hydrique de Thornthwaite de la station d'Annaba (2004-2013).....	27

CHAPITRE 2

Tableau 19: Caractéristiques morpho dynamiques moyennes des stations étudiées	32
Tableau 20: Description des stations étudiées et leurs caractéristiques biotiques et abiotiques.....	33
Tableau 21: Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique	37
Tableau 22: Qualité de l'eau en fonction de la dureté	38
Tableau 23: Identification Biochimique	50

CHAPITRE 3

Tableau 24: Variations du pH (2012-2013)	77
Tableau 25: Variations de la température (2012-2013)	78
Tableau 26: Variations de la conductivité électrique (2012-2013).....	78
Tableau 27: Variations de la salinité (2012-2013).....	79
Tableau 28: Variations de l'oxygène dissous (2012-2013)	79
Tableau 29: Variations du potentiel redox (2012-2013).....	79
Tableau 30: Variations de TH (2012-2013).....	80
Tableau 31: Variations des teneurs en calcium (2012-2013).....	80
Tableau 32: Variations des teneurs en magnésium (2012-2013).....	81
Tableau 33: Variations des teneurs en chlorures (2012-2013)	81
Tableau 34: Variations des teneurs en potassium (2012-2013)	82
Tableau 35: Variations des teneurs en sulfates (2012-2013)	82
Tableau 36: Variations du résidu sec (2012-2013)	83
Tableau 37: Variations de la matière en suspension (2012-2013).....	83
Tableau 38: Variations des concentrations en nitrates (2012-2013).....	84
Tableau 39: Variations des concentrations en nitrites (2012-2013)	84
Tableau 40: Variations des concentrations en ion d'ammonium (2012-2013).....	84
Tableau 41: Variations des concentrations en phosphate (2012-2013)	85
Tableau 42: Variations des concentrations en matière organique (2012-2013).....	85
Tableau 43: Matrice de corrélation entre les variables (janvier 2012)	86
Tableau 44: Valeurs propres et variance des facteurs (janvier 2012).....	87
Tableau 45: Corrélations entre les variables et les axes principaux (janvier 2012).....	88
Tableau 46: Matrice de corrélation entre les variables (avril 2012)	89
Tableau 47: Valeurs propres et variance des facteurs (avril 2012).....	90
Tableau 48: Corrélations entre les variables et les axes principaux (avril 2012)	90
Tableau 49: Matrice de corrélation entre les variables (juillet 2012)	92
Tableau 50: Valeurs propres et variance des facteurs (juillet 2012).....	92
Tableau 51: Corrélations entre les variables et les axes principaux (juillet 2012)	93
Tableau 52: Matrice de corrélation entre les variables (octobre 2012).....	94
Tableau 53: Valeurs propres et variance des facteurs (octobre 2012)	94
Tableau 54: Corrélations entre les variables et les axes principaux (octobre 2012).....	95
Tableau 55: Matrice de corrélation entre les variables (janvier 2013)	96
Tableau 56: Valeurs propres et variance des facteurs (janvier 2013).....	97
Tableau 57: Corrélations entre les variables et les axes principaux (janvier 2013).....	97
Tableau 58: Matrice de corrélation des différents paramètres physico-chimiques (avril 2013).....	98
Tableau 59: Valeurs propres et variance des facteurs (avril 2013).....	99
Tableau 60: Corrélations entre les variables et les axes principaux (avril 2013)	100
Tableau 61: Valeurs propres et variance des facteurs (juillet 2013).....	101
Tableau 62: Matrice de corrélation des différents paramètres physico-chimiques (juillet 2013).....	102
Tableau 63: Corrélations entre les variables et les axes principaux (juillet 2013)	103
Tableau 64: Matrice de corrélation des différents paramètres physico-chimiques (octobre 2013).....	104
Tableau 65: Valeurs propres et variance des facteurs (octobre 2013)	105
Tableau 66: Corrélations entre les variables et les axes principaux (octobre 2013).....	105
Tableau 67: Variance totale expliquée des variables étudiées pour toutes les stations.	107
Tableau 68: Coefficients de corrélation entre les variables et les 4 premières composantes.	108
Tableau 69: Tests des effets inter-sujets (PC1).....	110
Tableau 70: Tests des effets inter-sujets (PC2).....	110
Tableau 71: Tests des effets inter-sujets (PC3).....	111

Tableau 72: Tests des effets inter-sujets (PC4).....	112
Tableau 73: Caractères macroscopiques et microscopiques des colonies bactériennes	116
Tableau 74: Résultats de l'identification par la galerie API 20 E.....	117
Tableau 75: Résultats de l'identification par la galerie API Strepto.....	118
Tableau 76: Résultats de l'identification par la galerie API Staph.....	118
Tableau 77: Résultat de l'antibiogramme <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	119
Tableau 78: Résultat de l'antibiogramme <i>Burkholderia cepacia</i>	119
Tableau 79: Résultat de l'antibiogramme <i>Serratia fonticola</i>	120
Tableau 80: Résultat de l'antibiogramme <i>Salmonella arizonae</i>	121
Tableau 81: Résultat de l'antibiogramme <i>Chryseomonas luteola</i>	121
Tableau 82: Résultat de l'antibiogramme <i>Enterococcus faecium</i>	122
Tableau 83: Résultat de l'antibiogramme <i>Enterococcus faecalis</i>	123
Tableau 84: Résultat de l'antibiogramme <i>Enterococcus gallinarum</i>	123
Tableau 85: Résultat de l'antibiogramme <i>Staphylococcus aureus</i>	124
Tableau 86: Résultat de l'antibiogramme <i>Kocuria varians</i>	125
Tableau 87: Résultat de l'antibiogramme <i>Staphylococcus caprae</i>	125
Tableau 88: Résultat de l'antibiogramme <i>Staphylococcus sciuri</i>	126
Tableau 89: Résultat de l'antibiogramme <i>Micrococcus spp</i>	127
Tableau 90: Résultat de l'antibiogramme <i>Staphylococcus chromogenes</i>	127
Tableau 91: Détermination de la source de pollution à partir du rapport Coliformes fécaux/Streptocoques fécaux.....	129
Tableau 92: Caractères macroscopiques et microscopiques des levures.....	129
Tableau 93: Résultats de l'identification par la galerie API 20 C AUX.....	131

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 1

Figure 1: Le bassin hydrographique de la Seybouse.....	4
Figure 2: Réseau hydrographique du bassin de la Seybouse	5
Figure 3: Carte de population dans la moyenne et basse Seybouse.....	7
Figure 4: Relief de la Wilaya de Guelma.....	8
Figure 5: Variation des températures moyennes mensuelles dans la station de Guelma durant la période (1994-2013).....	12
Figure 6: Courbe d'évaluation des températures de la région d'étude (années 1994-2013).....	13
Figure 7: Variation des températures moyennes mensuelles dans la station D'Annaba durant la période (2004-2013).....	14
Figure 8: Courbe d'évaluation des températures de la région d'étude (années 2004-2013).....	14
Figure 9: Variations des précipitations moyennes mensuelles de la station de Guelma (1994-2013).....	15
Figure 10: Variations des précipitations annuelles de la station de Guelma (1994-2013)	15
Figure 11: Variations des précipitations moyennes saisonnières de la station de Guelma (1994-2013).....	16
Figure 12: Variations inter-annuelles des précipitations mensuelles de la station de Guelma (1994- 2013).....	16
Figure 13: Variations des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Annaba (2004-2013).....	17
Figure 14: Variations des précipitations annuelles de la station d'Annaba (2004-2013).	17
Figure 15: Variations des précipitations moyennes saisonnières de la station d'Annaba (1994-2013).....	18
Figure 16: Variations inter-annuelles des précipitations mensuelles de la station d'Annaba (2004-2013).....	18
Figure 17: Evaluation mensuelle des humidités relatives de la station de Guelma (1994-2013).....	19
Figure 18: Evaluation mensuelle des humidités relatives de la station d'Annaba (2004-2013).....	19
Figure 19: Variations moyennes mensuelles des vents à la station de Guelma (Années 1994-2013).....	20
Figure 20: Variations moyennes mensuelles des vents à la station d'Annaba (Années 2004-2013).....	21
Figure 21: Régime pluvio-thermique de la région de Guelma (1994-2013)	22
Figure 22: Régime pluvio-thermique de la région d'Annaba (2004-2013)	23
Figure 23: Climagramme d'Emberger de la région d'étude.....	24
Figure 24: Représentation graphique du bilan hydrique de Thornthwaite de Guelma (1994-2013).....	27
Figure 25: Représentation graphique du bilan hydrique de Thornthwaite d'Annaba (2004-2013).....	27

CHAPITRE 2

Figure 26: Bassin versant de la Seybouse et sites de prélèvement	32
Figure 27: Turbidimètre	35
Figure 28: Mannitol positif	53

CHAPITRE 3

Figure 29: Variation temporelle de la Turbidité au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.....	58
Figure 30: Variation temporelle du pH au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	59
Figure 31: Variation temporelle de la température au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.....	60
Figure 32: Variation temporelle de la conductivité électrique au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	60
Figure 33: Variation temporelle de la salinité au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	61
Figure 34: Variation temporelle de l'oxygène dissous (mg /l) au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	61
Figure 35: Variation temporelle de potentiel redox au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	62
Figure 36: Variation temporelle de la matière en suspension au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	62
Figure 37: Variation temporelle du résidu sec au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	63
Figure 38: Variation temporelle du titre hydrotimétrique au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	63
Figure 39: Variation temporelle de calcium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.....	64
Figure 40: Variation temporelle de magnésium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	64
Figure 41: Variation temporelle des chlorures au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	65
Figure 42: Variation temporelle des sulfates au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.....	65
Figure 43: Variation temporelle du potassium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	66
Figure 44: Variation temporelle des nitrates au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	66
Figure 45: Variation temporelle des nitrites au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.....	67
Figure 46: Variation temporelle des ions d'ammonium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	67
Figure 47: Variation temporelle des phosphates au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	68
Figure 48: Variation temporelle de la matière organique au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	68
Figure 49: Variation Spatiale de la Turbidité au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.....	69
Figure 50: Variation Spatiale du pH au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.....	69
Figure 51: Variation Spatiale de la Température au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	70
Figure 52: Variation Spatiale de la conductivité électrique au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	70
Figure 53: Variation Spatiale de la Salinité au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.....	71
Figure 54: Variation Spatiale de l'oxygène dissous (mg/l) au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	71
Figure 55: Variation Spatiale de potentiel redox au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.....	71
Figure 56: Variation Spatiale de la MES au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.....	72
Figure 57: Variation Spatiale du RS au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.....	72
Figure 58: Variation Spatiale du TH au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	73
Figure 59: Variation Spatiale de calcium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	73
Figure 60: Variation Spatiale de magnésium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	73
Figure 61: Variation Spatiale des chlorures au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	74
Figure 62: Variation Spatiale des sulfates au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	74
Figure 63: Variation Spatiale de potassium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.....	75

Figure 64: Variation spatiale des nitrates au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	75
Figure 65: Variation spatiale des nitrites au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.....	76
Figure 66: Variation spatiale des ions d'ammonium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.....	76
Figure 67: Variation spatiale des phosphates au niveau de l'eau de l'oued Seybouse	76
Figure 68: Variation spatiale de la matière organique au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.....	77
Figure 69: Valeurs propres et variance des facteurs (janvier 2012)	87
Figure 70: Cercle (I-II) des variables et plan (I-II) des individus (Janvier 2012).....	88
Figure 71: Evolution de la turbidité en fonction de la MES	89
Figure 72: Valeurs propres et variance des facteurs (avril 2012)	90
Figure 73: Cercle (I-II) des variables et plan (I-II) des individus (Avril 2012).....	91
Figure 74: Evolution de la conductivité électrique en fonction de la matière organique	91
Figure 75: Valeurs propres et variance des facteurs (juillet 2012)	92
Figure 76: Cercle (I-II) des variables et Plan (I-II) des individus (juillet 2012).....	93
Figure 77: Valeurs propres et variance des facteurs (octobre 2012).....	95
Figure 78: Cercle (I-II) des variables et plan (I-II) des individus (octobre 2012)	96
Figure 79: Evolution des nitrites en fonction de phosphate.....	96
Figure 80: Valeurs propres et variance des facteurs (janvier 2013)	97
Figure 81: Cercle (I-II) des variables et plan (I-II) des individus (janvier 2013).....	98
Figure 82: Evolution de la conductivité en fonction de la température	99
Figure 83: Valeurs propres et variance des facteurs (avril 2013)	99
Figure 84: Cercle (I-II) des variables (avril 2013) et Plan (I-II) des individus (avril 2013).....	100
Figure 85: Valeurs propres et variance des facteurs (juillet 2013)	101
Figure 86: Cercle (I-II) des variables et plan (I-II) des individus (juillet 2013).....	103
Figure 87: Evolution des nitrates en fonction de phosphore.....	104
Figure 88: Valeurs propres et variance des facteurs (octobre 2013).....	105
Figure 89: Cercle (I-II) des variables et plan (I-II) des individus (octobre 2013)	106
Figure 90: Variation des composantes par stations.....	109
Figure 91: Variation des composantes par saisons	109
Figure 92: Variation des composantes par années	111
Figure 93: Variations saisonnières des germes totaux à 22°C (GT) (E) et des germes totaux à 37°C (GT) (F) au niveau des eaux de l'oued Seybouse	113
Figure 94: variations saisonnières des Coliformes totaux (CT) au niveau des eaux de l'oued Seybouse.	113
Figure 95: variations saisonnières des Coliformes fécaux (CF) au niveau des eaux de l'oued Seybouse	114
Figure 96: variations saisonnières des Streptocoques fécaux (SF) au niveau des eaux de l'oued Seybouse.	114
Figure 97: variations saisonnières des ASR au niveau des eaux de l'oued Seybouse.....	115
Figure 98: Profil biochimique de la souche <i>Serratia odorifera</i>	Annexe
Figure 99: Profil biochimique de la souche <i>Burkholderia cepacia</i>	Annexe
Figure 100: Profil biochimique de la souche <i>Klebsiella oxytoca</i>	Annexe
Figure 101: Profil biochimique de la souche <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Annexe
Figure 102: Profil biochimique de la souche <i>Aeromonas hydrophila gr. 1</i>	Annexe
Figure 103: Profil biochimique de la souche <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	Annexe
Figure 104: Profil biochimique de la souche <i>Aerococcus viridans 1</i>	Annexe
Figure 105: Profil biochimique de la souche <i>Enterococcus faecium</i>	Annexe
Figure 106: Profil biochimique de la souche <i>Aerococcus viridans 2</i>	Annexe
Figure 107: Profil biochimique de la souche <i>Staphylococcus hominis</i>	Annexe
Figure 108: Profil biochimique de la souche <i>Staphylococcus aureus</i>	Annexe
Figure 109: Profil biochimique de la souche <i>Kocuria varians /rosea</i>	Annexe
Figure 110: Profil biochimique de la souche <i>Staphylococcus hyicus</i>	Annexe
Figure 111: Profil biochimique de la souche <i>Aeromonas hydrophila/caviae</i>	Annexe

Figure 112: Taux de résistance de <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	119
Figure 113: Taux de résistance de <i>Burkholderia cepacia</i>	120
Figure 114: Taux de résistance de <i>Serratia fonticola</i>	120
Figure 115: Taux de résistance de <i>Salmonella arizonae</i>	121
Figure 116: Taux de résistance de <i>Chryseomonas luteola</i>	122
Figure 117: Taux de résistance d' <i>Enterococcus faecium</i>	122
Figure 118: Taux de résistance d' <i>Enterococcus faecalis</i>	123
Figure 119: Taux de résistance d' <i>Enterococcus gallinarum</i>	124
Figure 120: Taux de résistance de <i>Staphylococcus aureus</i>	124
Figure 121: Taux de résistance de <i>Kocuria varians</i>	125
Figure 122: Taux de résistance de <i>Staphylococcus caprae</i>	126
Figure 123: Taux de résistance de <i>Staphylococcus sciuri</i>	126
Figure 124: Taux de résistance de <i>Micrococcus spp</i>	127
Figure 125: Taux de résistance de <i>Staphylococcus chromogenes</i>	128
Figure 126: Test de Chlamydosporulation.....	130
Figure 127: Profil biochimique de la souche <i>Candida ciferri</i>	130
Figure 128: Profil biochimique de la souche <i>Candida inconspicua</i>	130
Figure 129: Profil biochimique de la souche <i>Cryptococcus laurentii</i>	130
Figure 130: Profil biochimique de la souche <i>Cryptococcus magnoliae</i>	130
Figure 131: Profil biochimique de la souche <i>Cryptococcus albidus 2</i>	131
Figure 132: Profil biochimique de la souche <i>Trichosporom cutaneum</i>	131

LISTE DES SIGNES ET ABREVIATION

EBV : Etage bioclimatique de végétation

TGEA: Gélose Tryptone Glucose Agar

ONPG: Ortho NitroPhénol Galactoperanozide

TH: Titre Hydrométrique (dureté totale)

UFC: Unité Formant Colonies

AAF: Aéro-anaérobie Facultatif.

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

PCB: Pomme de terre – Carottes - Bile

T°C: Température

MES: Matière en suspension

RS: résidu sec

CE: Conductivité électrique

MO: Matière organique

ASR: Anaérobie sulfite réducteur

ETP: évapotranspiration potentielle

ETR: évapotranspiration réelle

RFU: réserve facilement utilisable

Da: déficit agricole

BH: bilan hydrique

SE: Surplus d'eau

RS: Recharge du sol

ES: Epuisement du stock

NA: Acide nalidixique

AM: Ampicilline

CS: Colistine

CTX: Cefataxime

PT: Pristinamycine

P: Pinicilline

CZ: Cefazoline

GM: Gentamicine

AMX: Amoxicilline

OX: Oxacilline

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une ressource naturelle précieuse et essentielle pour de multiples usages (domestiques, industriels et agricoles). Sa qualité est un facteur influençant l'état de santé et la mortalité de l'humain et des animaux (Kazi *et al.*, 2009). L'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais, des pesticides et le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement conduisent à un déséquilibre de l'écosystème et génèrent des éléments polluants qui peuvent affecter la qualité physico-chimique et biologique des milieux aquatiques récepteurs (Mullis *et al.*, 1997). Plusieurs cas de pollution ont déjà fait l'objet de nombreuses études et publications dans des journaux internationaux (Chaffai H. et Mourdi W., 2011 ; Remili et Kerfouf, 2013 ; Keumean *et al.*, 2013) .

La pollution de l'eau d'origine agricole est généralement liée aux nitrates ou aux phosphates. Elle peut être aussi liée à la présence de fortes concentrations de pesticides (herbicides, insecticides et fongicides) qui sont souvent difficiles à identifier et à quantifier (Carluer *et al.*, 1996). Le dosage et la quantification des paramètres physico-chimiques de l'eau sont dès lors considérés comme les principes les plus importants dans l'identification de la nature, de la qualité et du type de l'eau pour des écosystèmes aquatiques (Abdo, 2005). Au niveau de l'Est de l'Algérie, les activités industrielles sont en expansion et leurs déchets sont rejetés directement dans les cours d'eau naturels. Ces actions affectent directement la qualité de l'eau et provoquent des modifications plus ou moins marquées sur les communautés vivantes (Belhanachi, 2003).

L'influence anthropique sur l'un des grands oueds de l'Algérie orientale, l'Oued Seybouse, se manifeste par des activités très diverses liées souvent aux activités des agglomérations installées tout le long de ce cours d'eau (trois wilayas : Guelma, El-Tarf et Annaba) et aux activités agricoles qui sont pratiquées sur l'ensemble du bassin versant ou directement dans les petites parcelles aux bordures de cet écosystème (Djabri *et al.*, 2012). De plus, les eaux usées de l'ensemble des trois wilayas avec leurs communes sont déversées d'une façon précaire et sans traitement préalable dans l'oued. Ces rejets contiennent des concentrations importantes de micropolluants organiques, de nutriments et de métaux lourds toxiques et entraînent ainsi une dégradation considérable de la qualité des eaux de ce écosystème lotique (Debieche, 2002). Ainsi, l'eau de ce milieu connaît depuis plusieurs années une dégradation notable de ses qualités physico-chimique et biologique.

Plusieurs études ont déjà été réalisées sur les eaux de surfaces dont des mémoires de magister et des thèses de Doctorat, ces dernières indiquant les différents effets des rejets industriels et urbains sur l'évolution de la qualité des eaux de surface et la pollution des écosystèmes aquatiques continentaux (Djabri, 1996; Bennasser *et al.*, 1997; Teixeira *et al.*, 1999; Walling *et al.*, 2001 ; Debieche, 2002). Dans cette étude, nous allons approfondir ces études et essayer de répondre aux questions suivantes :

- Quel est l'état actuel de la qualité chimique des eaux superficielles?
- Quels sont les différents polluants chimiques existant dans l'eau ainsi que leur origine ?
- Et enfin, quels sont les différents microorganismes (bactéries indicatrices de contamination fécale, bactéries pathogènes, levures et champignons) existant dans l'eau ainsi que leur origine.

Pour répondre à ces questions, un suivi mensuel de la chimie des eaux de surface a été réalisé et un suivi saisonnier de la microbiologie des eaux a été effectué pendant les années 2012 et 2013. Plusieurs outils (physico-chimie, microbiologie et statistique) ont été utilisés afin d'interpréter les données.

L'objectif de cette étude est donc d'évaluer, d'une part le degré de pollution qui affecte l'eau de l'Oued Seybouse, de déterminer les causes possibles de cette pollution et leurs influences sur l'évolution des paramètres physico-chimiques et d'autre part d'étudier la typologie de la pollution de l'eau de l'oued par la méthode de l'Analyse en Composantes Principales qui a été largement utilisée dans de très nombreux domaines se rapportant à l'environnement afin de mettre en évidence les associations entre les individus et les variables (Wenning et Erickson, 1994) et déterminer les influences saisonnières et anthropiques sur les cours d'eau (Gomez, 1998; Perona *et al.*, 1999; Sakia *et al.*, 2000; Petersen *et al.*, 2001).

Nous projetons dans cette étude de déterminer la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau de ce hydro système. Les méthodes utilisées pour la réalisation de ce travail reposent sur :

- La recherche d'éventuelles bactéries pathogènes (aérobies et/ou anaérobies) dans l'eau.
- Un dénombrement microbien avec la détermination du degré de contamination fécale.
- Enfin, déterminer le taux des différents éléments (physico-chimie) qui influencent directement la prolifération microbienne dans l'eau

CHAPITRE 1

PRESENTATION DE L' AIRE D' ETUDE

1.1. Description du bassin versant:

1.1.1. Situation géographique :

Le bassin hydrographique du Constantinois-Seybouse-Mellegue est situé dans la partie Nord-Est algérienne. Il couvre une superficie de 43,000 Km². Il englobe 14 wilayas (départements):

- 9 en totalité: Annaba, Tarf, Skikda, Jijel, Constantine, Guelma, Souk-Ahras, Oum-El-Bouaghi, Mila,
- 5 partiellement : Batna, Béjaïa, Khenchela, Sétif et Tébessa.

La population totale de la région est de 5.458.700 habitants. Le Bassin Hydrographique Constantinois- Seybouse- Mellegue comporte (5) cinq bassins principaux:

1. Côtiers Constantinois : 11509 km² : Est, Centre, Ouest.
2. Kebir Rhumel : 8811 km².
3. Seybouse : 6471 km².
4. Hauts Plateaux Constantinois : 9615 km².
5. Medjerda-Mellegue : 7942 km².

La zone d'étude est située au Nord-est Algérien, est une partie intégrante du bassin versant de l'Oued Seybouse. Ce bassin est limité au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par le prolongement oriental du système aquifère Annaba-Bouteldja et les monts de Nador N'bail, à l'Ouest par le massif de l'Edough, les monts de Houara et Débagh et au Sud par les monts de Mahouna, Ain larbi et sedrata, est divisé en six sous-bassins principaux (Tableau 1). C'est le bassin le plus vaste, après celui de la Medjerda, de la partie orientale de l'Afrique du Nord Blayac (1912).

Tableau 1 : Répartition par surface des sous bassins de la Seybouse.

Sous Bassins	Superficie (km ²)	Caractère général
14-01	1739	Haut Seybouse
14-02	1166	Moyenne Seybouse
14-03	1136	Moyenne Seybouse
14-04	818	Moyenne Seybouse
14-05	555	Moyenne Seybouse
14-06	1057	Basse Seybouse
Total	6471	

Source : [SOGETHA et SOGREAH : (1969 et 1976), A. GHACHI (1986)] in A.B.H.- C.S.M

La zone d'étude s'inscrit dans le territoire de trois wilayas. Elle occupe la partie centrale de la wilaya de Guelma, la majorité de la wilaya d'Annaba et la partie Ouest de la wilaya d'El Taref.

L'Oued Seybouse est des oueds les plus importants de l'Algérie par la longueur de son parcours, le nombre de ses affluents et la superficie de son bassin, qui prend naissance près de la ville de Guelma par la réunion de deux affluents, l'Oued Cherf et l'Oued Bouhamdane et se jeter dans la baie d'Annaba par l'embouchure de Sidi Salam (Figure 1).

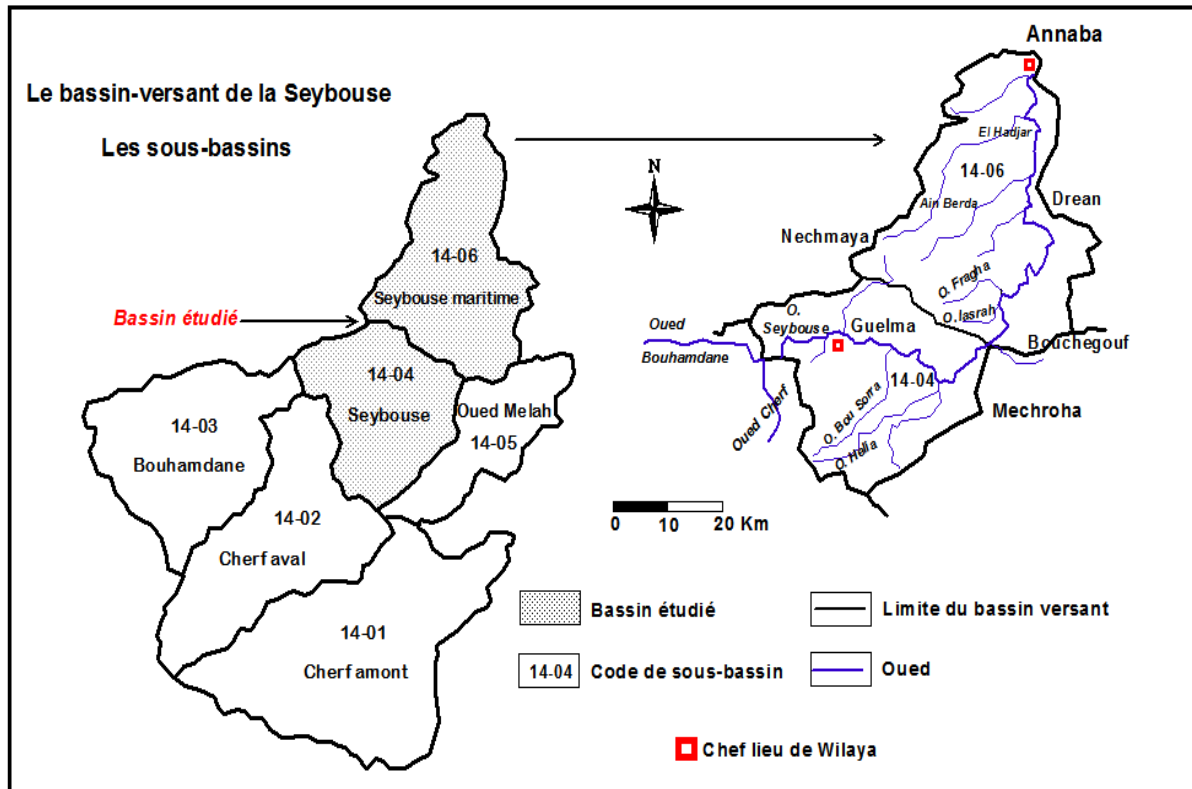


Figure 1 : Le bassin hydrographique de la Seybouse.

1.1.2. Réseau hydrographique:

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau et les affluents permanents ou temporaires, par lesquelles s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du bassin versant.

D'après la carte du réseau hydrographique (Figure 2) on ne constate que la confluence d'Oued Cherf (Souk-Ahras) (88,61Km) et Oued Bouhamdane (37,49Km) donne la naissance de Oued Seybouse (134,74Km), les principaux affluents de l'oued Seybouse sont : Oued Maiz, Oued Zimba, Oued Skhoune, Oued Bou Sorra, Oued Fragha, Oued Djefeli, Oued Meboudja....etc.

Oued Cherf résulte de la jonction des deux Oueds : le 1^{er} Oued Krab, le 2^{ème} Oued Tiffech. Par ailleurs, la jonction d'Oued Ghrieb et aussi Oued Zenati donne la naissance d'Oued Bouhamdane.

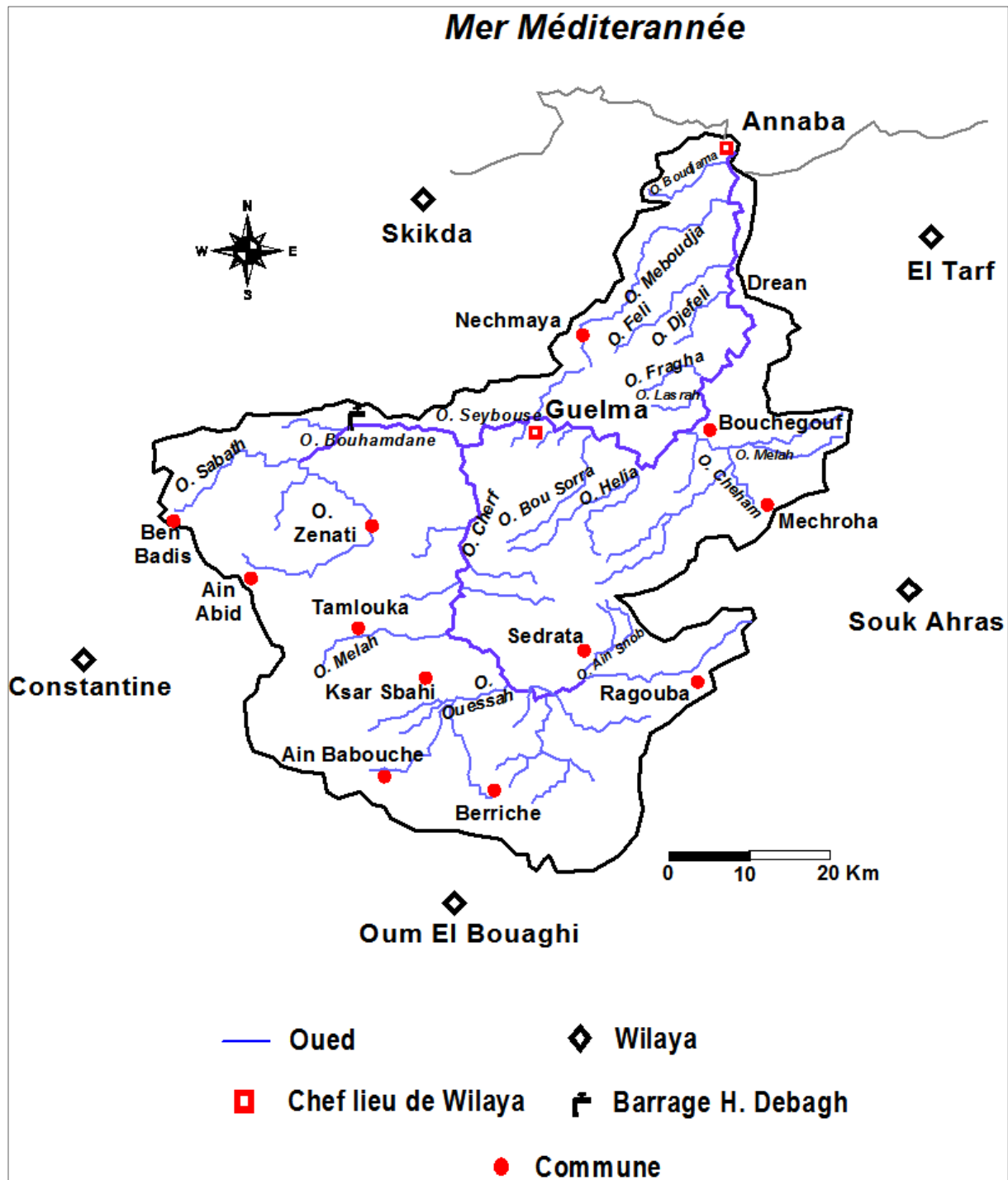


Figure 2 : Réseau hydrographique du bassin de la Seybouse.

1.1.3. Aperçu socio-économique:

1.1.3.1. Agriculture:

La région d'Annaba-Guelma est une région à vocation agricole et industrielle. L'agriculture est observée sur l'ensemble de la zone d'étude, avec une très grande variété de cultures : céréales, cultures maraichères, vergers et élevage de volailles et bétails (Khadri, 2009).

Deux types d'irrigation sont utilisés dans la zone d'étude : irrigation traditionnelle (Gravitaire) dans le bassin du Haut Cherf et irrigation moderne (par aspersion) dans la basse Seybouse. Céréales et cultures maraîchères sont les principales spéculations des périmètres irrigués qui sont Guelma Bouchegouf (12900 Ha) Bounamoussa (4500 Ha) (ABHCSM, 1999). (Tableau 2).

Tableau 2: Présentation des différentes cultures par secteur.

Secteur	Commune	Superficie irriguée	Culture	Ressources en eau	Mode d'irrigation	Point de rejet
Bouchegouf	Bouchegouf Oued Fraga	800	Céréalière Arboriculture Maraîchère	Barrage Hammam Debagh	Aspersion	Oued Seybouse
Ain ben Beida Drean	Ain ben Beida Drean Chebaita Chihani	0	Céréalière Arboriculture Maraîchère	Barrage Hammam Debagh	Aspersion	Oued Seybouse
El Hadjar	El Hadjar Sidi Amar	1446,5	Maraîchère Industrielle	Retenue collinaire et barrage Bounamoussa	Aspersion	Oued Seybouse et Oued Meboudja
Seybouse Nord	El Bouni	673	Maraîchère Industrielle	Retenue Collinaire, puits, forage et fil d'eau	Aspersion	Oued Seybouse
Annaba	Annaba	82,5	Maraîchère Industrielle	Puits, forage et fil d'eau	Aspersion	Oued Meboudja

1.1.3.2. Industrie:

La région d'Annaba est la plus industrialisée. On y rencontre différentes branches de l'industrie : industrie lourde (Société Nationale de Sidérurgie, Société nationale de métal....), industrie chimique (engrais chimiques de FERTIAL ex ASMIDAL) et industrie agroalimentaire. Cette se trouve à proximité de la mer méditerranée. Compte tenu de cette situation, la pêche constitue une activité prédominante, néanmoins, le milieu aquatique marin est menacé par la pollution due aux différents rejets.

1.1.3.3. Population:

Un million trois cent mille (1.300.000) habitants, répartis en soixante-huit (68) communes, et sept (07) wilayas. Trente-trois (33) communes sont entièrement incluses dans le bassin et trente-cinq (35) partiellement. La seule agglomération d'Annaba représente dix-huit pour cent (18%) de la population totale du bassin (Tableau 3) (Figure 3).

Tableau 3 : Répartition de la population.

Agglomérations	Population (Hab.)			
	1987	1998	2002	2006
Annaba	222518	240190	258 058	278827
Guelma	82 518	108 734	116 693	/
Sidi Amar	24 620	40 706	43 734	92273
El Bouni	26 668	30 153	32 396	138013
Chihani	/	/	/	10226
Drean	/	/	/	38892

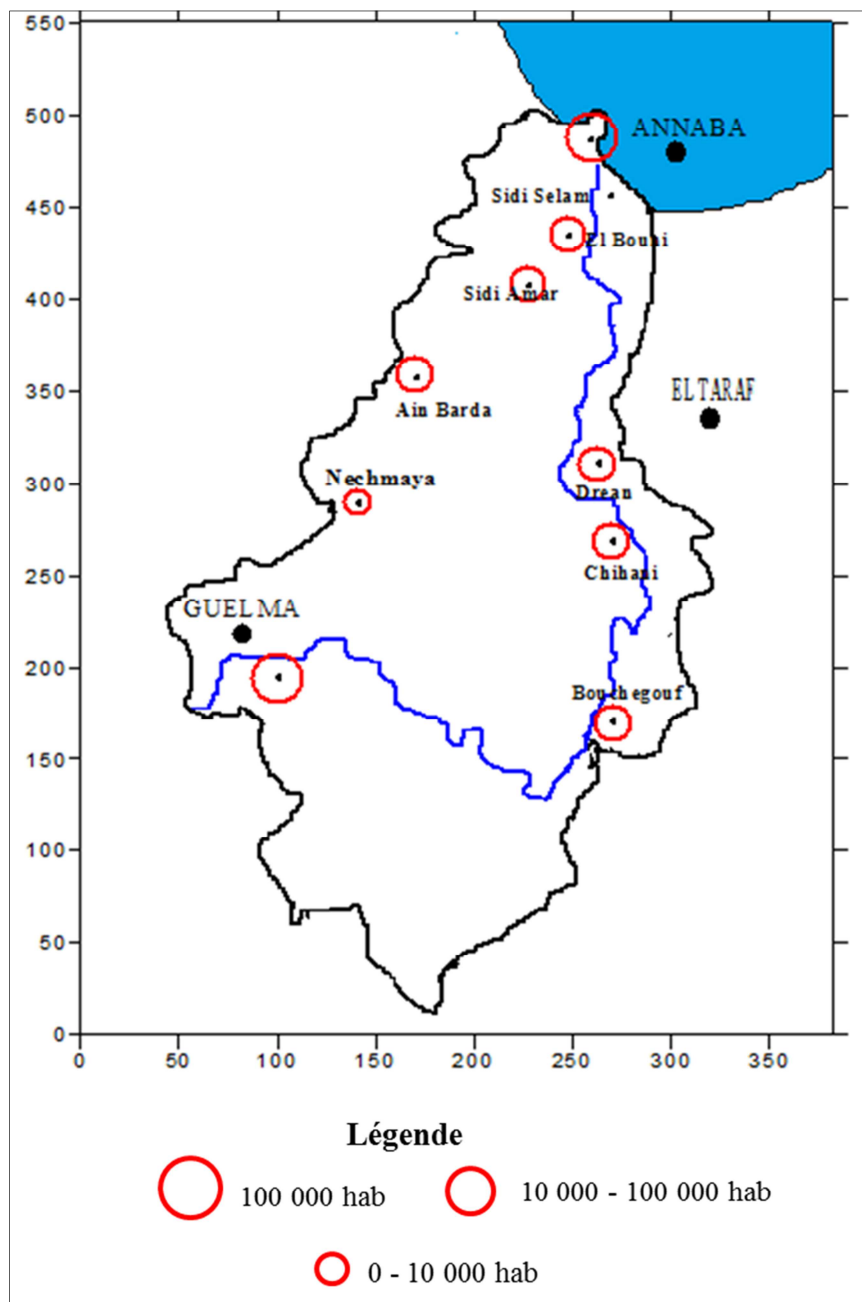


Figure 3 : Carte de population dans la moyenne et basse Seybouse.

1.1.4. Aspect géomorphologique:

1.1.4.1. Le Bassin de la Seybouse moyenne :

La géographie de la Wilaya se caractérise par un relief diversifié dont on retient essentiellement une importante couverture forestière et le passage de la Seybouse qui constitue le principal cours d'eau.

Les reliefs les plus élevés de la région de Guelma sont notés dans le tableau suivant :

Tableau 4: Montagnes de la Wilaya de Guelma.

Reliefs	Communes	Altitude (m)
Djbel Mermera	Guelma	993
Djbel Debagh	Hammam Dbagh	1060
Djebel Taya	Bouhamdane	1208
Ddjebel Houara	Ain Ben Beidha	1292
Djbel Ras El Alia	/	1317
Djebel Mahouna	Ben Djerrah	1411

Ce relief se décompose comme suit: montagnes (37,82 %), plaines et plateaux (27,22 %), collines et piémonts (26,29 %) et autres (8,67 %) (Figure 4)

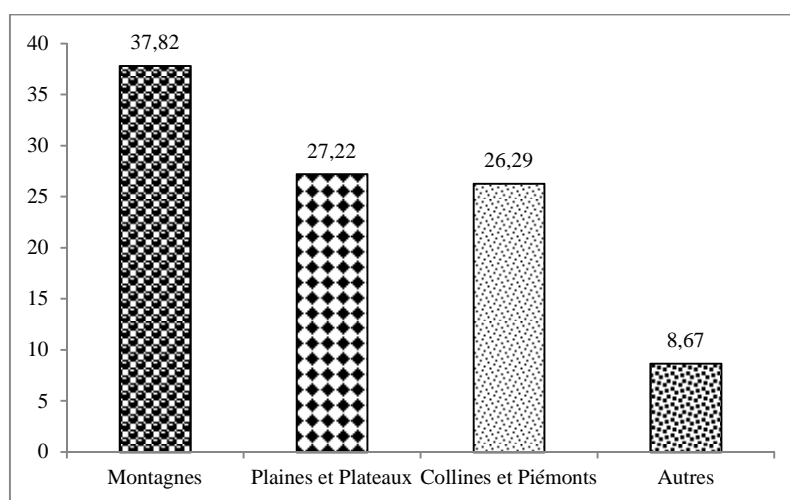


Figure 4: Relief de la Wilaya de Guelma.

La vallée de Bouchegouf est caractérisée par un relief fortement montagneux (près de 75%). Cette zone est traversée par l'Oued Seybouse dont les berges constituent les prolongements de la plaine de Guelma. Ses montagnes sont couvertes de massifs forestiers, notamment les forêts de Béni Salah et de Ain Ben Beida (une partie de Houara à l'Ouest). Son paysage se caractérise par de longs versants réguliers à pentes moyennes et quelques hautes surfaces à pentes plus faibles, outre quelques plaines moins importantes que celle de Guelma. L'utilisation actuelle des terres se caractérise par les polycultures dans les plaines, et les cultures céréalières et fourragères dans le reste des terres agricoles.

Les potentialités de mise en valeur, sont très importantes (Plaines de Ain-Ben-Beida), mais restent subordonnées à la nécessité d'opérer des aménagements appropriés. Quant à la gamme de spéculations à pratiquer en irrigué, elle est très large sur les longs versants moyennant une protection antiérosive conséquente (URBACO, 2012).

1.1.4.2. Le Bassin de la Seybouse maritime:

Après avoir traversé l'atlas tellien, Oued Seybouse continue son chemin entre Bouchegouf et Drean selon une direction Sud-Nord à travers la zone septentrionale du Tell. Cette zone constitue le dernier rempart à franchir par cet Oued, puis il finit dans la plaine littorale d'Annaba pour se jeter dans la méditerranée.

1.1.5. Couvert végétal:

Le couvert végétal a une influence directe sur l'écoulement fluvial ainsi que les facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense. Dans la région d'étude, les aires agricoles sont localisées essentiellement dans la plaine alluviale. Les cultures pratiquées sont dominées par des cultures maraîchères et quelques vergers d'agrumes et d'arbres fruitiers. Les forêts, les maquis et les broussailles occupent pratiquement toute la bande des monts (Bechiri, 2011).

1.1.6. Aspect géologique :

Le cadre géologique d'un bassin versant conditionne les écoulements des eaux de surface. La zone d'étude fait partie de l'ensemble géologique du Tell d'Algérie. Cet ensemble s'étend de la région de Constantine à la frontière algéro-tunisienne. Sa structure est très complexe et essentiellement due à des mouvements Tertiaire, surtout Miocène.

La zone d'étude est constituée de deux sous bassins qui sont, la moyenne et la basse Seybouse.

1.1.6.1. Unités géologiques :

Le bassin versant de la Seybouse s'étend sur quatre grandes unités géologiques orientées Sud-Ouest, Nord-Est :

A. L'Atlas Saharien: C'est une succession de synclinaux occupés par un matériel Miocène, Pliocène et Quaternaire ainsi que d'anticlinaux affectant des marnes et les calcaires du Crétacé.

B. L'Atlas Tellien: Il correspond à un ensemble constitué de marnes, de marnocalcaires, et de calcaire du Crétacé inférieur.

C. La chaîne Numidique: C'est une vaste nappe de charriage d'argile et de grés oligocène. Elle est venue sur une autre nappe de charriage antérieure, constituée de marne et de calcaires marneux Crétacé et Eocène.

D. Le Massif de l'Edough: Il correspond aux affleurements actuels des formations cristallophylliennes, celles-ci comprennent des schistes, des micaschistes et des gneiss, ainsi que des calcaires.

Entre la chaîne Numidique et la Massif de l'Edough, viennent s'entasser sur plusieurs centaines de mètres des formations argilo-gréseuses et marneuses reposant sur un substratum de « Flysch » numidien et qui constitue la plaine de la basse Seybouse. La haute Seybouse correspond à l'Atlas Saharien alors que l'Atlas Tellien et la chaîne Numidique formant la moyenne Seybouse. (Ladlani, 2006)

1.1.6.2. Les grands ensembles lithologiques:

A. La moyenne Seybouse :

La région de Guelma est constituée de terrains sédimentaires d'âge Crétacé, Oligocène, Mio-Pliocène et Quaternaire. Le fond du bassin de Guelma est occupé par une plaine alluviale correspond à un synclinal comblé par des argiles, de conglomérats, de marno-calcaires, des grés numidiens et des calcaires lacustres.

Les formations numidiennes se développent largement au sud de Guelma en occupant la partie montagneuse jusqu'à Sédrata. Ce sont surtout les calcaires yprésiens qui dominent, viennent ensuite les grés numidien du flanc Est de la Mahouna. Les séries de marnes, de marno-calcaires et l'argile. Entre Medjez Amar et la localité de Tabouche apparaissent les marno-calcaires. La formation numidienne dans la région Sud de Guelma est constituée d'une alternance d'assises gréseuses et de séries argileuse ou argilo-gréseuse.

Au Nord de Héliopolis, d'El Fedjoudj et Guelt Bousbaa, affluent des formations marneuses et schisteuses, alors qu'à l'Ouest de cette zone, s'élèvent les calcaires sénoniens du Djebel Debar et Taya.

La dépression de Bouchegouf est encadrée à l'Ouest et au Nord par des grés, au Sud par des formations triasiques marneuses et gypseuses. Au centre elle est comblée par les alluvions déposées par la Seybouse. (Ladlani, 2006)

B. La basse Seybouse :

Sa partie sud est constituée en majeure partie d'argiles rouges numidiennes. Au Sud-ouest, ce sont les marno-calcaires et les flyschs d'Aïn Berda qui dominent.

Au centre, la plaine ouest d'Annaba, correspond à un fossé d'effondrement rempli par des sédiments pliocènes et quaternaires.

Enfin, la zone nord-ouest est occupée par le flanc Est du massif de l'Edough, qui correspond à des roches cristallines (gneiss, schistes, micaschistes).

1. 2. Cadre climatologique :

Le climat est un facteur abiotique important dans l'étude de la typologie et la fonction d'un milieu.

La région de Guelma est caractérisée par un climat continental avec des hivers froids et pluvieux, de type humide et subhumide.

Des étés très chauds et secs, quelques nuages orageux rompent la monotonie du temps, accompagnés d'averses de grêle et de fortes précipitations brèves et locales, alterne souvent avec des chaleurs brûlantes qui peuvent se manifester de manière violente même en juillet et début août.

1.2.1. Station des mesures :

Les caractéristiques climatiques (température, précipitation, humidité relative,...etc) de la zone d'étude sont obtenues à partir des données des stations météorologiques de Guelma période de (1994-2013) et d'Annaba période de (2004-2013) (Tableau 5).

Tableau 5 : Coordonnées des stations météorologiques et périodes d'observation.

	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période d'observation
Guelma	07°28'E	36°28'N	227	1994-2013
Annaba	07°45' E	37°	50	2004-2013

1.2.2. Facteurs climatiques :

1.2.2.1. Température :

La température est l'un des facteurs les plus importants dans l'étude climatique, car elle agit directement sur le phénomène d'évapotranspiration et par conséquent le déficit d'écoulement annuel et saisonnier (Emsalem, 1986). Elle dépend de l'obscurité, de l'altitude, de l'exposition, de la présence d'une grande masse d'eau (l'influence des mers et des lacs sur la régulation des températures), du sol, des formations végétales en place (les végétaux amortissant les variations de températures).

A. Station de Guelma :

Les données des températures disponibles sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau de la station de Guelma sur une période de 19 ans. Ces valeurs sont consignées dans le tableau 6, leur répartition est illustrée sur la (Figure 5).

Tableau 6: Températures moyennes mensuelles de la station de Guelma (1994 - 2013).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juill.	Aou.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
T(°C)	9,76	10,00	12,52	15,00	19,46	24,07	27,22	27,47	23,52	19,51	14,48	10,97

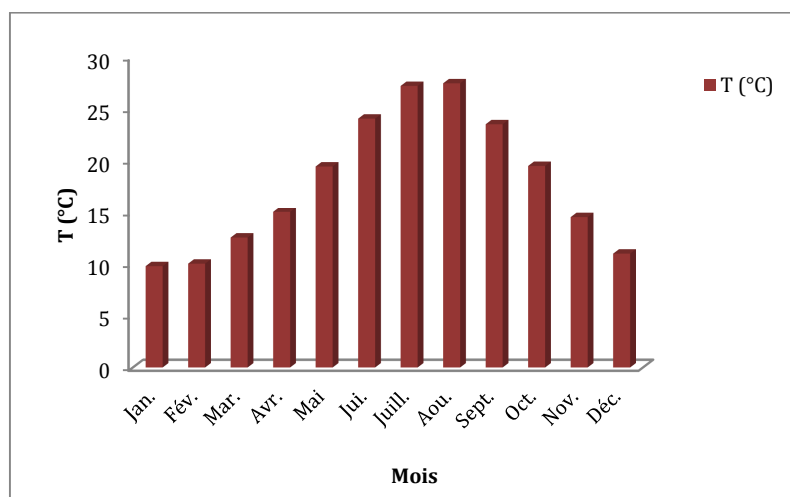


Figure 5: Variation des températures moyennes mensuelles dans la station de Guelma durant la période (1994-2013).

Les températures sont variables d'une saison à l'autre avec des amplitudes parfois très importantes. Les moyennes des semestres froids (nov. – avr.) et chauds (mai. -- oct.) sont respectivement 12,12 et 23,56°C (Tableau 6).

D'après la figure 1-5 les plus faibles valeurs sont mesurées aux mois de janvier et février tandis que les plus fortes caractérisent les mois de juillet et août.

Les données statistiques dont nous avons fait état sont consignées dans le tableau 7 (Annexes) donne pour chaque mois de l'année les températures suivantes :

- ❖ T_m moyenne de tous les maxima du mois.
- ❖ T_0 moyenne de tous les minima du mois.
- ❖ M moyennes annuelles des températures.

Et donne les valeurs pour le mois le plus chaud et le mois le plus froid. Les résultats d'observations faites pendant 19 ans (1994-2013).

La figure 6 donne l'évolution de la température en 1994 à 2013 selon les différents mois de l'année. Cette figure montre que :

La température moyenne annuelle est de 17,84 C°. On note que la température moyenne mensuelle la plus élevée est celle du mois d'août (27,54°C) alors que la température la plus basse est celle du mois de janvier (9,76 °C).

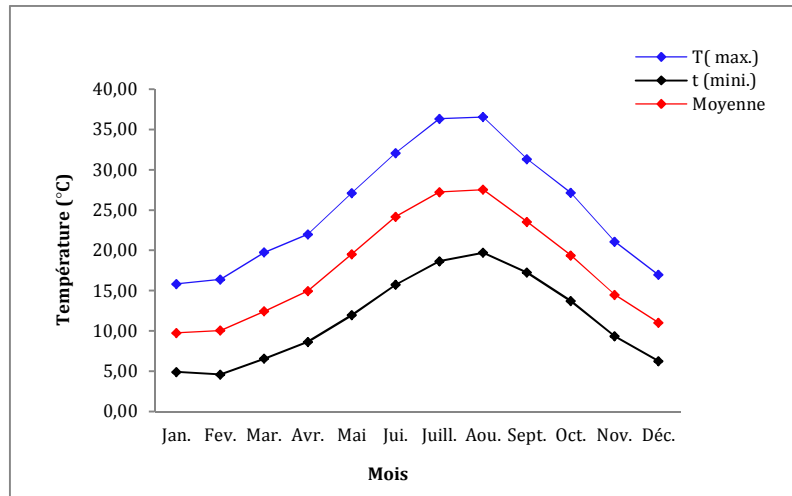


Figure 6: Courbe d'évaluation des températures de la région d'étude (années 1994-2013).

B. Station d'Annaba :

La température moyenne annuelle est de 17,70 C°. Le tableau 8 donne les températures moyennes mensuelles pour une période de 9 ans (2004-2013).

Tableau 8: Températures moyennes mensuelles de la station d'Annaba (2004 - 2013).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juill.	Aou.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
T(°C)	9,76	10,00	12,52	15,00	19,46	24,07	27,22	27,47	23,52	19,51	14,48	10,97

Les températures moyennes mensuelles les plus élevées sont observées pendant la période allant de mai à octobre, avec des températures variantes de 19,46 à 27,47°C. Par contre les températures les plus basses (9,76 à 14,48°C) sont observées pendant la période hivernale (novembre à avril) avec un minimum enregistré pendant le mois de janvier 9,76°C (Figure 7).

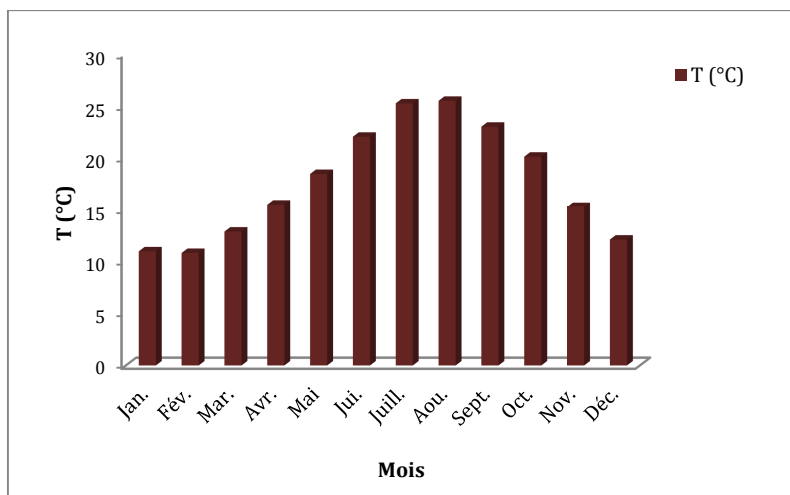


Figure 7 : Variation des températures moyennes mensuelles dans la station d'Annaba durant la période (2004-2013).

D'après la figure au-dessous on note que la température moyenne mensuelle la plus élevée est celle du mois d'août (25,53°C) alors que la température la plus basse est celle du mois de février (10,84 °C).

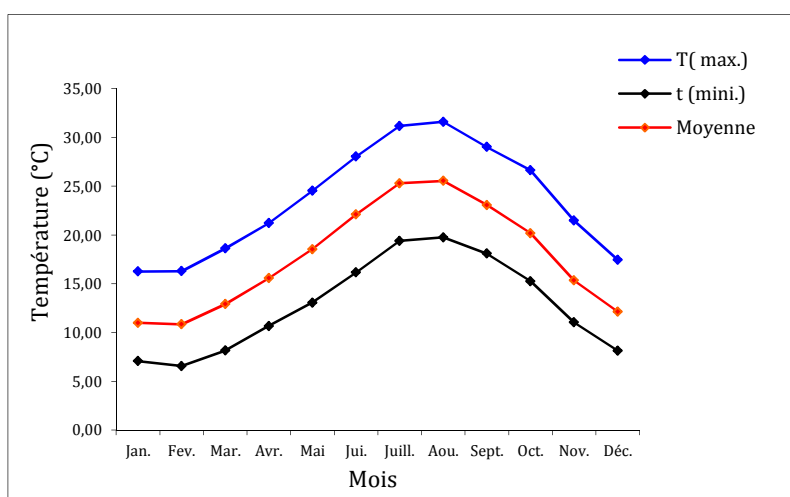


Figure 8 : Courbe d'évaluation des températures de la région d'étude (années 2004-2013).

1.2.2.2. Précipitations :

Dans l'établissement du bilan hydrique, les précipitations sont l'élément le plus important parce qu'elles reflètent la circulation des eaux de surface et souterraines. De plus, toute étude climatologique nécessite une analyse bien détaillée des précipitations, car la pluie est un facteur qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent, le régime des cours d'eaux.

A. Station de Guelma :

A.1. Pluviométries moyennes mensuelles :

Les précipitations mensuelles recueillies à la station météorologique de Guelma sur une période de 19 ans (1994 - 2013) sont récapitulées dans le tableau 9. Leur répartition est illustrée par la Figure 9. La plus forte valeur des précipitations est marquée au mois de janvier avec 98,85 mm, tandis que la plus faible caractérise le mois de juillet avec 3,09 mm.

Tableau 9 : Précipitations moyennes mensuelles de la station de Guelma (1994-2013).

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juill.	Aou.
P (mm)	49,89	41,21	71,91	74,50	98,85	71,68	64,65	66,59	44,97	15,29	3,09	16,02

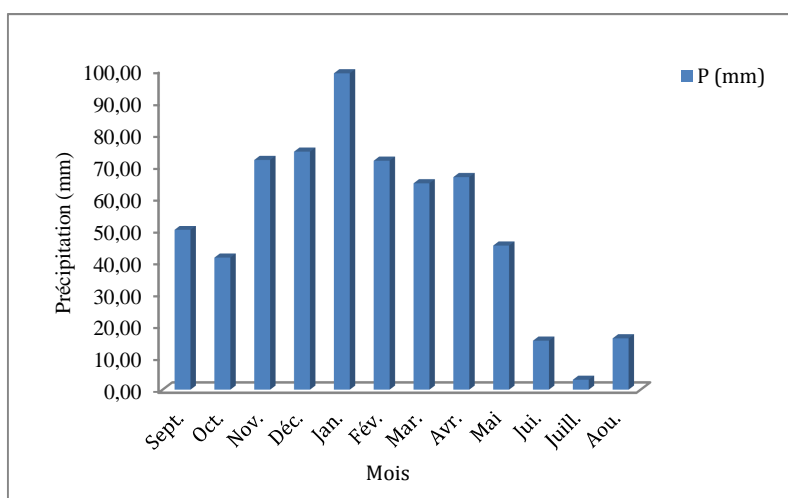


Figure 9 : Variations des précipitations moyennes mensuelles de la station de Guelma (1994-2013).

A.2. Pluviométries annuelles :

Cependant, l'analyse des variations interannuelles des précipitations montre une évolution en dents de scie dont les pics sont notés pendant les années 2002 - 2003 et 2008-2009 (938,5 mm et 894 mm respectivement). (Figure 10).

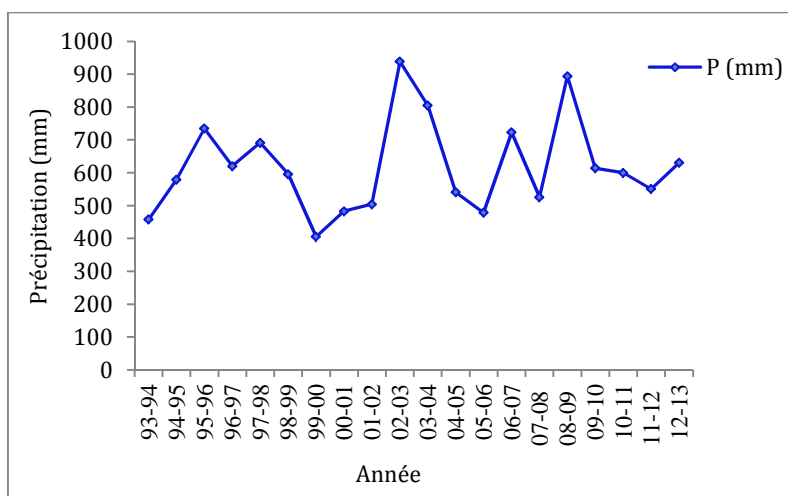


Figure 10 : Variations des précipitations annuelles de la station de Guelma (1994 - 2013).

A.3. Pluviométries moyennes saisonnières :

Le tableau 10 et la figure 11 montrent que la saison hivernale est la plus pluvieuse avec une moyenne de 81,68 mm/mois, ce qui produit une dilution des éléments chimiques, tandis que l'été est sec avec une faible recharge de 11,47 mm/mois, ce qui produit une évaporation et une concentration des éléments chimiques (augmentation de la conductivité électrique).

Tableau 10 : Précipitations moyennes saisonnières de la station de Guelma (1994-2013).

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Moy (mm)	54,34	81,68	58,74	11,47

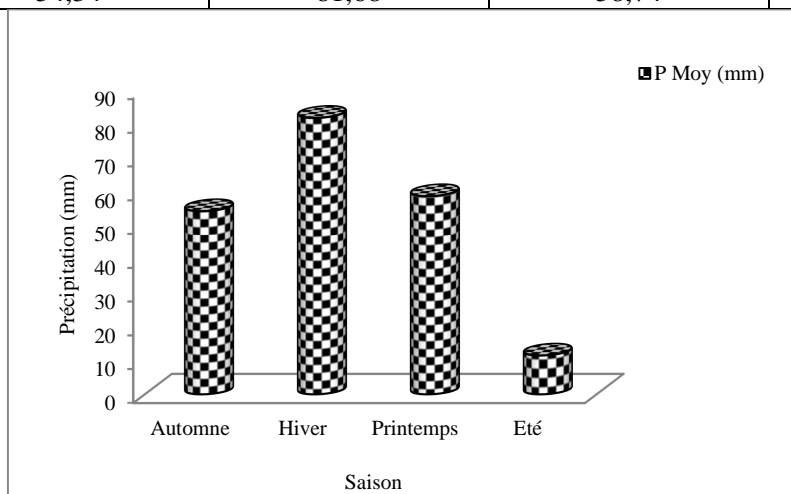


Figure 11: Variations des précipitations moyennes saisonnières de la station de Guelma (1994-2013).

A.3. Variation inter annuelle des précipitations mensuelles:

D'après la figure 12, les variations inter annuelles des précipitations montrent une grande différence entre l'année la plus humide: (2002 /2003) avec 938,5 mm/an et l'année la plus sèche (1999/2000) avec 405,3 mm/an.

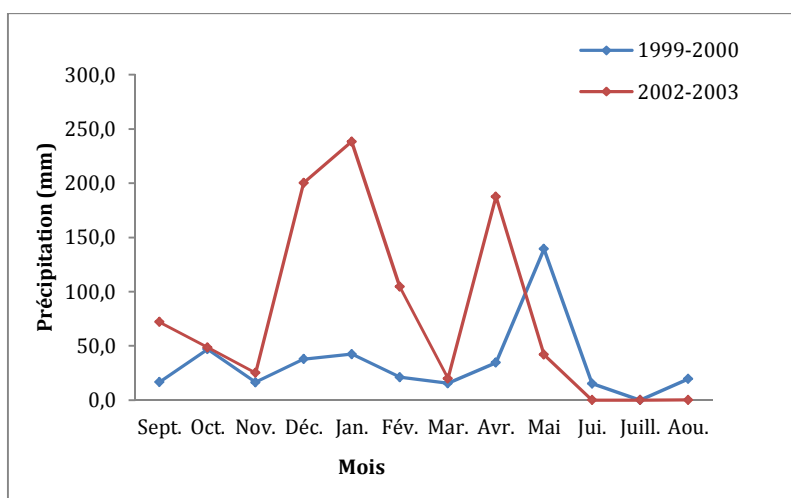


Figure 12: Variations inter-annuelles des précipitations mensuelles de la station de Guelma (1994-2013).

B. Station d'Annaba :

B.1. Pluviométries moyennes mensuelles :

Les précipitations atteignent le maximum au mois de décembre avec une valeur de 112,46 mm et le minimum au mois de juillet avec 1,85 mm (Tableau 11) et (Figure 13).

Tableau 11: Précipitations moyennes mensuelles de la station d'Annaba (2004-2013).

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juill.	Aou.
P (mm)	47,65	67,44	83,40	112,46	93,43	88,89	81,94	59,14	35,92	12,50	1,85	9,37

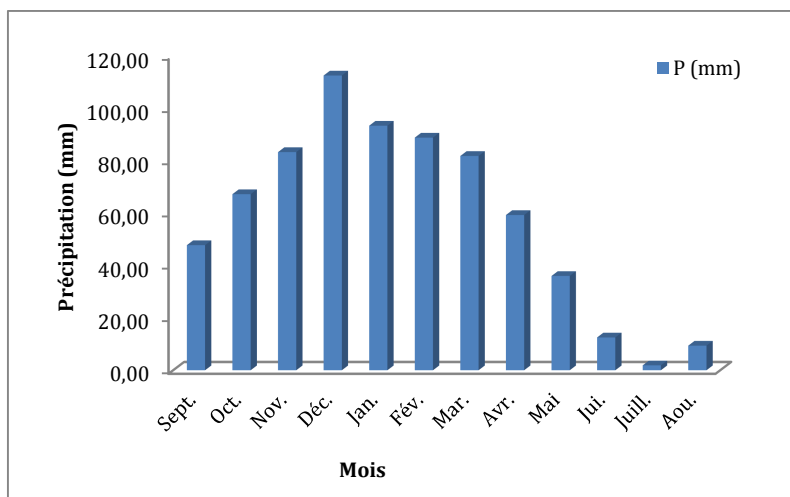


Figure 13: Variations des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Annaba (2004-2013).

B.2. Pluviométries annuelles :

La pluviométrie moyenne annuelle enregistrée sur cette période est de 685,65 mm. Toutefois, la pluviométrie annuelle est très variable d'une année à l'autre. Cette variabilité interannuelle des précipitations est également caractéristique du climat méditerranéen (Figure 14). Le fort pic est noté pendant l'année 2008-2009 (1031,1 mm).

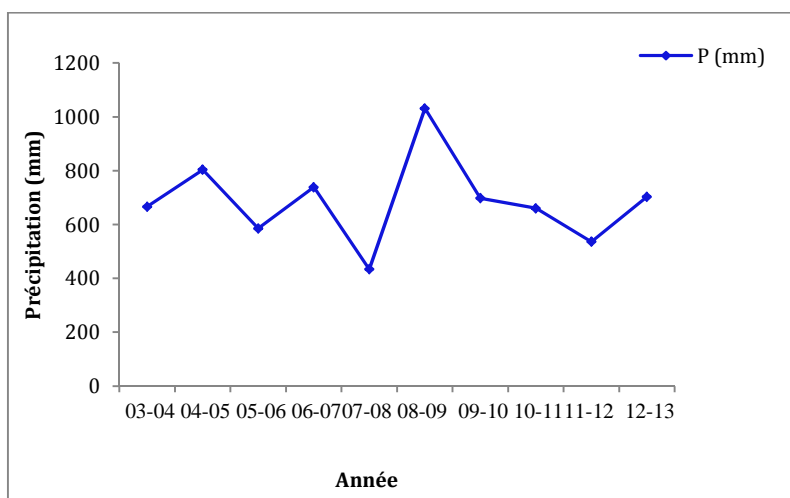


Figure 14: Variations des précipitations annuelles de la station d'Annaba (2004-2013).

B.3. Pluviométries moyennes saisonnières :

La pluviométrie moyenne saisonnière la plus élevée enregistrée sur la période hivernale est de 98,26 mm/mois, tandis que l'été enregistré la plus faible pluviométrie avec une moyenne de 7,91 mm/mois. (Tableau 12 et Figure 15)

Tableau 12: Précipitations moyennes saisonnières de la station d'Annaba (2004-2013).

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
P Moy (mm)	66,16	98,26	59,00	7,91

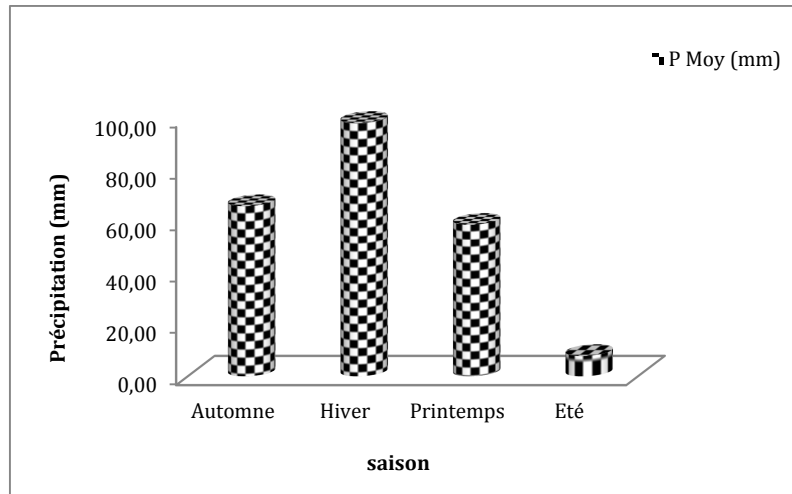


Figure 15: Variations des précipitations moyennes saisonnières de la station d'Annaba (1994-2013).

B.3. Variation inter annuelle des précipitations mensuelles:

D'après la figure 16, les variations inter annuelles des précipitations montrent une grande différence entre l'année la plus humide (2008 /2009) avec 1031,1 mm/an et l'année la plus sèche (2007/2008) avec 434,1 mm/an.

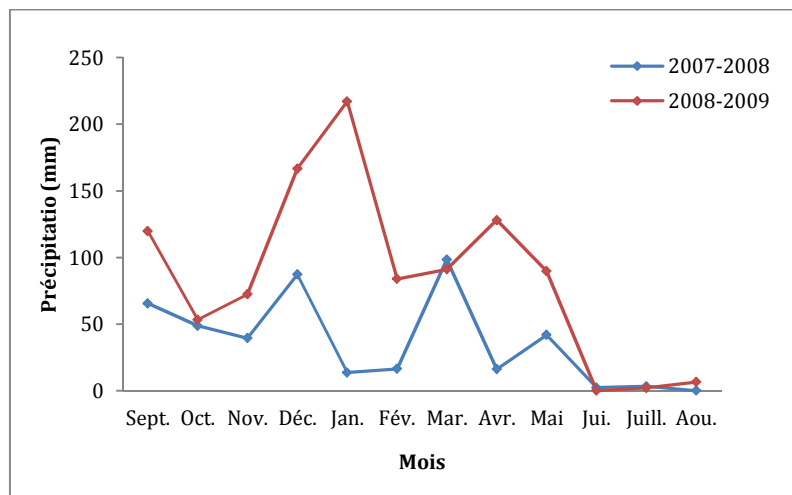


Figure 16: Variations inter-annuelles des précipitations mensuelles de la station d'Annaba (2004-2013).

1.2.2.3. Humidité relative:

A. Station de Guelma :

Les données récoltées sont enregistrées dans le tableau 13 (Annexes). La moyenne de l'humidité relative dans la période allant de l'année 1994 jusqu'à l'année 2013 est de l'ordre de 68,79%. Le maximum est enregistré au mois le plus froid (janvier 76,91%) et le minimum au mois le plus chaud (juillet 55,53%). (Figure 17)

L'humidité semble évoluer en sens inverse de la température et subir l'influence du vent. En effet, plus les températures sont élevées et plus les vents deviennent forts, plus les humidités relatives diminuent de façon marquée (Gaussen et Bagnouls, 1953).

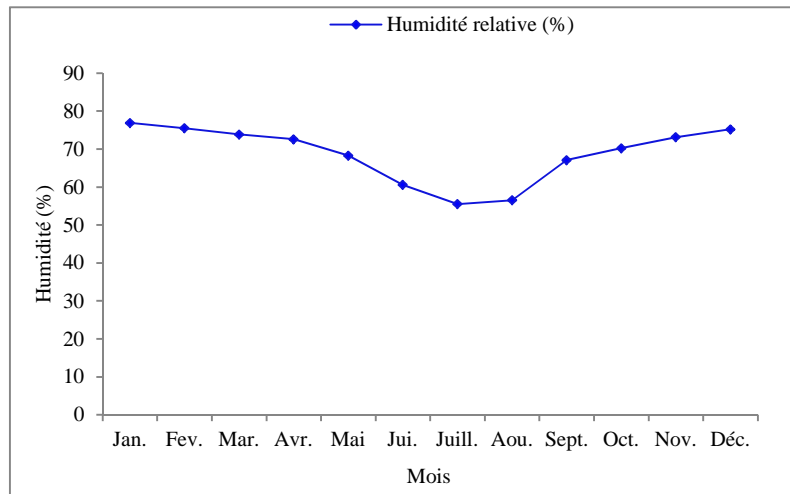


Figure 17 : Evaluation mensuelle des humidités relatives de la station de Guelma (1994-2013).

A. Station d'Annaba :

L'humidité relative moyenne mensuelle est schématisée sur la figure 18, d'après cette figure on remarque que le mois le plus humide est celui de janvier avec une humidité de 81,14%, par contre le mois le moins humide est celui d'août avec une valeur de 74,46%.

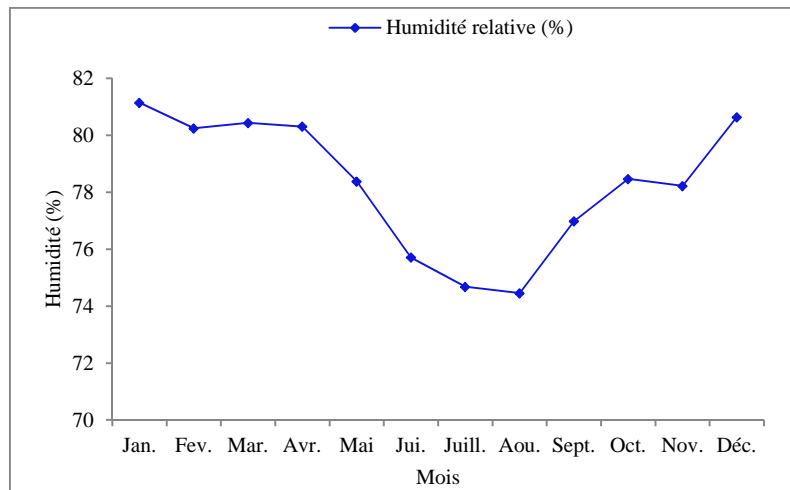


Figure 18 : Evaluation mensuelle des humidités relatives de la station d'Annaba (2004-2013).

1.2.2.4. Vent:

Le vent constitue dans certains biotopes un facteur écologique limitant. Sous l'influence des vents violents la végétation est limitée dans son développement, le vent a tout d'abord une action indirecte :

- ❖ en abaissant ou en augmentant la température.
- ❖ en augmentant la vitesse d'évaporation, il a donc un pouvoir desséchant.

A. Station de Guelma :

L'analyse de la vitesse de vent a été effectuée en utilisant toutes les données encodées manuellement pour la période disponible de 19 ans (1994-2013), des observations synoptiques archivées à la Direction de la Station Météorologique de Guelma (Tableau 14).

Tableau 14 : Variations moyennes mensuelles des vents à la station de Guelma (Années 1994-2013).

Mois	jan.	fév.	mar.	avr.	mai	jui.	juill.	août.	sept.	oct.	nov.	dec.
V (m/s)	1,78	1,95	1,83	1,91	1,78	1,90	1,88	2,71	1,63	1,41	1,74	1,81

La vitesse moyenne annuelle est de 1,81m/s, la vitesse maximale est enregistrée en mois d'août (2,71m/s) et la vitesse minimale est notée en mois d'octobre (1,41m/s). (Figure 19).

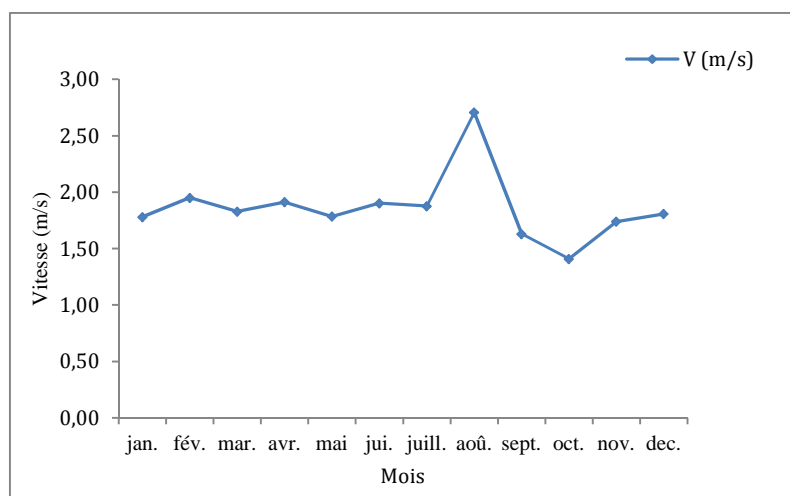


Figure 19: Variations moyennes mensuelles des vents à la station de Guelma (Années 1994-2013).

B. Station d'Annaba :

Les résultats des calculs de la vitesse des vents sont récapitulés dans le tableau ci-dessous:

Tableau 15 : Variations moyennes mensuelles des vents à la station d'Annaba (Années 2004-2013).

Mois	jan.	fév.	mar.	avr.	mai	jui.	juill.	août.	sept.	oct.	nov.	dec.
V (m/s)	3,86	4,13	3,88	3,71	3,70	3,82	4,03	3,90	3,66	3,39	3,56	3,71

D'après la figure 20 la vitesse moyenne annuelle est de 3,8 m/s, la vitesse maximale est enregistrée en février (4,13m/s) et la vitesse minimale est notée en octobre (3,39m/s).

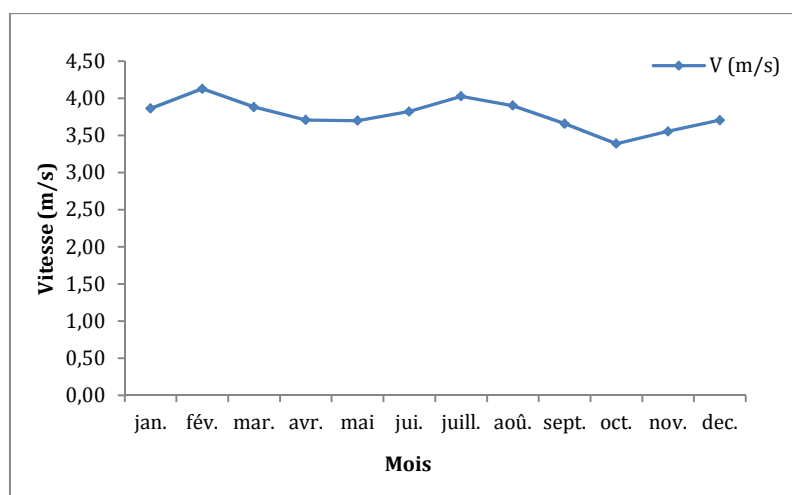


Figure 20: Variations moyennes mensuelles des vents à la station d'Annaba (Années 2004-2013).

1.2.3. Relation température et précipitation :

1.2.3.1. L'indice d'aridité :

L'indice de l'aridité est un indicateur quantitatif du degré du manque d'eau présente à un endroit donné (Oliver, 2006). On va calculer cet indice (A) par la formule de DE MARTONNE.

Indice d'aridité : $I = P/T + 10$

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (C°).

Si : I est compris entre :

- 5-10 : milieu très sec.
- 10-20 : milieu semi-aride.
- 20-30 : milieu tempéré.

Station de Guelma :

$P = 618,64\text{mm}$, $T = 17,83^\circ\text{C}$, $I = 22,23 \implies$ Le résultat du calcul de l'indice de DE MARTONNE, est conforme aux valeurs attendues pour la zone de climat tempéré.

Station d'Annaba :

$P = 693,99\text{mm}$, $T = 17,70^\circ\text{C}$, $I = 25,05 \implies$ Le résultat du calcul de l'indice de DE MARTONNE, est conforme aux valeurs attendues pour la zone de climat tempéré.

1.2.3.2. Diagramme pluvio-thermique :

Diagramme pluvio-thermique de Gaussen est nécessaire de déterminer la période sèche et la période humide relative à la région, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (P) et les températures (T). L'échelle de la précipitation est le double de celle des températures ($P=2T$).

A. Station de Guelma :

A partir des valeurs de la température moyenne mensuelle et de la précipitation moyenne mensuelle pour la période (1994-2013) (Tableau 16) (Annexes), le diagramme pluviométrique a été établi.

Grâce à ce diagramme (Figure 21), on peut distinguer deux saisons :

- ❖ Une saison humide s'étend depuis le mois d'octobre jusqu'à la fin d'avril.
- ❖ Une saison sèche et chaude, s'étend du mois de mai jusqu'à de mois d'août.

Nous notons que la saison sèche nous indique un déficit de précipitation, par contre la saison humide présente un excédent.

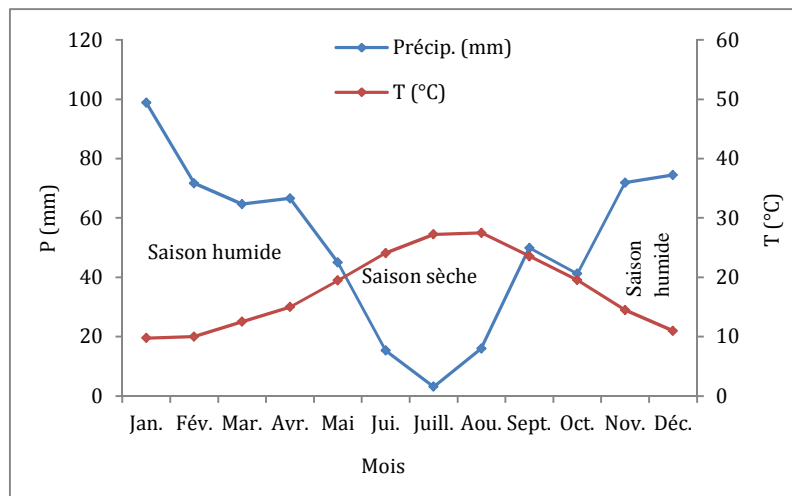


Figure 21: Régime pluviométrique de la région de Guelma (1994-2013).

B. Station d'Annaba :

Le diagramme pluviométrique (Figure 22) montre l'existence de deux saisons bien distinctes :

- ❖ Une saison sèche et chaude qui s'étale du mois de mai jusqu'au mois de septembre, marquée par une forte évaporation provoquée par l'augmentation de la température.
- ❖ Une saison humide plus longue qui s'étend du mois d'octobre jusqu'au mois de mai, caractérisée par une précipitation importante qui atteint un maximum au mois de décembre (112,46 mm).

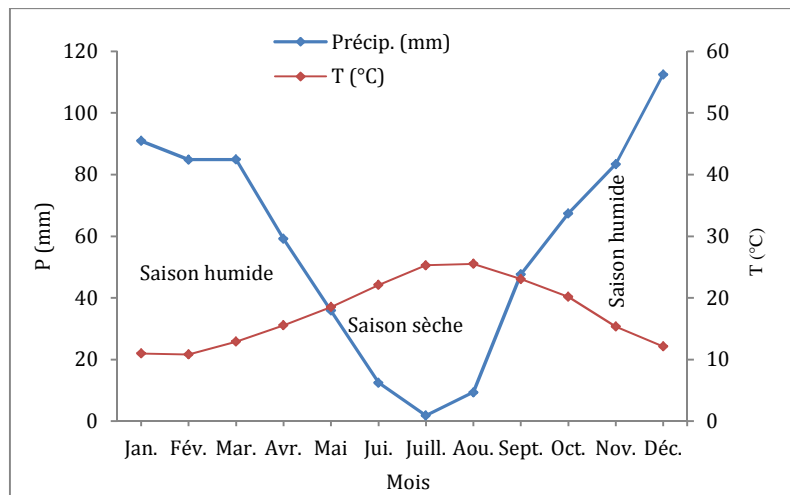


Figure 22 : Régime pluvio-thermique de la région d'Annaba (2004-2013).

1.2.3.3. Synthèse climatique :

Ce diagramme ou quotient pluviométrique est une représentation graphique issue d'une formule où la valeur des précipitations en mm, divisée par une expression de la T° en degré Kelvin, cette expression est choisie en fonction de la vie du végétal, cette formule s'écrit comme suit :

$$Q2 = [2000 P / M^2 - m^2]$$

Cette formule peut s'écrire selon Stewart (1969) qui a transformé le quotient d'Emberger pour le climat méditerranéen et a obtenu la formule suivante :

$$Q2 = 3,43 \times [P / M - m]$$

Où

P : Précipitation moyenne annuelle

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud.

m : moyenne des minimum du mois le plus froid.

M et m sont exprimés dans l'expression de Stewart en ° Celsius.

M et m s'expriment en degré Celsius, Emberger a mentionné qu'un climat ne peut être caractérisé si à la valeur de $Q2$ ne vient pas s'ajouter celle de « m ». Les stations météorologiques de même $Q2$ peuvent être différenciées par leurs valeurs de « m ».

Le $Q2$ nous a permis de localiser nos stations météorologiques sur le Climagramme d'Emberger. Cet auteur a mis au point un zonage du bioclimat méditerranéen du plus sec vers le plus humide en combinant les données climatologiques et celles de la végétation.

On distingue le plus souvent les étages bioclimatiques saharien, aride, semi-aride, sub-humide et humide.

Le Climagramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude.

- ❖ En abscisse la moyenne des minima du mois le plus froid.
- ❖ En coordonnées le quotient pluviométrique (Q_2) d'Emberger.

Station de Guelma :

$P= 618,64 \text{ mm}$
 $M= 37,06^\circ\text{C}$
 $M=4,11 \text{ }^\circ\text{C}$

} **$Q_2= 64.40$**

Station d'Annaba :

$P= 693,99 \text{ mm}$
 $M= 31,93^\circ\text{C}$
 $M=6,31 \text{ }^\circ\text{C}$

} **$Q_2= 92.91$**

L'emplacement de ces indices sur le Climagramme d'Emberger, a permis de situer la région de Guelma dans l'étage bioclimatique semi-aride à hivers frais et la région d'Annaba dans l'étage bioclimatique sub-humide à hivers chaud (Figure 23).

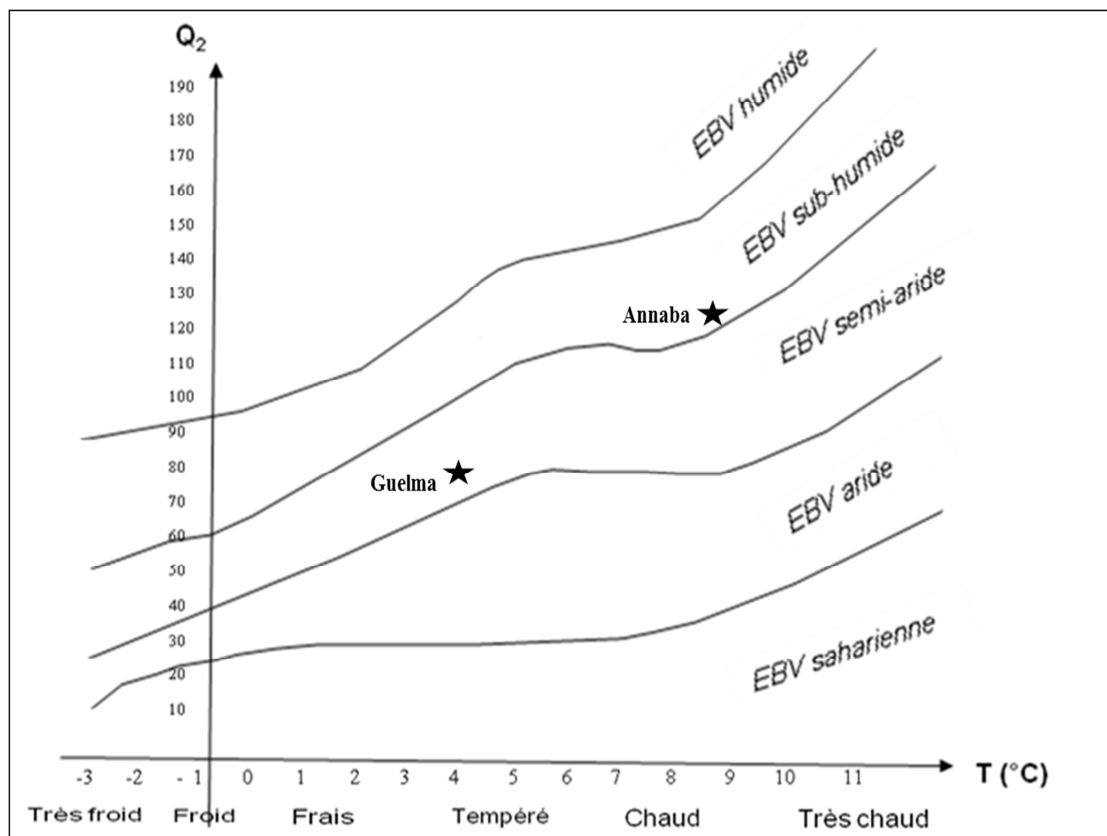


Figure 23: Climagramme d'Emberger de la région d'étude.

1.2.4. Bilan hydrique :

Le but du bilan hydrique est d'établir une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur les variations des réserves, il est dispensable d'évaluer ses composants (infiltration, écoulement, et évapotranspiration).

Le bilan hydrique est calculé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

ETR : évapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm).

R : ruissellement moyen annuel (mm).

I : infiltration moyenne annuelle (mm).

1.2.4.1. Evapotranspiration selon la méthode de Thornthwaite :

L'évaporation est le processus physique par lequel l'eau est transférée à l'atmosphère par passage de la phase liquide à la phase vapeur. L'eau s'évapore ainsi d'une variété de surfaces, tel que les lacs, les rivières et les barrages.

La vitesse d'évaporation (mm/j) est fonction de la température de l'air, de l'insolation, de la vitesse et de la turbulence du vent (Emsalem, 1970; Remenieras, 1986; Mamou, 1990; Godard et Tabeaud 1993).

L'évapotranspiration est la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée, et pendant une période bien définie en considérant les apports d'eau suffisants (Medjelekh, 2006). On distingue :

*Une évapotranspiration potentielle ETP.

*Une évapotranspiration réelle ETR.

A. Estimation de l'ETP :

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.

$$ETP = 16 (10T/i)^a K$$

Avec:

ETP: Evapotranspiration potentielle

T: Température moyenne mensuelle

i: Indice thermique mensuel, $i = (T/5)^{1,5}$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

I: Somme des indices thermique mensuelle,

a : coefficient calculé par la formule ; $a = 1.6 (I/100) + 0.5$.

K : coefficient d'ajustement.

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

- si pour un mois $P \geq ETP$ on pose que l' $ETP = ETR$, la quantité d'eau qui reste ($P-ETR$) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 m) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès (WS) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

- si $P < ETP$, la valeur de $ETR = P + RFU$, jusqu'à égalisation avec ETP. Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $Da = ETP - ETR$, ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

Les résultats obtenus sont reportés dans les tableaux suivants :

Tableau 17: Bilan hydrique de Thornthwaite de la station de Guelma (1994-2013).

Mois	P (mm)	T (°C)	i	K	ETP (mm)	ETR (mm)	RFU (mm)	Exc	Da	BH
Sept.	49,89	23,525	10,2	1,03	109,45	49,89	0	0	59,56	-59,61
Oct.	41,21	19,511	7,7	0,97	72,94	41,21	0	0	31,73	-31,28
Nov.	71,91	14,484	4,92	0,86	37,25	37,25	34,66	0	0	34,64
Déc.	74,495	10,967	3,24	0,81	20,96	20,96	100	53,53	0	53,53
Jan.	98,85	9,761	2,72	0,87	18,16	18,16	100	80,69	0	80,69
Fév.	71,68	10,001	2,82	0,85	18,56	18,56	100	53,12	0	53,12
Mar.	64,65	12,516	3,95	1,03	34,04	34,04	100	30,61	0	30,61
Avr.	66,59	14,997	5,19	1,1	50,8	50,8	100	15,79	0	15,79
Mai	44,965	19,458	7,67	1,21	90,47	44,965	0	0	45,51	-45,51
Jui.	15,29	24,066	10,55	1,22	135,2	15,29	0	0	119,91	-119,9
Juill.	3,09	27,218	12,69	1,24	172,55	3,09	0	0	169,46	-169,5
Aou.	16,02	27,471	12,87	1,16	164,28	16,02	0	0	148,26	-148,3
Total	618,64	17,83	84,52		924,66	350,24		233,74	574,43	-305,7

Tableau 18 : Bilan hydrique de Thornthwaite de la station d' Annaba (2004-2013).

Mois	P (mm)	T (°C)	i	K	ETP (mm)	ETR (mm)	RFU (mm)	Exc	Da	BH
Sept.	47,65	29,02	8,7	1,03	161,21	47,65	0	0	113,56	-113,6
Oct.	67,44	26,618	7,98	0,97	129,32	67,44	0	0	61,88	-61,88
Nov.	83,4	21,461	6,43	0,86	77,01	77,01	0	0	0	6,39
Déc.	112,46	17,458	5,23	0,81	49,47	49,47	62,99	62,99	0	62,99
Jan.	93,43	16,253	4,87	0,87	46,57	46,57	100	46,86	0	46,86
Fév.	88,89	16,283	4,88	0,85	45,66	45,66	100	43,23	0	43,23
Mar.	81,94	18,608	5,58	1,03	70,8	70,8	100	11,14	0	11,14
Avr.	59,14	21,206	6,36	1,1	96,31	96,31	100	0	0	-37,17
Mai	35,92	24,527	7,35	1,21	138,66	35,92	0	0	102,74	-102,7
Jui.	12,5	28,029	8,4	1,22	178,96	12,5	0	0	166,46	-166,5
Juill.	1,85	31,165	9,34	1,24	221,39	1,85	0	0	219,54	-219,5
Aou.	9,37	31,584	9,47	1,16	212,3	9,37	0	0	202,93	8,21
Total	693,99	282,21	84,59		1427,7	560,55		164,22	867,11	-522,5

Afin de visualiser les résultats obtenus du bilan d'eau à la station de Guelma, et d'Annaba, les représentations graphiques suivantes des données sur les figures (24 et 25) illustrent bien la situation.

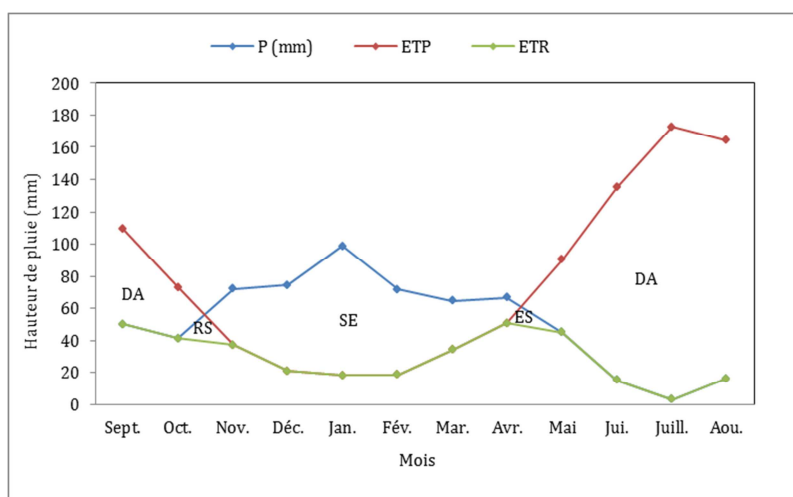


Figure 24 : Représentation graphique du bilan hydrique de Thornthwaite de Guelma (1994-2013).

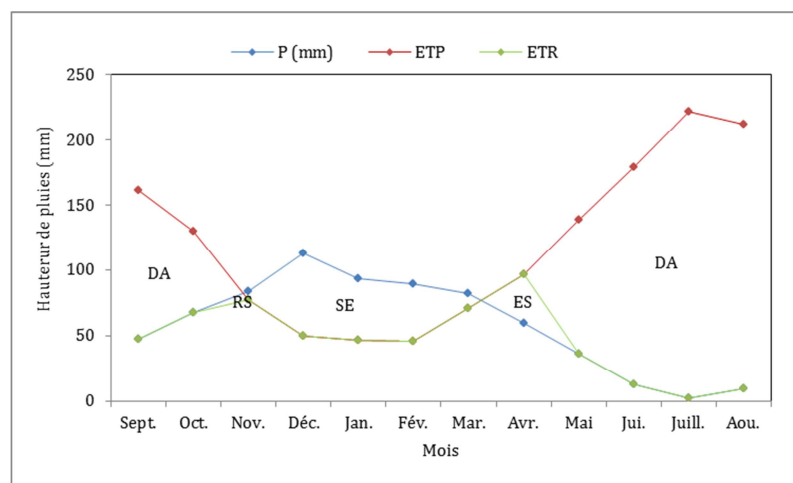


Figure 25: Représentation graphique du bilan hydrique de Thornthwaite d'Annaba (2004-2013).

La représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite de la station de Guelma montre que la recharge des nappes se fait en période hivernale. Un épuisement des réserves est apparent durant les mois d'avril et mai. La période déficitaire débute au mois de juin et se prolonge jusqu'en octobre, avec un maximum d'évapotranspiration de 172,55 mm au mois de juillet. Des valeurs de déficit agricole plus ou moins importantes durant cette période déficitaire, nécessitant le recours aux eaux souterraines pour satisfaire les besoins d'irrigation.

D'après le graphe du bilan d'eau de la station d'Annaba, l'évapotranspiration maximale a été observée pendant le mois de juillet avec une valeur de 221,39 mm, ce qui produit un déficit agricole de 219,54 mm, nécessitant une irrigation pour les zones de culture. Cependant, durant les mois de novembre jusqu'au mois de mars, on remarque une recharge de la nappe. Lorsque celle-ci dépasse la RFU, le surplus d'eau va partir vers le ruissellement superficiel.

B. Estimation du ruissellement :

On entend par ruissellement, l'écoulement par gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain et dans le réseau hydrographique des eaux météoriques. Une infime partie de cette eau sera soumise à l'infiltration qui alimentera les nappes souterraines.

Pour matérialiser la valeur du ruissellement nous allons appliquer la méthode approchée de Tixeront-Berkaloff, qui s'écrit ;

$$\mathbf{R = P^3/3(ETP)^2, \text{ Si } P < 600 \text{ mm/an.}}$$

Avec :

R : Ruissellement (mm)

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm/an). (selon Thornthwaite).

$$\mathbf{R = P^3/ 3, \text{ Si } P > 600 \text{ mm/an.}}$$

Avec :

R : Ruissellement (m).

P : Précipitations moyennes annuelles (m)

Station de Guelma :

$$P= 618,64 \text{ (mm)} \implies \mathbf{R= 78,92 \text{ (mm)}}$$

Station d'Annaba:

$$P= 693,66 \text{ (mm)} \implies \mathbf{R= 112,54 \text{ (mm)}}$$

C. Estimation de l'infiltration :

La formule générale du bilan hydrique donne l'égalité des apports et des pertes évaluées sur les grandes périodes.

On a le bilan global :

$$P = R + I + ETR$$

Donc:

$$I = P - R - ETR$$

Où :

P : Précipitation moyennes mensuelles (mm/an)

R : Ruissellement (mm/an)

I : Infiltration (mm/an)

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

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

Station de Guelma :

$$P= 618,64 \text{ (mm)}, ETR= 350,24 \text{ mm}, R= 78,92 \text{ (mm)} \implies \mathbf{I= 189,48 \text{ mm}}$$

Station d'Annaba :

$$P= 693,66 \text{ (mm)}, ETR= 560,55 \text{ mm}, R= 112,54 \text{ (mm)} \implies \mathbf{I= 20,57 \text{ mm}}$$

Conclusion:

La synthèse des données nous permet de conclure le suivant :

1. La moyenne Seybouse est caractérisée par des formations allant du Trias jusqu'au Quaternaire, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement: les alluvions (sable, gravier, cailloutis,...), les grès, les marnes, les argiles, les flyschs et les calcaires et la basse Seybouse fait partie de l'ensemble géologique du Tell Algérien Nord Oriental (massif de L'Edough), présente des affleurements de terrains métamorphiques en bordures (gneiss, schistes, micaschistes, cipolins).

2. La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, appartenant au domaine subhumide à semi-aride. Il est caractérisé par des irrégularités mensuelles et annuelles des précipitations.

La température moyenne annuelle est de l'ordre 18°C. Ces résultats de température et de précipitations définissent deux saisons typiques du climat méditerranéen, une saison sèche et l'autre humide.

La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 618,6 de la station de Guelma ville, de l'ordre de 685,7mm à la station d'Annaba. Pour le calcul du bilan hydrique, la valeur de la réserve facilement utilisable (RFU) a été choisie en fonction de la nature du terrain (RFU=100 mm).

L'évapotranspiration réelle représente 56,61 % (station de Guelma) et 80,77 % (station d'Annaba) des précipitations moyennes annuelles, alors que la lame d'eau ruisselée constituée 12,75 et 16,23 % de la lame d'eau précipitée respectivement à Guelma et Annaba. L'infiltration varie entre 2,96 % à 30 % des précipitations moyennes annuelles.

L'estimation du bilan d'eau par la méthode de Thornthwaite a montré qu'à 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 avec un déficit agricole enregistré à partir de mois de mai jusqu'au mois d'octobre.

CHAPITRE 2

MATERIEL ET METHODES

L'étape d'échantillonnage influence directement la qualité des résultats analytiques obtenus. Des précautions élémentaires doivent être prises pour obtenir un échantillon représentatif. Afin de minimiser les risques associés à la contamination de l'échantillon par le préleveur, il faut s'assurer de la qualité du prélèvement, de la conservation et du transport adéquat des échantillons.

L'échantillonnage des eaux de l'oued Seybouse peut permettre de répondre à plusieurs questions concernant :

- La connaissance de base de la qualité de l'eau;
- L'identification d'une source de pollution;
- L'impact des rejets urbains et industriels sur la qualité de l'eau;
- L'impact de certaines pratiques agricoles;

2.1. Echantillonnage:

2.1.1. Site et période de prélèvement :

Tenant compte des diverses activités recensées dans la zone d'étude (eaux usées domestiques, industrielles et agricoles), cinq stations (S1 à S5) ont été choisies tout le long de l'Oued Seybouse (Figure 26) et (Tableau 19). Elles ont été retenues pour leur accessibilité et elles reflètent l'état réel de l'eau de surface de l'Oued Seybouse.

1. Station1 (Medja Amar) : est située en amont. Elle a permis d'évaluer la qualité de l'eau après la confluence des deux oueds (Oued Cherf et Oued Bouhamdane). Cette zone est caractérisée par la présence de rejet des eaux usées générées par l'agglomération de Medjez Amar et ses activités agricoles.
2. Station 2 (Zamzouma) : est située en aval de la commune de Boumahra Ahmed, après la ville de Guelma (chef-lieu de la wilaya) et caractérisée par une pollution domestique, industrielle (usine de carrelage et de marbre) et agricole assez remarquable.
3. Station 3 (Boudaroua) : st située en dehors des zones urbaines mais prêt des activités agricoles intenses.
4. Station 4 (Chihani) : délimite le village de Chihani (wilaya d'El-Tarf), région dominée par ces grandes aires de pâturage et d'élevage des bovins et des champs cultivés.
5. Station 5 (Sidi Salem) : a été prise à 150 m avant l'embouchure dans la Méditerranée (wilaya d'Annaba). Elle est située près d'une importante activité industrielle (FERTIAL, Raffinage d'huiles et FERROVIAL), des stations d'essence et de lavage.

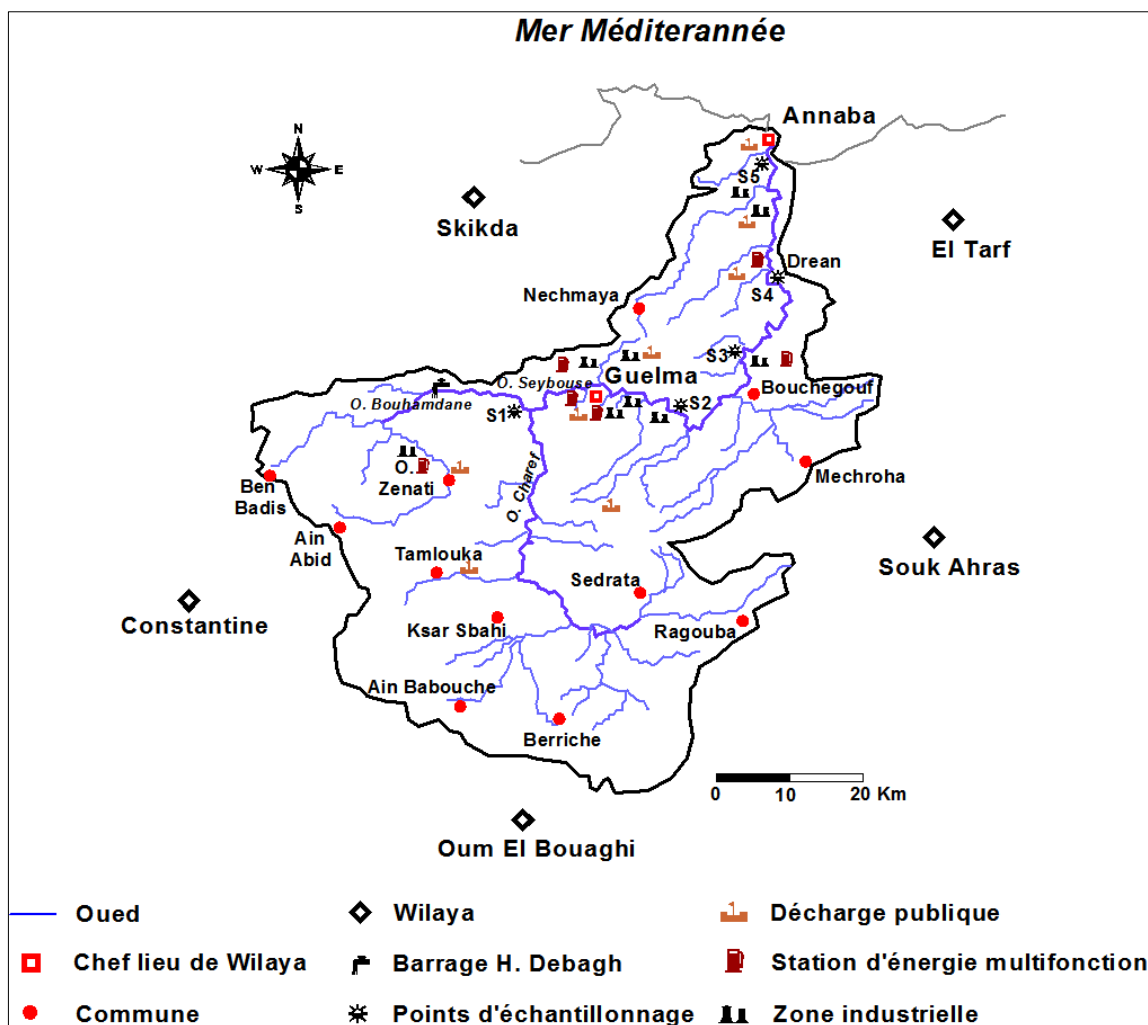


Figure 26: Bassin versant de la Seybouse et sites de prélèvement.

Tableau 19 : Caractéristiques morpho dynamiques moyennes des stations étudiées.

Paramètres					
Stations	Altitude (m)	Largeur (m)	Profondeur (m)	Vitesse (m/s)	Localisation géographique
S1	280	35	0,5	1,53	Latitude: E: 007° 18.740' Longitude: N:36° 26.587' Altitude (m):280
S2	150,4	30	0,6	1,03	Latitude: E: 007° 32.057' Longitude: N : 36° 28.103' Altitude (m):150,4
S3	69	45	1,0	0,36	Latitude: E: 007° 42. 829' Longitude: N : 36° 32. 091' Altitude (m): 69,0
S4	16,5	40	0,9	0,37	Latitude: E: 007° 46.596' Longitude: N : 36° 39.584' Altitude (m): 16,5
S5	5	70	1,5	0,02	Latitude: E: 007° 46.066' Longitude: N:36° 51.689' Altitude (m):5

Le tableau 20 présente les caractéristiques des stations étudiées.

Tableau 20: Description des stations étudiées et leurs caractéristiques biotiques et abiotiques.

Paramètres						
Stations	Substrats	Activités humaines		Habitat Biotique		Observations et Raison d'être
		Agricultures	Industrielles et autres	Animaux	Végétations	
S1	Rocks, Mésolithal (Galets avec gravier et sable) Limos Vases Ripisylve	Vergers, Cultures maraichères, Cultures céréales et Pépinières	Néant Pâturage Natation Irrigation	Poissons Oiseaux Papillons Grenouilles	<i>Nerium oleander</i> <i>Phragmites australis</i> <i>Typha latifolia</i> <i>Tamarix africana</i> <i>Juncus effusus</i>	Située en amont de l'oued, rejet domestique de village Medjez Amar, après la confluence de deux oueds
S2	Galets sable Argyllal (limons et vases, argile) Ripisylve	Vergers et Cultures maraichères	Usine de Marbre Carrelagerie Pâturage Irrigation Lavage des voitures Pêche Décharge pupliques	Poissons Oiseaux papillons grenouilles Odonates	<i>Nerium oleander</i> <i>Phragmites australis</i> <i>Typha latifolia</i> <i>Tamarix africana</i> <i>Juncus effusus</i>	Située en aval de village Zanzouma et à proximité de l'unité industrielle (carrelagerie 500m)
S3	Rock Galet Sable Vases Ripisylve	Vergers et Cultures maraichères	Néant Pâturage Irrigation Pêche	Poissons Oiseaux Grenouilles Odonates	<i>Nerium oleander</i> <i>Phragmites australis</i> <i>Typha latifolia</i> <i>Tamarix africana</i> <i>Juncus effusus</i>	Activités agricoles (vergers, cultures maraichères et pâturage)
S4	Rock Galets Argile Vases Ripisylve	Vergers et Cultures maraichères	Néant Pâturage Irrigation	Poissons Oiseaux Papillons Odonates Tortue Margaritifera	<i>Nerium oleander</i> <i>Phragmites australis</i> <i>Typha latifolia</i> <i>Tamarix africana</i> <i>Juncus effusus</i>	Zone de grandes influences agricoles et domestiques de village Chihani
S5	Sable Vases Ripisylve	Vergers et Cultures maraichères	FERTIAL Raffinage d'huiles FERROVAL Station de Lavage Pompe à essence Pêche à la ligne Pâturage Ouverture d'une chaussée à pont sur l'embouchure	Odonates Poissons Grenouilles Canard Oiseaux	<i>Nerium oleander</i> <i>Phragmites australis</i> <i>Typha latifolia</i> <i>Tamarix africana</i> <i>Juncus effusus</i>	Localisé à 150 mètres avant l'embouchure dans la Méditerranée (recevant les effluents domestiques, agricoles et industriels)

Pour réaliser notre travail, nous avons effectué un suivi mensuel sur une période de 24 mois entre janvier 2012 à décembre 2013. Les analyses ont porté sur dix-neuf paramètres physico-chimiques qui sont : température, pH, conductivité, oxygène dissous, matières en suspension, turbidité, résidu sec, composants azotés, matière oxydable, dureté totale, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2+} et PO_4^{3-} ...cte. Suivant des méthodes standardisées (Rejsek, 2002; Rodier *et al.*, 1984). Pour les paramètres microbiologiques, les prélèvements ont été réalisés mensuelles durant une année.

Les mesures ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'STEP (Station de Traitement des Eaux Potables) de Hammam Debagh tandis que les autres analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire de département de biologie.

2.1.2. Matériel de prélèvement :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les

caractéristiques physicochimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.) (Rodier et al., 2005). Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière. Les échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide de bouteilles en plastique, préalablement rincées avec l'eau de la station. Pour les analyses microbiologiques, les flacons utilisés doivent assurer, une fois bouchés, une protection totale contre toute contamination. Il est conseillé d'utiliser des flacons en verre de 250, 500, 1000 ml. Avant l'usage, les flacons doivent être soigneusement lavés, puis rincés à l'eau distillée, car il ne doit rester aucune trace d'un éventuel détergent ou antiseptique. Les flacons en verre ont stérilisés par la chaleur, soit à l'autoclave à 120°C pendant 1 heure, soit au four Pasteur à 180°C pendant 1 h 30 (Larpent, 1997).

2.1.3. Méthode de prélèvement :

Le mode de prélèvement varie suivant l'origine de l'eau. Dans le cas d'une rivière, d'une nappe ouverte (bassin), d'un réservoir, la bouteille est plongée à une certaine distance du fond (50cm) et de la surface, assez loin de rive ou des bords ainsi que pour des obstacles naturels ou artificiels, en dehors des zones mortes ou des remous, et en évitant la remise en suspension des dépôts. (Rodier *et al.*, 1984)

Durant les prélèvements, les flacons sont rincés trois fois avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord. Le bouchon est placé de telle manière à ce qu'il n'y ait aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport. Les prélèvements s'effectuent dans les meilleures conditions de stérilisation.

2.1.4. Transport et conservation au laboratoire:

Tout flacon d'échantillonnage doit être clairement identifié et être accompagné d'informations suffisantes concernant l'échantillon.

les prélèvements sont transportés dans des glacières dont la température doit être comprise entre 4 à 6 °C. Même dans de telles conditions, l'analyse bactériologique doit débuter dans un délai maximal de 8 à 24 heures, après le recueil de l'échantillon. Si exceptionnellement l'analyse doit être reportée. (Rejsek, 2002).

2.2. Méthode d'analyse :

2.2.1. Différentes paramètres :

Un paramètre est un élément analysé au niveau de la composition de l'eau (présence et quantité). Pour chaque paramètre est déterminée une limite de qualité, qui fixe la quantité supérieure à ne pas dépasser.

Les directives européennes et françaises fixent des normes de qualité pour l'eau et regroupe 62 paramètres de qualité classés en 6 catégories :

- ❖ **Organoleptiques** : mesure du goût et de l'aspect de l'eau (couleur...);
- ❖ **Physico-chimiques** : le pH (acide ou basique), la température, la conductivité, la teneur en chlorures, sulfates...
- ❖ **Substances indésirables** : nitrates, fer, manganèse...
- ❖ **Substances toxiques** : métaux lourds, arsenic, plomb...
- ❖ **Pesticides** : les doses admissibles sont très faibles, de l'ordre de 0,1 microgramme par litre d'eau.
- ❖ **Microbiologiques** : présence ou non de microbes (virus, bactéries...) pouvant être pathogènes (ex : *Escherichia Coli* ou Entérocoques).

2.2.1.1. Paramètres organoleptiques :

A. Turbidité :

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes. Elle causée, dans les eaux par la présence de matière en suspension fine, comme l'argile, les limons, les grains de silice. Une faible part de la turbidité peut due à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale. (Rejsek, 2002).

La mesure est effectuée avec un turbidimètre appelé aussi néphélomètre, du type : HACH 2100N (Figure 27). Elle exprimée en :

- NTU (Nephelometric Turbidity Unit).
- FTU (Formazine Turbidity Unit).
- JTU (Jackson Turbidity Unit).



Figure 27: Turbidimètre.

2.2.1.2. Paramètres physico-chimiques :

A. pH :

Le pH ou le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène $[H_3O^+]$, il est inférieur ou supérieur à sept suivant que l'eau est acide ou basique. Le pH n'a pas de signification hygiénique mais il présente une notion très importante pour la détermination de l'agressivité de l'eau.

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Habituellement il varie entre 7,2 et 7,6 (Bremond et Vuichard 1973). Cependant, dans certains cas, il peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons (DE Villers *et al.*, 2005).

Nous avons mesuré le pH par multi paramètre, du type : *WTW multi 1971* qui donne directement la valeur du pH de l'échantillon.

B. Température :

La température a une grande importance dans l'étude et la surveillance des eaux (les eaux souterraines et superficielles). La température des eaux de surfaces varie selon plusieurs facteurs, saisonniers et autres.

L'élévation de la température s'accompagne d'une diminution de la densité, d'une réduction de la viscosité, d'une augmentation de la tension de vapeur saturante à la surface et d'une diminution de la solubilité des gaz, en plus cette augmentation de la température favorise l'autoépuration, et accroît la vitesse de sédimentation (Loup, 1974)

La mesure de la température est effectuée sur le terrain à l'aide d'un multi paramètre (*WTW multi 1971*) portatif. Nous lisons directement la température exprimée en degré Celsius (C°).

C. Conductivité :

La conductivité est liée à la présence d'ions en solution. Elle dépend de la nature des ions dissous et leurs concentrations (DE Villers *et al.*, 2005).

Selon Rejsek (2002), la température et la viscosité influent également sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité. La conductivité des eaux s'exprime en micro siemens par centimètre ($\mu S/cm$) (Detay, 1993). Le tableau au-dessous présente la relation entre la conductivité électrique et la minéralisation globale.

Tableau 21: Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique (Rodier *et al.*, 1984).

Conductivité électrique	Taux de minéralisation
CE < 100 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation très faible
100 < C.E < 200 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation faible
200 < C.E < 333 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation moyenne
333 < C.E < 666 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
666 < C.E < 1000 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation importante
C.E > 1000 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation élevée

La mesure est effectuée sur le terrain par un multi paramètre (*WTW multi 1971*) portatif adéquat, que nous plongeons l'électrode de l'appareil dans l'eau à analyser.

D. Salinité :

Dans la plupart des rivières, le risque d'une salinité excessive due à la présence de chlorure de sodium et en particulier lorsque l'irrigation est pratiquée à grande échelle, il y a un réel danger que la salinité soit trop forte et l'eau pourrait devenir impropre à l'irrigation. La mesure est effectuée in site par le même multi paramètre.

E. Potentiel redox :

Dans les systèmes aqueux, le potentiel redox affecte les états d'oxydation des éléments (H, C, N, O, S, Fe...). Dans une eau bien oxygénée, les conditions d'oxydation dominent. Quand la concentration d'oxygène diminue, le milieu devient plus réducteur; ce qui se traduit par une réduction du potentiel redox (DE Villers *et al.*, 2005). La mesure est réalisée in site par un multi paramètre (*WTW multi 1971*) portatif.

F. Oxygène dissous :

La présence de l'oxygène dans les eaux est le résultat des échanges entre l'atmosphère et la surface de l'eau ainsi que de l'activité photosynthétique du phytoplancton (Alzieu, 1989). La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs; tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments (Rodier, 1996). Cette concentration dépend également de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau

(Thierrin *et al.*, 2001). La détermination de l'oxygène dissous (O_2) est réalisée au terrain à l'aide d'un multi paramètre portatif. La concentration en oxygène dissous dans l'eau est communément exprimée en milligramme par litre (mg/l) ou en pourcentage de saturation (Laurentides, 2009).

2.2.1.3. Paramètres de minéralisation globale :

A. Dureté totale (Titre hydrotimétrique) :

La dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés (Bernard, 1966). Elle correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium (Rodier *et al.*, 1984). La dureté s'exprime souvent en degré français (F°) selon le classement suivant:

Tableau 22: Qualité de l'eau en fonction de la dureté. (Rodier *et al.*, 1984)

Dureté (F°)	Qualification de l'eau
0-7	Eau très douce
0-14	Eau douce
14-20	Eau moyennement dure
20-30	Eau assez dure
30-50	Eau dure
50 et plus	Eau très dure

➤ Détermination de la dureté totale:

En pratique la dureté totale est définie par la somme des cations calciums et magnésiums. On détermine la dureté totale de l'eau par la méthode complexométrique. Le mode opératoire comme suit :

Prélever 100 ml de l'eau à analyser, ajouter 2 ml de solution tampon (hydroxyde d'ammonium 34%) et quelques grain d'indicateur coloré (Noir Eriochrome T), le titrage s'effectuer par l'addition goutte à goutte l'EDTA. La fin de la réaction est visualisée par l'indicateur devenu libre, de couleur bleu.

Expression des résultats : $TH (^\circ F) = V_{(ml)} * 10$

B. Calcium (Ca^{2+}) :

L'eau est composée de nombreux éléments minéraux et organiques. Sa richesse en minéraux varie selon la composition des sols qu'elle traverse. Les terrains calcaires donneront une eau riche en calcium.

Le calcium est un composant majeur de la dureté de l'eau. Sa teneur est liée directement à la nature géologique des terrains traversés. Il existe à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité

moindre, sous forme de sulfates, chlorure... etc. (Rodier, 1996). Sa présence dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles, soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4).

➤ **Dosage du calcium:**

Méthode titrimétrie à l'EDTA :

Le dosage doit être réalisé en milieu alcalin, pH est rendu supérieur à 12 par l'addition de deux ml d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH), l'indicateur de la fin de réaction, le murexide, forme un complexe avec les ions calcium de coloration rouge. Au fur et mesure de l'ajout de l'EDTA, les ions calcium se séparent du complexe avec l'indicateur pour se complexer avec l'EDTA. La fin de la réaction est visualisée par l'indicateur devenu libre, de couleur violet.

Expression des résultats :

La concentration de calcium, en mg/l est donnée par la formule suivante :

$$[\text{Ca}^{2+}] \text{ mg/l} = V_{\text{EDTA}} * F * 8$$

C. Magnésium (Mg^{2+}) :

Le magnésium se place au huitième rang parmi les éléments le plus répandu dans la nature. Il constitue 2,5 % de la croûte terrestre. Les principales sources du magnésium contenu dans ces eaux sont les minéraux ferromagnésiens des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires. Il constitue un élément significatif de la dureté de l'eau.

➤ **Dosage du magnésium :**

Le dosage doit être réalisé en milieu alcalin, on ajoute deux ml d'hydroxyde d'ammonium pour l'ajustement du pH=10 et quelque graine de Noir Eriochrome T, le titrage s'effectuer par l'addition goutte à goutte l'EDTA. La fin de la réaction est visualisée par l'indicateur devenu libre, de couleur bleu.

Expression des résultats :

La concentration de magnésium, en mg/l est donnée par la formule suivante :

$$[\text{Mg}^{2+}] \text{ mg/l} = (V_{\text{Mg}} - V_{\text{Ca}}) * F * 4,8$$

D. Chlorure (Cl^-):

Le chlorure est un sel mobile, non toxique, très répandu dans la nature sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl), et de calcium (CaCl_2). Leur présence dans les eaux de surfaces dépend de l'origine de l'eau et de la nature du terrain qu'elle traverse (Rodier

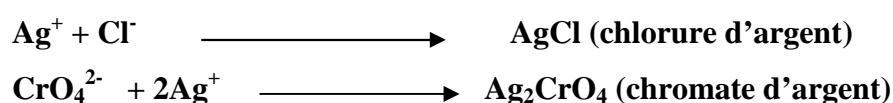
et al., 1984), à la pénétration de l'eau de mer dans les régions côtières et à la pollution provenant des rejets urbains et industriels.

➤ **Dosage des ions chlorure :**

Méthode argentrimétrique :

Les ions de chlorure sont dosés par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO_3) et précipités à l'état de chlorure d'argent (précipité blanc), l'indicateur de fin de réaction est le chromate de potassium (K_2CrO_4).

La fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'un précipité rouge (chromate d'argent). Ce dosage doit être réalisé en milieu neutre.



Expression des résultats :

La concentration de magnésium, en mg/l est donnée par la formule suivante : $[\text{Cl}^-] \text{ mg/l} = V_{(\text{AgNO}_3)} * 142$

E. Potassium (K^+) :

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schistes), des argiles potassiques, de certains rejets industriels et de la dissolution des engrais chimiques (NPK). (Rodier, 2005).

➤ **Dosage de Potassium :**

Le potassium est dosé par un Photomètre multi paramètres de type HI 83200.

F. Sulfate (SO_4^{2-}):

Les sulfates sont des composés naturels des eaux. Ils sont d'origine naturelle (gypse, pyrite, volcans), industrielle (industrie pétrolière, tannerie, papeterie, industrie textile) et proviennent aussi des produits de traitement agricole (Gaujous, 1995).

➤ **Dosage des sulfates:**

Les ions sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Après l'étalonnage de spectrophotomètre le dosage se réalise selon les étapes suivantes :

- ❖ Prendre 20ml de l'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.
- ❖ Ajouter 5ml de la solution stabilisante.

- ❖ Ajouter 2ml de chlorure de baryum.
- ❖ Agiter pendant 1 minute puis passer au spectrophotomètre au 420 nm.

J. Résidu sec :

Le résidu sec correspond aux matières dissoutes, ce sont des matières dispersées de façon homogène dans l'eau, faiblement polarisées ou ionisées.

➤ **Détermination des résidus secs:**

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes d'une eau. Elle consiste à prélever 200 ml d'eau à analyser dans un bucher. Cet dernier est placée à l'étuve à 105°C pendant 24 heures, puis laisser refroidir pendant ¼ d'heure au dessiccateur, et peser immédiatement (Rodier *et al.*, 2005). Les résultats sont donnés en mg/l suivant l'expression:

Expression des résultats :

Les résultats sont donnée par la formule suivante : **RS mg/l= (P_p-P_v)*5*1000**

P_p: Poids plein de la capsule

P_v: Poids à vide de la capsule

2.2.1.4. Paramètres concernant des substances indésirables :

A. Nitrate (NO₃):

Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux, proviennent en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant (Bremond et Vuichard 1973). Ils sont issus de réduction des nitrites par les microorganismes dans les plantes, le sol ou l'eau.

➤ **Dosage des nitrates:**

Le dosage des nitrates s'effectue en présence de salicylate de sodium. Les nitrates donnent du paranitrosylate de sodium coloré en jaune, peuvent être mesuré par colorimétrie.

Après l'étalonnage de spectrophotomètre le dosage se réalise selon les étapes suivantes :

- ❖ Prendre 10 ml de l'eau à analyser dans un bécher à 250ml.
- ❖ Ajouter 2 à 3 gouttes d'hydroxyde de sodium à 30%.
- ❖ Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.
- ❖ Evaporer à sec au bain marie à 75-88°C, laisser refroidir.

❖ Rendre le résidu avec 2 ml d'acide sulfurique concentré et laisser reposer 10 minutes.
Ajouter 15ml d'eau distillée et 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectrophotomètre au 415 nm

B. Nitrites (NO₂⁻) :

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniaque et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates, leur présence dans les eaux naturelles est faible. Une eau contenant des nitrites est à considérer comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de qualité microbiologique (Rejsek, 2002).

➤ **Dosage des nitrites:**

Les ions nitrites réagissent en milieu acide avec la sulfamide en formant sel de diazonium qui avec le N-(1-naphtyl)-éthylènediamine-dichlorhydraté un colorant azoïque rouge.

Après l'étalonnage de spectrophotomètre le dosage se réaliser selon les étapes suivantes :

- ❖ Prendre 50 ml de l'eau à analyser dans une fiole jaugée de 50 ml.
- ❖ Ajouter 1 ml du réactif mixte
- ❖ Attendre 10 minutes puis passer au spectrophotomètre au 543 nm.
- ❖ L'apparition de la coloration rose indique la présence des ions nitrates

C. Ammonium (NH₄⁺):

Dans l'eau, l'azote se trouve sous deux formes : L'ammoniac (NH₃⁺) et l'ammonium (NH₄⁺). La présence de l'ammonium dans les eaux résulte le plus souvent de la décomposition de matières organique. Il est utilisé comme indicateur de pollution et il est souvent responsable de la mauvaise classe d'une rivière.

➤ **Dosage de l'ammonium:**

Les ions d'ammoniums réagir avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitrosopentacyanoferrate (III) de sodium.

- ❖ Après l'étalonnage de spectrophotomètre le dosage se réaliser selon les étapes suivantes :
- ❖ Prendre 20ml de l'eau à analyser.
- ❖ Ajouter 4ml du réactif I

- ❖ Ajouter 4ml du réactif II et ajuster à 50ml avec eau distillée et conserver à l'obscurité pendant 1h30 puis passer au spectrophotomètre au 655 nm.

L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence des ions d'ammonium.

D. Phosphate (PO_4^{3-}) :

La pollution causée par les phosphates et due en partie à des rejets d'eaux domestiques et industrielles (détergents et industries chimiques) et en partie à l'utilisation des fertilisants et des engrais considérés comme des éléments favorisant l'eutrophisation des masses d'eau stagnantes (Gaujous, 1997).

➤ **Dosage de Phosphate :**

Le phosphate est dosés par un Photomètre multi paramètres de type HI 83200.

E. Matière en suspension :

Ce sont des particules solides très fines et généralement visibles à l'œil nu, théoriquement, elles ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdale. Elles déterminent la turbidité de l'eau. Elles diminuant la diffusion de la lumière nécessaire à la photosynthèse (Ben El Mahdi, 1987), diminuent la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique.

➤ **Détermination des matières en suspension:**

La détermination des matières en suspension dans les eaux se fait par la filtration selon les étapes suivantes :

1^{re} étape : sécher la membrane de filtration dans un étuve à 105°C et peser après le passage au dessiccateur.

2^e étape : mètre la membrane sur la rampe à filtration sous vide et ajouter 200ml d'eau à analyser.

3^e étape : après la filtration, sécher la membrane à 105°C pendant 20 minutes, laisser refroidir au dessiccateur puis peser une 2^{eme} fois.

F. Matière organique :

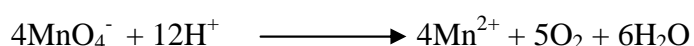
La matière organique provient soit l'érosion des sols, soit de la décomposition de matières animales ou végétales qui se trouvent dans l'eau.

➤ **Détermination de la matière organique:**

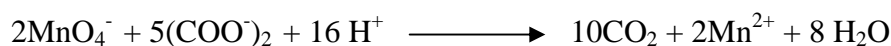
Cette mesure renseigne sur la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du permanganate de potassium par matières organiques présentes dans une eau. Le dosage doit être réalisé en milieu alcalin à Chaud.

La détermination de la matière organique peut se décomposer en plusieurs étapes :

1^{re} étape : chauffage à ébullition douce d'un 100ml d'eau à analyser en présence de 10 ml d'acide sulfurique à 50% et 10 ml de solution de permanganate de potassium pendant 10 minutes. Il se produit la réduction d'une partie du KMnO_4 par la matière oxydable de l'échantillon selon l'équation suivant :



2^e étape : La réduction de l'excès de permanganate de potassium par l'acide oxalique selon l'équation suivant :



3^e étape : le titrage en retour de l'excès d'acide oxalique par le permanganate de potassium. La fin de la réaction est visualisée par le virage du couleur rose clair.

Faire un essai à blanc pour déterminer la consommation de permanganate de potassium en absence de matière oxydable en opérant dans les mêmes conditions.

2.2.1.5. Paramètres Microbiologiques:

Le deuxième volet du suivi de la qualité des eaux de l'oued Seybouse est la recherche de la charge bactérienne qui s'y est développée.

L'analyse bactériologique a pour but de mettre en évidence la présence des bactéries qui modifient l'aptitude d'une eau à une utilisation donnée, elle consiste en recherche et numération des germes de la flore totale de l'eau.

A. Recherche et dénombrement des germes aérobies revivifiables à 22°C et 37°C :

La recherche des micro-organismes aérobies non pathogènes dits "revivifiables" permet de dénombrer les bactéries se développant dans des conditions habituelles de culture et représentant la teneur moyenne en bactéries d'une ressource naturelle.

Ces germes n'ont pas d'effets directs sur la santé mais sous certaines conditions, ils peuvent générer des problèmes. Ce sont des indicateurs qui révèlent la présence possible d'une contamination bactériologique.

Mode opératoire :**❖ Méthode par incorporation :**

Cet examen vise à dénombrer non spécifiquement le plus grand nombre des microorganismes, en particulier de bactéries se développant dans les conditions aérobies habituelles de culture. Cette méthode est la plus employée pour les analyses à but sanitaire.

La recherche et le dénombrement des germes revivifiables se réalisent à deux températures différentes afin de cibler les micro-organismes psychrophiles (22°C) et les microorganismes mésophiles (37°C). Le milieu de culture est de la gélose glucosée tryptonée à l'extrait de levure (TGEA) fondue puis refroidie à 45±2°C. Les dilutions décimales vont de 10⁻¹ à 10⁻³, en double dans des boîtes de Pétri. Après ensemencement les boîtes sont partagées en deux séries distinctes:

- La première série est incubée à 22±2°C pendant 68±4 heures,
- La seconde série est incubée à 36±2°C, pendant 44±4 heures.

B. Recherche et dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale:**B.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux:****❖ Coliformes totaux :**

Regroupe plusieurs espèces bactériennes de la famille des Entérobactéries qui sont aérobies et anaérobies facultatives, à Gram négatif, asporulées en forme de bâtonnet. De plus, tous les coliformes totaux doivent produire une réaction négative à l'épreuve de la cytochrome-oxydase et une réaction positive au test de l'ONPG (ortho-nitrophényl-β-D-galactopyranoside).

Les coliformes totaux sont des microorganismes indicateurs dont le dénombrement permet de détecter le niveau de pollution d'origine organique dans les eaux de surface, les eaux souterraines (CEAEQ, 2000).

❖ Coliformes fécaux ou thermo tolérants :

Les coliformes fécaux se définissent comme des bactéries aérobies et anaérobies facultatives, à Gram négatif, asporulées, en forme de bâtonnet.

En raison de leur capacité de croître à la température élevée de 44,5 °C et non seulement à 35 °C comme les coliformes totaux, les coliformes fécaux sont de plus en plus souvent désignés par l'appellation « coliformes thermo tolérants » dans la littérature scientifique.

Les coliformes fécaux qui produisent une réaction négative à l'épreuve de la cytochrome-oxydase, une réaction positive au test de l'ONPG (ortho-nitrophényl- β -D-galactopyranoside) .les « coliformes fécaux confirmés » sont en réalité des *E. coli*. (CEAEQ, 2003)

B.1.1. Test présomptif :

B.1.1.1. Méthode par filtration:

Le dénombrement est basé sur une filtration d'un 100ml d'eau à analyser à travers une membrane filtrante en cellulose de porosité 0.45 μ m et de 47 mm de diamètre, la membrane est placée sur un milieu gélosé spécifique et incubé à 37°C pendant 24H (milieu Mac Conkey et le milieu TTC tergitol).

Mode opératoire:

- ❖ Flamber la face supérieure (plaque poreuse) et l'entonnoir de l'appareil de filtration.
- ❖ Placer une membrane stérile, cotée quadrillé vers le haut, sur la plaque poreuse, à l'aide d'une pince stérile.
- ❖ Bien placer l'entonnoir stérile et puis rincer à l'eau distillée stérile l'entonnoir et la membrane.
- ❖ Verser 100ml d'eau à analyser.
- ❖ Après la filtration, placer la membrane sur le milieu et incubé à 37°C pendant 24H

B.1.1.2. Méthode par détermination du NPP:

Le principe de la méthode NPP consiste à ensemercer de nombreuses prises d'essai d'un même échantillon et / ou de dilutions celui-ci dans des tubes de milieu de culture liquide. Dans notre étude le dénombrement s'effectue par le premier système :

- ❖ Trois tubes doubles concentration.....Inoculum 10 ml
- ❖ Trois tubes simples concentration..... Inoculum 1 ml
- ❖ Trois tubes simples concentration..... Inoculum 0.1 ml

B.1.2. Test confirmatif :

B.1.2.1. Sur le milieu solide :

Milieu de confirmation : Eau Peptonnée exempte d'indole + réactif Kovacs pour le test indole.

Après l'incubation, sur le milieu Mac conkey, dénombrer les colonies petites et lisses légèrement bombées à couleur rose. Sur le milieu TTC tergitol 7 dénombrer les colonies avec une coloration rouge –rose (réduction de TTC) et des colonies jaunes (absence de

réduction de TTC), un halo jaune sous la membrane, qui provient de la fermentation du lactose par ces colonies.

Repiquer à l'aide d'une l'anse de platine stérile les colonies sur le milieu de confirmation et incuber à 44°C pendant 24 heures. Sont considérés comme positifs les tubes présents une pousse bactérienne. Pour la recherche d'*E. coli*, ajouter quelques gouttes de réactif Kovacs, si l'apparition d'un anneau rouge en surface considéré comme *E.coli*.

B.1.2.2. Sur le milieu liquide:

Après l'incubation, tous les tubes présentent un virage du couleur (violet vers le jaune) et production du gaz dans la cloche sont considérés comme positifs. Confirmer par le milieu eau peptonnée exempte d'indole (ajouter 0,1 ml dans le milieu de confirmation) et incuber à 44°C. Après l'incubation ajouter quelques gouttes de réactifs Kovacs pour la confirmation d'*E.coli*.

B.2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux :

Les streptocoques fécaux sont des bactéries :

De la famille des *Enterococcaceae* : Coques ovales Gram +, en diplocoques ou courtes chaînettes, catalase -, AAF et fermentatif du glucose. Du groupe D de la classification de Lancefield. L'ensemble des Streptocoques fécaux est constitué principalement des espèces : *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*, *Enterococcus bovis*, *Enterococcus equinus*.

Ce sont des bactéries commensales de l'intestin des animaux et des humains. Leur présence dans l'eau traduit donc une contamination fécale de cette eau et laisse supposer la présence possible de bactéries pathogènes. La contamination peut être ancienne car ces bactéries survivent relativement longtemps dans l'eau.

B.2.1. Test présomptif :

B.2.1.1. Méthode par filtration:

Le dénombrement est basé sur une filtration d'un 100ml d'eau à analyser à travers une membrane filtrante en cellulose de porosité 0.45 µm et de 47 mm de diamètre, la membrane est placée sur un milieu gélosé spécifique et incuber à 37°C pendant 24H (milieu de Slanetz et Bartley).

B.2.1.2. Méthode par détermination du NPP:

Les Streptocoques fécaux sont dénombrés en milieu liquide à l'aide d'un bouillon de culture (milieu de Rothe). A partir de l'eau à analyser bien homogénéisé, ensementer :

- ❖ 3 fois 10ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu Roth D/C
- ❖ 3 fois 1ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu Roth S/C
- ❖ 3 fois 0.1ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu Roth S/C

Incuber les tubes à 37°C pendant 24 à 48 heures. Les tubes présentant un trouble microbien pendant cette période seront considérés comme susceptibles de contenir un streptocoque fécal, ils seront obligatoirement soumis au test confirmatif. Noter le nombre de tubes positifs dans chaque série. (Lebres, 2006).

B.2.2. Test confirmatif :

B.2.2.1. Sur le milieu solide :

Après l'incubation, sur le milieu Slanetz et Bartley, dénombrer les colonies petites à couleur roses, marron ou rouges.

Repiquer à l'aide d'une l'anse de platine stérile les colonies sur le milieu de confirmation (milieu EVA Litsky ou milieu BEA) et incuber à 37°C pendant 24 heures. Sont considérés comme positifs les tubes présente un trouble du couleur et formation d'une pastille blanchâtre au fond des tubes, ces deux observations confirment la présence des streptocoques fécaux.

B.2.2.2. Sur le milieu liquide :

Après l'incubation, sur le milieu Rothe, dénombrer les tubes positifs (trouble de la couleur) par la méthode NPP.

Repiquer 0.1ml sur le milieu de confirmation et incuber à 37°C pendant 24 heures. Sont considérés comme positifs les tubes présente un trouble du couleur et formation d'une pastille blanchâtre au fond des tubes, ces deux observations confirment la présence des streptocoques fécaux.

B.3. Recherche et dénombrement des Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR):

❖ Méthode par incorporation :

Les anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) se présentent sous forme de bactéries Gram +, se développant en 24 à 48 heures sur une gélose Viande Foie en donnant des colonies typiques réduisant le sulfite de sodium (Na_2SO_3) qui se trouve dans le milieu, en sulfure qui en présence de Fe^{2+} donne FeS (sulfure de fer) de couleur noire. Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination fécale ancienne (Rejsek, 2002).

À partir de l'eau à analyser :

- ❖ Prendre environ 20 ml dans un tube stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 80°C pendant 8 à 10 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes.
- ❖ Après chauffage, refroidir immédiatement le tube en question, sous l'eau de robinet.
- ❖ Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5 ml par tube.
- ❖ Ajouter environ 18 à 20 ml de gélose Viande Foie, fondue puis refroidie à 44°C, additionnée d'une ampoule d'Alun de fer et d'une ampoule de Sulfite de sodium.
- ❖ Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant les bulles d'air et en évitant l'introduction d'oxygène.
- ❖ Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes environ, puis incuber à 37°C, pendant 24 à 48 heures.
- ❖ La première lecture doit absolument être faite à 16 heures car très souvent les colonies des ASR sont envahissantes auquel cas on se trouverait en face d'un tube complètement noir rendant ainsi l'interprétation difficile voire impossible et l'analyse sera à refaire en utilisant des dilutions décimales de 10^{-1} voire 10^{-2} , la deuxième lecture se fera à 24 heures et la troisième et dernière à 48 heures.
- ❖ Dénombrer toute colonie noire de 0,5 mm de diamètre, poussant en masse.

C. Recherche des micro-organismes pathogènes :

C.1. Méthode d'ensemencement sur gélose :

Les géloses employées sont : Chapman et Cétrimide. L'ensemencement par filtration sur boîtes de Pétri est pratiqué le plus souvent dans un but d'isolement. Les boîtes sont codées puis incubées à 37°C pendant 24-48 heures.

C.2. Isolement et identification :

Pour étudier les microorganismes, il est indispensable de les isoler et d'en faire une culture pure. L'identification permet au cours de l'isolement ou non de mettre en évidence une ou plusieurs propriétés biochimiques d'une bactérie pour commencer à l'identifier. Elle repose sur la morphologie, les caractères enzymatiques et biochimiques.

C.2.1. Caractères morphologiques :**❖ L'état frais :**

L'état frais permet d'observer des bactéries vivantes et apporte des renseignements sur la morphologie, le mode de groupement, la mobilité et la quantité approximative de bactéries. (Delarras *et al.*, 2003).

A partir d'une culture en milieu liquide, déposer sur une lame propre bien dégraissée une goutte de la culture à étudier à l'aide d'une anse de platine préalablement stérilisée. A partir d'une culture sur milieu solide, déposer tout d'abord sur une lame une goutte d'eau distillée stérile. Puis apporter et dissocier dans l'eau un inoculum bactérien. Recouvrir d'une lamelle, puis luter la préparation avec de la paraffine ou de la vaseline.

❖ Coloration de gram :

L'examen microscopique après coloration de gram nécessite au départ une préparation d'un frotti au l'objectif fois 100. Cette examen permet de détecté la forme des microorganismes.

Faire agir successivement:

- 1) **Violet de gentiane** : quelques gouttes à verser sur la lame. Colorer 1 minute.
- 2) **Lugol** : entraîner le violet avec un excès de Lugol. Laisser agir 30 secondes, puis laver à l'eau.
- 3) Différenciation : décolorer à l'alcool/acétone (qui va décolorer les Gram -) et laver à l'eau.
- 4) Recolorer à la **fichine** 30 secondes, puis laver à l'eau distillée et sécher.
- 5) Observation au microscope optique (bactéries violettes = Gram +, roses = Gram -).

C.2.2. Caractères biochimiques :

L'identification biochimique des bactéries réalisées par le système API (Tableau 23).

Tableau 23: Identification Biochimique.

Type de germes	Type de Galerie
Entérobactéries	Galerie API 20 E
Streptocoques	Galerie API Strepto.
Staphylocoques	Galerie API Staph.
Pseudomonas	Galerie API 20 NE

C.2.2.1. Profil biochimique pour Coliformes :

➤ API 20E :

On réalise 20 tests pour avoir le plus de caractères possibles de manière à identifier de façon plus certaine les différentes Entérobactéries.

Les tests sont réalisés dans l'ordre du tableau d'identification API des entérobactéries. Le tableau est d'ailleurs appelé "Api 20E" à cause du nombre de tests à effectuer.

La galerie Api 20E comporte 20 micro-tubes contenant des substrats déshydratés. Les microtubes sont inoculés avec une suspension bactérienne qui reconstitue les milieux.

Préparation de la galerie :

- ❖ Mettre de l'eau distillée sur le fond de la boîte (partie alvéolée), toutes les alvéoles doivent être remplies, éliminer l'excès d'eau en renversant la boîte au-dessus de l'évier.
- ❖ Introduire la suspension bactérienne dans chaque tube à l'aide d'une pipette Pasteur stérile, pointe appuyée à l'intérieur et sur le côté pour éviter la formation de bulles. Pour certains caractères:
 1. Remplir de suspension le tube et la cupule (CIT, VP, GEL)
 2. Remplir le tube de suspension et recouvrir d'huile de paraffine (ADH, LDC, ODC, H₂S, URE).
- ❖ Placer la galerie sur le fond de la boîte elle doit être manipulée avec la pince.
- ❖ Recouvrir la boîte avec son couvercle.
- ❖ Incrire nom, référence souche, date et température d'incubation sur la languette latérale de la boîte.
- ❖ La lecture : les réactions produites pendant la période d'incubation se traduisent par des virages colorés spontanés ou révélés par additions de réactifs.
- ❖ Identification de la souche se fait à l'aide du tableau de lecture d'identification qui est obtenu avec le catalogue analytique ou d'un logiciel d'identification (bioMérieux, 2007).

C.2.2.2. Profil biochimique pour Streptocoques:

➤ API Strepto :

La galerie API Strep comporte 20 microtubes contenant les substrats déshydratés pour la mise en évidence d'activités enzymatiques ou de fermentation de sucres.

Les tests enzymatiques sont inoculés avec une suspension dense, réalisée à partir d'une culture pure, qui reconstitue les milieux. Les réactions produites pendant la période d'incubation se traduisent par des virages colorés spontanés ou révélés par l'addition de réactifs.

Les tests de fermentation sont inoculés avec un milieu enrichi (contenant un indicateur de pH) qui réhydrate les sucres. La fermentation des carbohydrates entraîne une acidification se traduisant par un virage spontané de l'indicateur coloré.

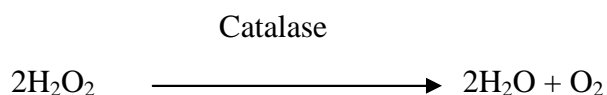
La lecture de ces réactions se fait à l'aide du Tableau de lecture et l'identification est obtenue à l'aide du Catalogue Analytique ou d'un logiciel d'identification. (bioMérieux, 2010)

C.2.2.3. Profil biochimique pour Staphylocoques:

➤ Test catalase :

Principe :

Le catalase est un enzyme permet la dégradation de l' H_2O_2 oxygéné à l'eau et oxygène libre qui se dégage sous forme gazeuse selon la réaction suivante:



Permet de distinguer parmi les cocci à Gram positif les staphylocoques et les streptocoques.

Mode d'emploi :

A l'aide d'une anse de platine stérile, prélever quelques colonies jaunes et étaler sur une lame, ajouter 2 à 3 gouttes de l'eau oxygénée, si l'apparition des bulles de gaz considéré comme réaction positive c'est –à-dire catalase positif.

➤ Test Coagulase :

Le test mettant en évidence l'aptitude des bactéries à coaguler le plasma est le principal test caractérisant *S. aureus*.

Le test de détection consiste à incuber pendant 4 heures à 37°C un mélange de plasma oxalaté de lapin et de la souche à tester, de préférence à partir d'une culture en gélose Chapman. .

L'apparition d'un caillot est observée en inclinant le tube à 90°C. Le test de la coagulase, il existe de très rares souches de *S.aureus* non sécrétrices de coagulase.

➤ Dégradation du mannitol :

Après 24 heures d'incubation, la dégradation du mannitol se traduit par virage au jaune du milieu de Chapman. (Figure 28).

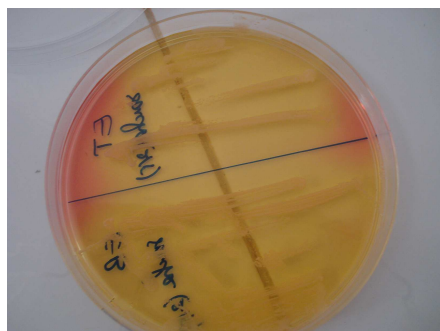


Figure 28: mannitol positif.

➤ **API Staph :**

La galerie API Staph comporte 20 microtubes contenant des substrats déshydratés. Les microtubes sont inoculés avec une suspension bactérienne réalisée en API Staph Medium qui reconstitue les tests. Les réactions produites pendant la période d'incubation se traduisent par des virages colorés spontanés ou révélés par l'addition de réactifs. La lecture de ces réactions se fait à l'aide du Tableau de lecture et l'identification est obtenue à l'aide du tableau d'identification. (bioMérieux, 2009)

C.2.2.4. Profil biochimique pour Pseudomonas:

➤ **King A et King B :**

Recherche de la pyocyanine : pigment bleu caractéristique de *Pseudomonas aeruginosa* responsable de la teinte bleue intense des milieux de culture : sa production est favorisée sur milieu de King A.

Recherche de la pyoverdine : présente une teinte vert fluorescent (*P. fluorescens*) est souvent masquée par la pyocyanine, sa production est maximale sur milieu de King B.

Teste oxydase :

Le disque d'oxydase est placé sur une lame puis mettre une goutte d'eau distillée stérile. Une quantité suffisante de culture est déposée sur le disque en écrasant la colonie sur ce disque. Apparition d'une couleur violacé instantané voir 2 min considère comme oxydase positif.

➤ **API 20 NE :**

API 20 NE est un système standardisé pour l'identification des bacilles à gram négatif non entérobactéries et non fastidieux (ex. *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Moraxella*, *Vibrio*, *Aeromonas*, etc.), combinant 8 tests conventionnels, 12 tests d'assimilation.

Préparation de la galerie :

- ❖ Mettre de l'eau distillée sur le fond de la boîte (partie alvéolée), toutes les alvéoles doivent être remplies, éliminer l'excès d'eau en renversant la boîte au-dessus de l'évier.
- ❖ Inscrire nom, référence souche, date et température d'incubation sur la languette latérale de la boîte.
- ❖ Ouvrir une ampoule d'API NaCl 0.85% Medium, à l'aide d'une pipette pasteur, prélever une colonie et réaliser une suspension.
- ❖ Introduire la suspension bactérienne (une colonie + 5ml d'eau distillée) dans les tubes (et non les cupules) des tests NO₃ à PNPG, pointe appuyée à l'intérieur et sur le côté pour éviter la formation de bulles, et recouvrir d'huile de paraffine (GLU, ADH, URE).
- ❖ Remplir tubes et cupules des tests GLU à PAC par la suspension bactérienne (une colonie + NaCl 0.85% Medium).
- ❖ Renfermer la boîte d'incubation et incuber à 30°C pendant 24 heures à 48 heures.

- ❖ La lecture : les réactions produites pendant la période d'incubation se traduisent par des virages colorés spontanés ou révélés par additions de réactifs.
- ❖ Identification de la souche se fait à l'aide du tableau de lecture d'identification qui est obtenu avec le catalogue analytique ou d'un logiciel d'identification (bioMérieux, 2006).

D. Recherche des Levures:**D.1. Méthode d'ensemencement sur gélose :**

La gélose employée est : Sabouraud + chloramphénicol. L'ensemencement par rotation sur boîtes de Pétri est pratiqué le plus souvent dans un but d'isolement. Les boîtes sont codées puis incubées à 30°C pendant 48-72 heures.

D.2. Identification :**D.2.1. Examen macroscopique**

Colonies souvent blanches crémeuses, lisses et brillantes ou colonie orangées crémeuses, lisses et brillantes.

D.2.2. Examen microscopique

A partir d'un bouillon, ou d'une colonie on réalise deux examens : état frais et coloration au bleu de méthylène.

D.2.3. Test de Blastèse :

La technique d'identification classique repose sur la blastèse : filamentation en sérum, exclusive à l'espèce *Candida albicans*.

D.2.3.1. Technique :

Répartir 0,5 mL de sérum dans un tube à hémolyse. Ensemencer la souche à tester prélevée sur milieu solide à l'anse de platine pour obtenir une suspension d'opacité légère. Incuber le tube à l'étuve à 37 °C pendant 2 à 3 heures. Déposer une goutte de la suspension entre lame et lamelle. Examiner au microscope.

D.2.3.2. Lecture :

Le tube germinatif ne présente pas d'étranglement à sa base contrairement au bourgeon habituel ou au pseudomycélium. Si un certain nombre de cellules présentent un tube germinatif, la souche étudiée est *Candida albicans*.

D.2.4. Recherche des Chlamydospores sur milieu PCB:

D.2.4.1. Ensemencement

Le milieu est coulé en petite boîte de Pétri. Faire des stries avec la souche dans la profondeur de la gélose et recouvrir d'une lamelle stérile (culture en semi-anaérobiose). Incuber à température ambiante ou à 30°C pendant 24 à 48 heures.

D.2.4.2. Lecture :

Examiner les boîtes au microscope à faible grossissement. Rechercher la présence de chlamydospores. Les levures du genre *Candida* seront reconnaissables par la présence d'un pseudomycélium et de blastospores. L'espèce *Candida albicans* sera facilement identifiée par ses chlamydospores caractéristiques : spores réfringentes de 6 à 12 µm à parois épaisses, terminales ou latérales, rondes ou ovales.

D.2.5. Api C aux:

D.2.5.1. Principe :

La galerie API 20 C AUX est constituée de 20 cupules contenant des substrats déshydratés qui permettent d'effectuer 19 tests d'assimilation. Les cupules sont inoculées avec un milieu minimum semi-gélosé et les levures poussent seulement si elles sont capables d'utiliser le substrat correspondant.

La lecture de ces réactions se fait par comparaison aux témoins de croissance et l'identification est obtenue à l'aide du catalogue analytique ou d'un logiciel d'identification ou du tableau de résultat.

D.2.5.2. Technique :

D.2.5.2.1. Préparation de la galerie :

Réunir fond et couvercle d'une boîte d'incubation et répartir de l'eau dans les alvéoles pour créer une atmosphère humide. Déposer stérilement la galerie dans la boîte d'incubation.

D.2.5.2.2. Préparation de l'inoculum :

Faire une suspension bactérienne, dans une ampoule de Suspension Medium ou NaCl 0,85% Medium ou utiliser un tube contenant 2mL de la même solution sans additif. Réaliser une suspension de turbidité égale à 2 de McFarland. Déposer une goutte de la suspension de levures sur le RAT Medium. Ouvrir une ampoule de C Medium et y transférer 100 µL de la suspension précédente.

D.2.5.2.3. Inoculation de la galerie :

- Remplir les cupules avec la suspension obtenue dans C Medium.
- Refermer la boîte d'incubation et incuber 48-72 heures à 30°C.
- Après incubation, la lecture de la galerie doit se faire en se référant au Tableau de Lecture (bioMérieux, 2010).

E. Antibiogramme:

L'antibiogramme permet de mesurer la capacité d'un antibiotique à inhiber la croissance bactérienne in vitro.

E.1. Méthode de réalisation:

E. 1. Préparation de l'inoculum:

- Prélever une colonie (Entérobactérie, Pseudomonas, Staphylococcus, Streptococcus)
- Traverser dans un tube contenant 2,5 ml de l'eau physiologie, émulsionner les colonies sur le bord du tube ensuite agiter.

E. 2. Ensemencement des boîtes:

- Tremper un écouvillon stérile sec dans l'inoculum
- Eliminer l'excès d'inoculum.
- Ensemencement en stries sur toute la surface de la boîte à 3 reprises

- Passer enfin l'écouvillon sur le bord de la gélose.
- Laisser sécher la boîte pendant quelques minutes à température ambiante, le couvercle étant fermé.
- Incuber à 35-37°C.

E.3. Disposition des disques d'antibiotique:

- Déposer les disques d'ETB à l'aide d'une paire de pinces stériles.
- Appuyer doucement sur chaque disque pour assurer un contact uniforme avec le milieu.
- Mettre les boîtes à incuber à 37°C.

E. 4. Lecture et interprétation:

- Mesurer et noter le diamètre de chaque zone d'inhibition en mm.
- Les résultats seront interprétés en fonction des diamètres critiques figurant dans des tableaux d'interprétation.

2.2.1.6. Analyses statistiques:

Des analyses statistiques uni-variée (Tests de corrélations) et multi-variée (Tests de similitude et Analyse en Composantes Principales) ont été réalisées sur les données afin de déterminer les différentes corrélations existantes entre les paramètres. Ces analyses ont été mesurées avec le logiciel Statistica version 7 et le logiciel SPSS version 19.

CHAPITRE 3

RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Analyses Physico-chimiques:

3.1.1. Evolution spatio-temporelle :

Les analyses physico-chimiques des eaux de l'oued Seybouse pendant les années 2012 et 2013, ont montré une grande variation des concentrations des éléments chimiques. Ces dernières dépassent les normes des eaux de surface et des eaux d'irrigation dans certains cas.

Afin de bien montrer et comprendre ces variations, deux représentations des données ont été réalisées :

- L'une variation spatio-temporelles.
- L'autre analyse statistique.

3.1.1.1. Evolution temporelle des paramètres physico-chimiques:

Les indicateurs physico-chimiques de la qualité de l'eau sont souvent assujettis à des variations spatio-temporelles induites par les activités anthropiques qui modifient les caractéristiques de l'eau et ils affectent sa qualité (Karrouch et Chahlaoui 2009). Ainsi, les mesures de ces paramètres dans un écosystème lotique peuvent renseigner sur le degré de pollution de ce biotope.

A. Paramètres organoleptiques:

➤ Turbidité :

On note les plus fortes variations de turbidité avec parfois des valeurs très élevées, pour les eaux des stations S1 (5690 NTU) et S4 (6870 NTU) durant le mois d'avril (année 2012) et les eaux des mêmes stations (1000 NTU, 400 NTU) durant le mois de janvier (année 2013).

Ces teneurs élevées peuvent être le résultat d'une manifestation hydrologique brutale (crue), suite à des pluies qui provoquent une augmentation des matières en suspension. Ces valeurs diminuent immédiatement en été. (Figure 29)

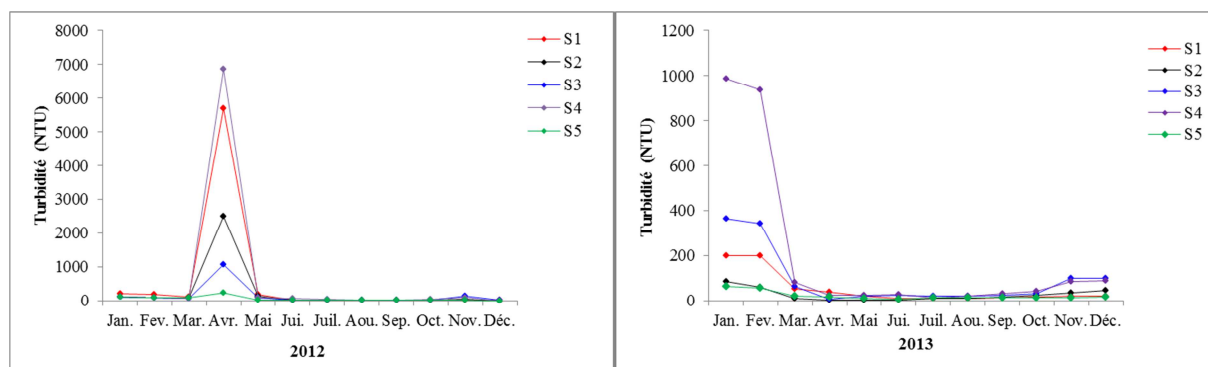


Figure 29: Variation temporelle de la Turbidité au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

B. Paramètres Physico-chimiques:

➤ pH:

Le pH est un facteur très dépendant des conditions naturelles du milieu, telles la couverture végétale et la nature des roches et du substrat pédologique et des activités humaines telles la pollution (Dussart, 1966; Bermond et Vuichaard, 1973). Il diminue en présence des teneurs élevées en matières organiques et augmente en période d'été, lorsque l'évaporation est assez importante (Meybeck *et al.*, 1996). Dans notre région, les valeurs de ce potentiel hydrogène fluctuent entre 8,16 et 8,51 (Figure 30) et dévoilent un léger gradient croissant de l'amont vers l'aval durant l'année 2012. De ce fait, le pH est légèrement neutre à modérément alcalin au niveau des stations S2 et S5. Cette figure montre que les valeurs de pH oscillent entre 7,9 et 10,3 durant l'année 2013.

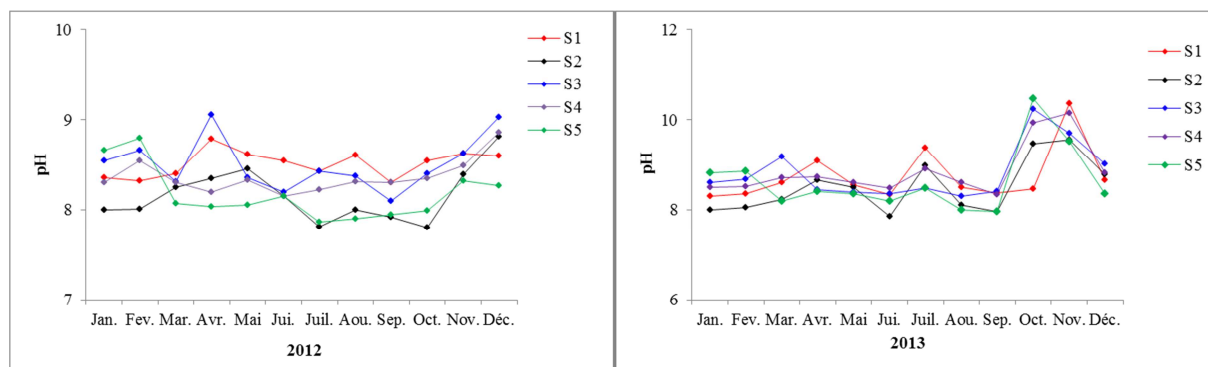


Figure 30: Variation temporelle du pH au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ Température:

La température de l'eau est fortement influencée par les conditions environnementales liées à la situation géographique de la localité, la géologie des terrains traversés, l'hydrologie de l'écosystème et surtout au climat régnant (Rodier *et al.*, 1984). Ainsi, la température moyenne ne présente pas de grandes variations d'une station à l'autre. Le minimum enregistré est de 11,78°C (station S1) et le maximum est de 29,50°C (station S5). L'évolution saisonnière de la température de l'eau au niveau de l'oued est caractérisée par des valeurs élevées en saison sèche et qui atteignent souvent 29°C. La température la plus faible a été mesurée en saison des pluies et surtout dans le mois de janvier (S3) (Figure 31). Les valeurs de la température fluctuent entre 11,01°C et 29,50°C (Figure 31) et dévoilent un léger gradient croissant de l'amont vers l'aval.

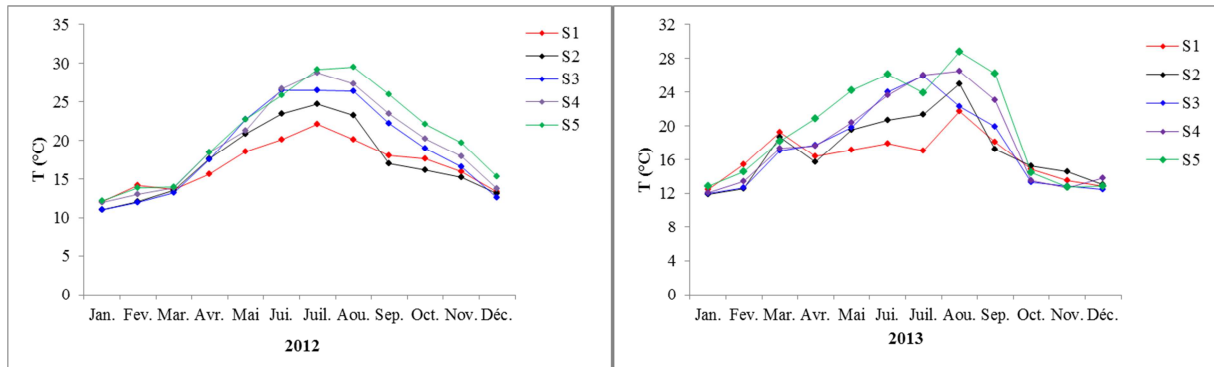


Figure 31: Variation temporelle de la température au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Conductivité électrique:**

La conductivité électrique (CE) représente la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est proportionnelle à la minéralisation de l'eau, ainsi plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée (Derwich *et al.*, 2010). Elle est également augmentée à la fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente (Rejsek, 2002). Elle sert aussi à apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Rodier *et al.*, 1984). Suites aux dosages effectués, les valeurs de la conductivité électrique sont supérieures à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, les eaux de la Seybouse sont considérées comme fortement minéralisées. Ces valeurs importantes semblent être la conséquence des apports de l'oued d'une part et d'autre part elles peuvent être le résultat des lessivages du sol. Pour la variation saisonnière, on note une augmentation de la salinité en saison sèche qui serait favorisée par l'étiage d'oued Seybouse et l'entrée des eaux marines (mer Méditerranée). Une baisse des teneurs en saison des pluies et en saison de crue de Seybouse. On constate une augmentation de la salinité de l'amont vers l'embouchure (Figure 32).

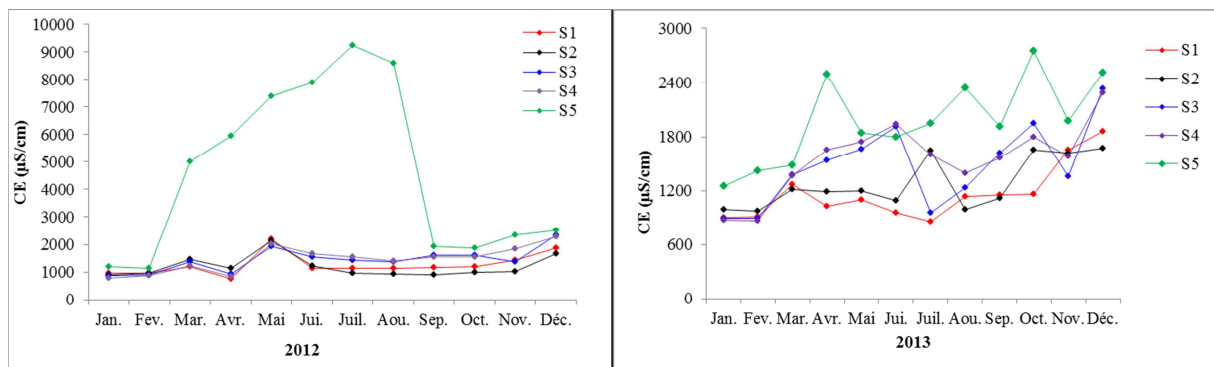


Figure 32: Variation temporelle de la conductivité électrique au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Salinité :**

Pour l'évolution spatiale (Figure 33), on note une augmentation de la salinité en saison sèche qui serait favorisée par l'étiage de l'oued Seybouse et l'entrée des eaux marines. Une baisse des teneurs qui serait expliquée par l'effet de la saison des pluies et la période de crue de l'oued.

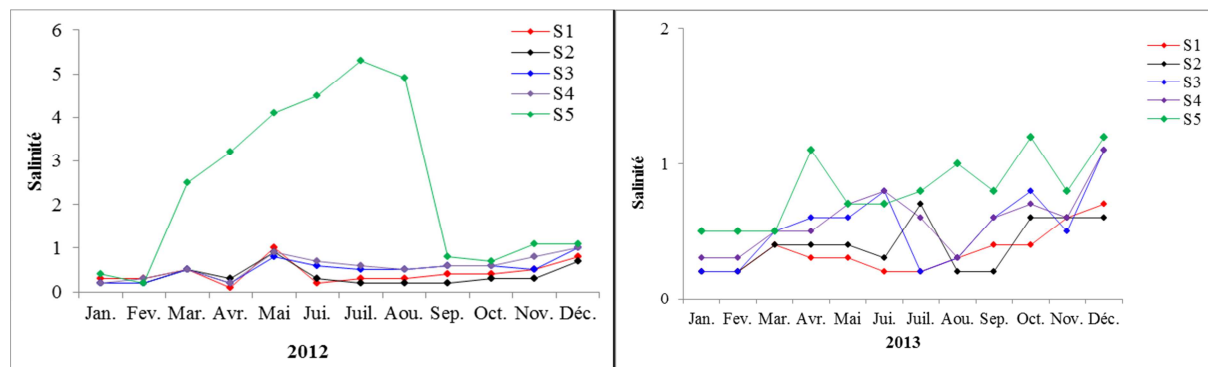


Figure 33: Variation temporelle de la salinité au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Oxygène dissous :**

La quantification de la concentration de l'oxygène dissous (OD) dans l'eau d'un hydro système est un facteur assez important car il participe à la majorité des processus chimiques et biologiques dans ces milieux aquatiques (Rodier *et al.*, 1984). L'évolution de l'oxygène dissous dans l'eau de l'Oued Seybouse traduit une dégradation plus ou moins nette de la qualité de ces eaux en aval de cet oued (Figure 34). La teneur en oxygène continue de diminuer de l'amont vers l'aval et passe de 0,25 mg/l à 3,30 mg/l (année 2012) et de 0,22 mg/l à 1,70 mg/l (année 2013). Ce déficit important en oxygène dissous est probablement lié aux fortes charges organiques générées par les effluents liquides de la commune de Sidi Salem (Annaba) chargées de fortes concentrations de substances polluantes.

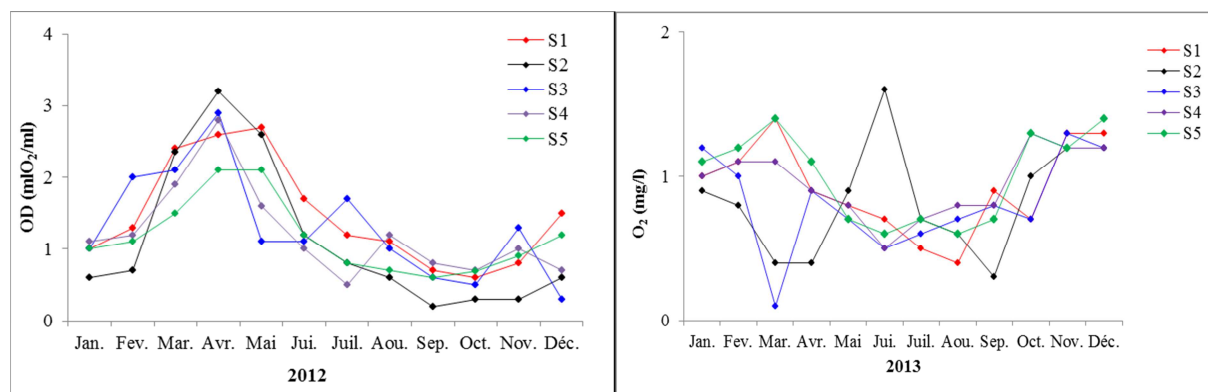


Figure 34 : Variation temporelle de l'oxygène dissous (mg /l) au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ Potentiel redox :

Une croissance extensive de microorganismes consommant tout l'oxygène disponible qui influe négativement sur le potentiel redox. Ce phénomène est observé dans les écosystèmes hautement pollués (Dugan, 1972 in Mouchara, 2009).

L'évolution de potentiel redox des eaux de l'oued Seybouse durant la période d'étude (année 2012 et 2013) a montré que les teneurs les plus élevés sont enregistrés en mois d'avril (-140mV) et en mois d'octobre (-200mV) (Figure 35).

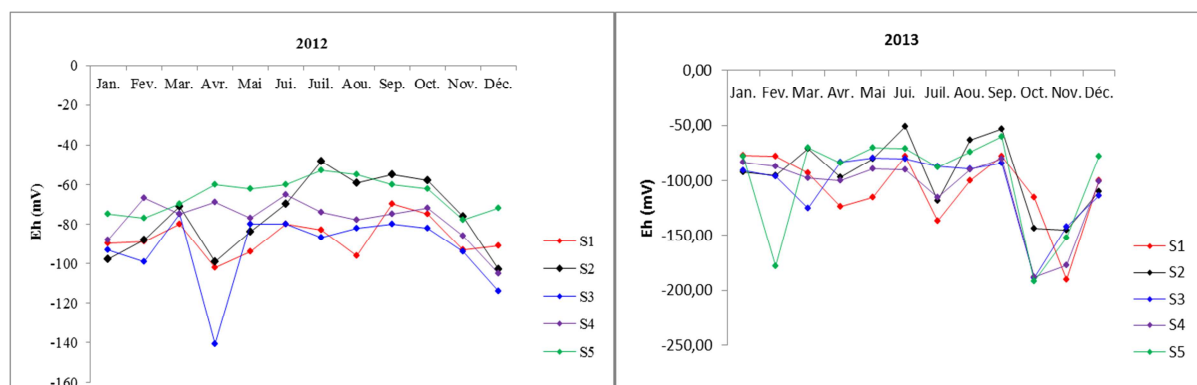


Figure 35: Variation temporelle de potentiel redox au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ Matières en suspension:

Concernant les matières en suspension (MES), ces mesures affichent une grande variabilité entre les cinq stations (Figure 36). Ces teneurs sont comprises entre 1,00 mg/l (S1) et 580 mg/l (S4). La forte charge exceptionnellement enregistrée pendant le mois d'avril est liée probablement à la manifestation hydrologique brutale (crue), dont la charge en MES peut être attribuée à une intense érosion du bassin versant, suite à des pluies torrentielles qui ont occasionnées une augmentation de ces teneurs. Les concentrations les plus basses ont été enregistrées au niveau de la cinquième station. Plus en aval, une décantation importante est à relever le long du cours d'eau.

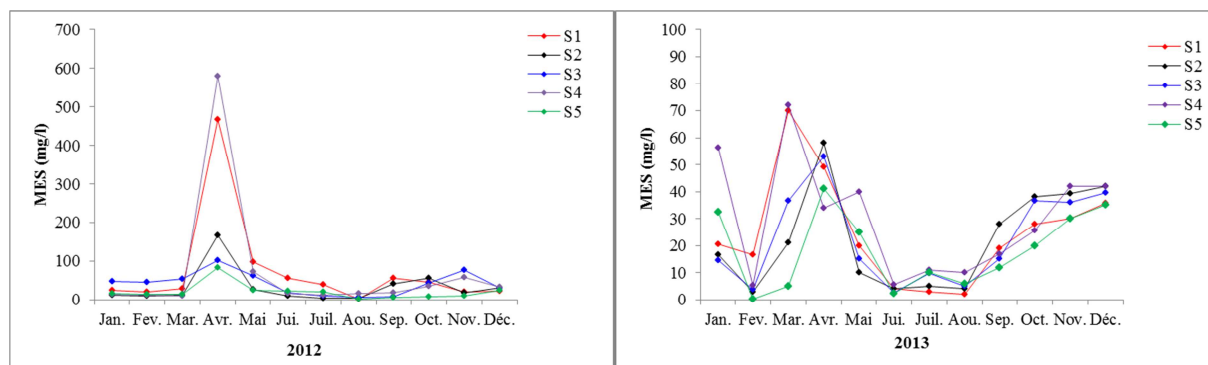


Figure 36: Variation temporelle de la matière en suspension au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Résidu sec:**

Les concentrations en résidu sec sont très variables, elles varient de 286,00 mg/l valeur considérée comme minimale enregistrée en mois de mai et 7773 mg/l considérée comme valeur maximale enregistrée en mois d'avril (Figure 37). Pour l'année 2013 les teneurs sont oscillent entre 250 mg/l (valeur minimale) et 3250 mg/l (valeur maximale).

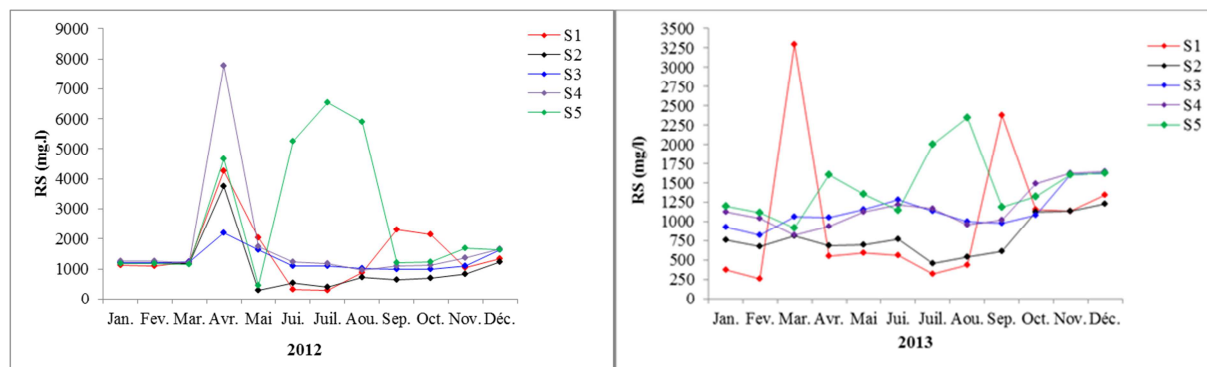


Figure 37: Variation temporelle du résidu sec au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

C. Paramètres minéralisations globales:

➤ **Titre hydrotimétrique:**

La dureté totale de l'eau (TH) est un paramètre rattaché directement à la quantité de calcium et de magnésium dans une eau (Rodier *et al.*, 1984). Les eaux de l'oued Seybouse sont caractérisées par une dureté totale élevée notamment au niveau des stations S4 et S5 avec respectivement 68,17mg/l et 77,42mg/L. Ces valeurs élevées (>30°F) pourraient être expliquées par le rejet des eaux usées des différentes industries raccordées à ces deux rives cours d'eau et à la nature des roches sédimentaires traversées par l'eau et les ruissellements.

La dureté varie entre 32,00 mg/l observé en mois d'avril au niveau de la station S3 et 124,00 mg/l observé pendant le mois de juillet au niveau de la station S4 (Figure 38). Nous constatons une augmentation de la dureté de l'amont vers l'embouchure.

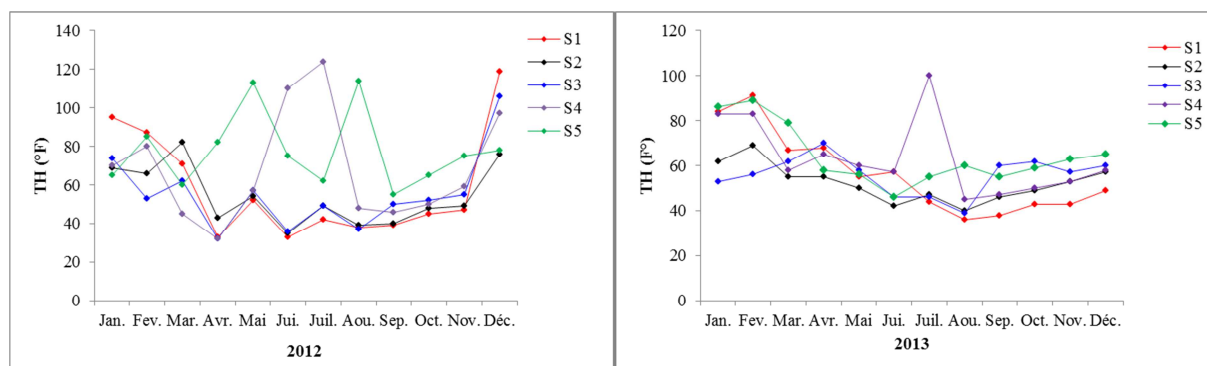


Figure 38: Variation temporelle du titre hydrotimétrique au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Calcium:**

Durant la période d'étude, les concentrations enregistrées en calcium ne présentent pas généralement de variation notable entre les stations (Figure 39), sauf au cours des mois de mai et décembre: les teneurs dans S5 et S3 ont augmenté jusqu'à la valeur 161,50 mg/l (S5) et 160,72 mg/l (S3) alors qu'elles ont diminué dans les eaux de la station S1 (70,14 mg/l). Au cours de l'année 2013 les valeurs les plus élevées sont enregistrée en mois d'août (140 mg/l) et en mois de décembre (130 mg/l). Ceci peut être lié à la nature du terrain traversé.

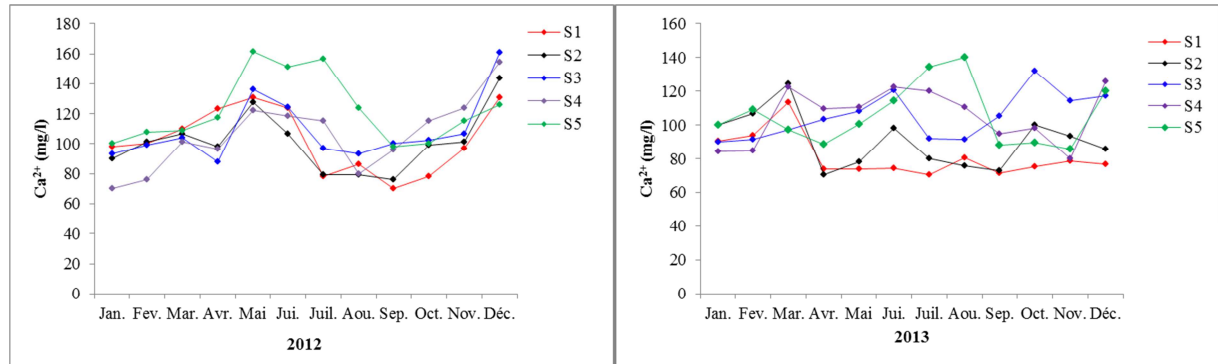


Figure 39: Variation temporelle de calcium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Magnésium :**

Les eaux de l'oued sont plus chargées en magnésium et sont influencées par les eaux de la mer et par les variations du débit de l'oued. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de la station aval (Figure 40). L'évolution du magnésium le long de la période d'étude présente la même allure que celle de la conductivité électrique. Ceci pourrait être dû à la nature géologique régionale.

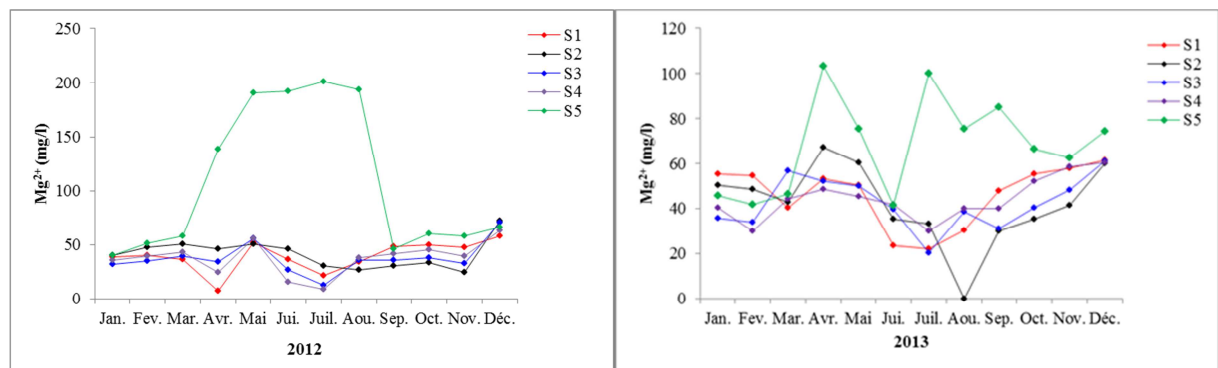


Figure 40: Variation temporelle de magnésium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Chlorure:**

Les concentrations moyennes mensuelles des chlorures (Cl⁻) au niveau des différentes stations mettent en évidence l'existence d'un gradient croissant de l'amont vers l'aval. Les teneurs fluctuent entre 124,35mg/l (au niveau de la station S4 durant le mois de janvier) et 3038,80 mg/l en aval de ce cours d'eau (juillet). Les teneurs des chlorures atteignent des valeurs plus importantes après la traversée de la commune de Sidi Salem, wilaya d'Annaba

(Station S5) (Figure 41). Ces variations sont probablement liées à la nature des terrains traversés. Nous notons aussi une augmentation des chlorures durant la saison sèche qui serait favorisée par l'étiage, les baisses teneurs observées durant la période de pluies sont en relation avec les crues de l'oued.

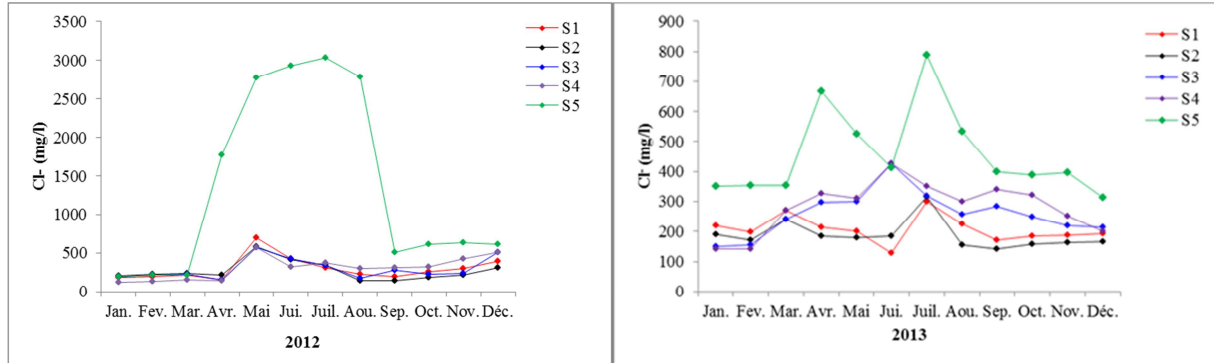


Figure 41: Variation temporelle des chlorures au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Sulfates:**

Les teneurs en sulfates (SO_4^{2-}) de l'eau de l'Oued Seybouse exhibent des valeurs distinctes entre les stations étudiées, fournissant des taux élevés en amont et en aval de cet écosystème lotique (Figure 42). La dernière station (S5) présente la valeur la plus élevée (850,00mg/l) notée pendant le mois de juillet. Elle est le résultat des rejets des eaux usées de la commune de Sidi Salem (wilaya d'Annaba) que le lit de l'oued accueille directement sans traitement préalable. La teneur la plus faible (de l'ordre de 50,00 mg/l) a été enregistrée pendant le mois d'avril (période de crue) dans la station S2.

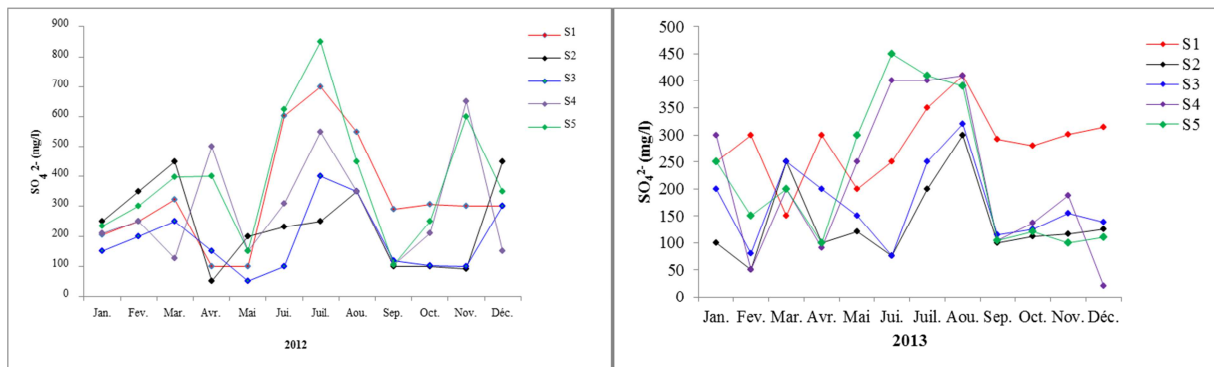


Figure 42: Variation temporelle des sulfates au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Potassium:**

Les valeurs de potassium subissent des variations irrégulières au cours de la période d'étude (Figure 43), les valeurs importantes sont enregistrées en avril (250 mg/l) et en novembre (200 mg/l) au cours de l'année 2012, les concentration les plus élevées sont notées en mois de mars (79 mg/l), en mois de juillet (80 mg/l) et en mois d'octobre (75 mg/l) durant l'année 2013. Ceci peut être lié aux apports de l'oued pendant la période hivernale.

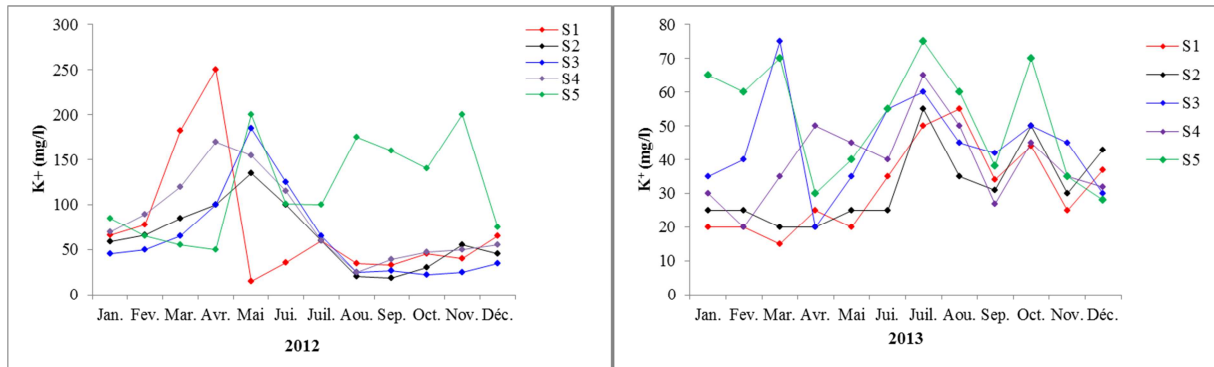


Figure 43: Variation temporelle du potassium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

D. Paramètres de pollution:

➤ **Nitrates:**

La pollution azotée peut être estimée par le dosage des teneurs en nitrates et en ions ammonium. Les ions nitrates (NO_3^-) représentent la forme la plus soluble de l'azote, sa présence dans les eaux de surface est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques (Chapman et Kimstach 1996). Les teneurs moyennes mensuelles en nitrates mesurées varient entre 2,34 mg/l (valeur minimal est observée en mois de septembre au niveau de la station S2) et 97,30 mg/l (valeur maximale observée en avril au niveau de la même station) (Figure 44). La concentration de cet élément dans l'année 2013 varie entre 2,80 mg/l (valeur minimale est enregistrée en mois d'avril) et 96,00 mg/l (valeur maximale enregistrée en même mois). Les activités agricoles et l'élevage intensif aux bordures de l'oued pourraient expliquer cette forte concentration en nitrates dans l'eau de cet oued.

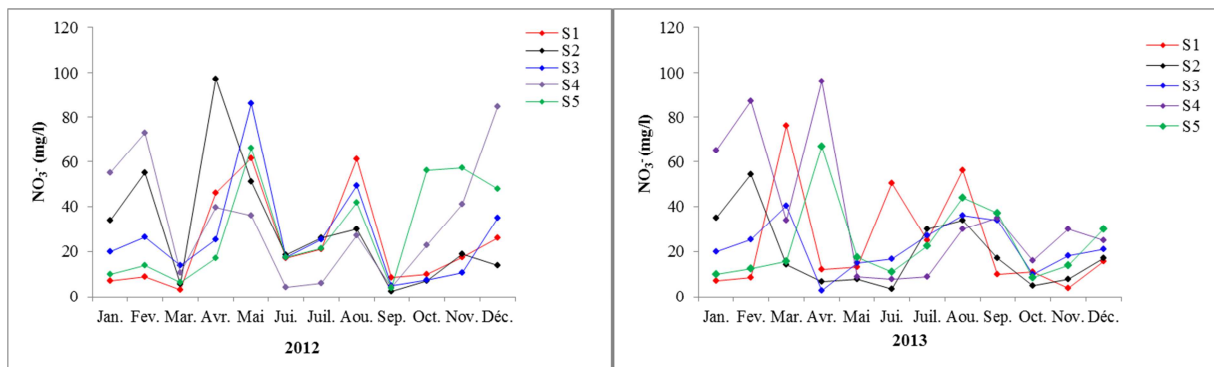


Figure 44: Variation temporelle des nitrates au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Nitrites :**

Les nitrites sont considérés comme étant des ions intermédiaires entre les nitrates et l'azote ammoniacal, ce qui explique les faibles concentrations rencontrées en milieu aquatique (quelques micromoles par litre d'azote nitreux).

L'analyse du profil de nitrites (Figure 45), montre que les teneurs varient entre 0,24 mg /l et 2,50 mg /l en période de pluie et entre 0,36 mg/l et 3,00 mg/l en période sèche pour l'année

2012. En 2013, les concentrations varient entre 0,20 mg/l et 2,50 mg/l en période de pluie et entre 0,29 mg/l et 3,30 mg/l en période sèche. Les valeurs de nitrite trouvées en période humide sont très nettement inférieures à celles de la période sèche notamment en aval de la zone d'étude, traduisant ainsi l'effet de la dilution.

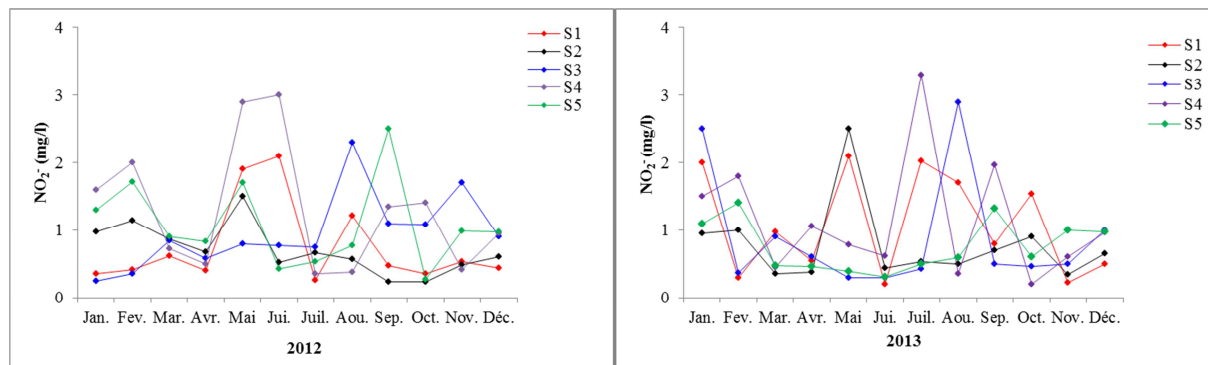


Figure 45: Variation temporelle des nitrates au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Ions d'ammonium :**

L'ion ammonium est la principale forme de l'azote dans la nature (Derwich *et al.*, 2002). Il provient des conditions d'anaérobiose des écosystèmes (Chapman et Kimstach 1996). Au niveau de l'Oued Seybouse, les teneurs en ammonium enregistrées au cours de l'année 2012 varient entre 0,12 mg/L et 9,56 mg/L, de même au cours de l'année 2013 elles varient entre 0,20 mg/L et 5,60 mg/L. (Figure 46). Cette augmentation peut être expliquée par l'existence des contacts entre les déchets ou les urines (pâturages) avec ces points d'eau ou peut être due au lessivage.

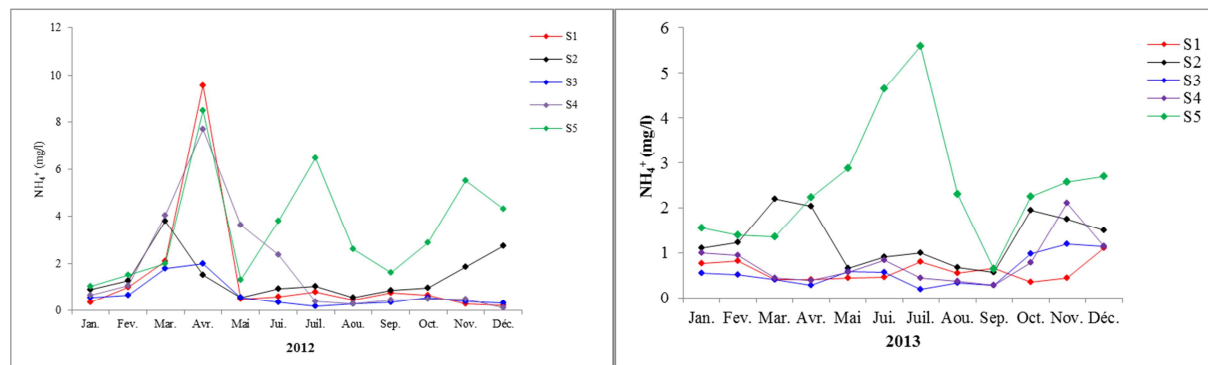


Figure 46: Variation temporelle des ions d'ammonium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Phosphate:**

Le phosphore est l'un des nutriments les plus importants dans la nature. Il représente un élément biogène indispensable à la croissance des algues, des bactéries et des protozoaires. Les teneurs élevées de cet élément dans les eaux de surface peuvent entraîner leur eutrophisation (Vilain, 1989). Les concentrations en ortho-phosphates exhibent des taux importants durant les mois de février et septembre au niveau des stations S3 et S5 et qui sont de l'ordre de 14,00 mg/l et 15,70 mg/l respectivement. Elles sont faibles au niveau des

stations S2 et S4 (Figure 47). Ces teneurs sont les conséquences des rejets des eaux usées de nombreuses communes proches des stations (communes de Boudaroua et de Sidi Salem). L'élévation de ces teneurs pendant la période hivernale pourrait être liée à l'accroissement du lessivage des sols.

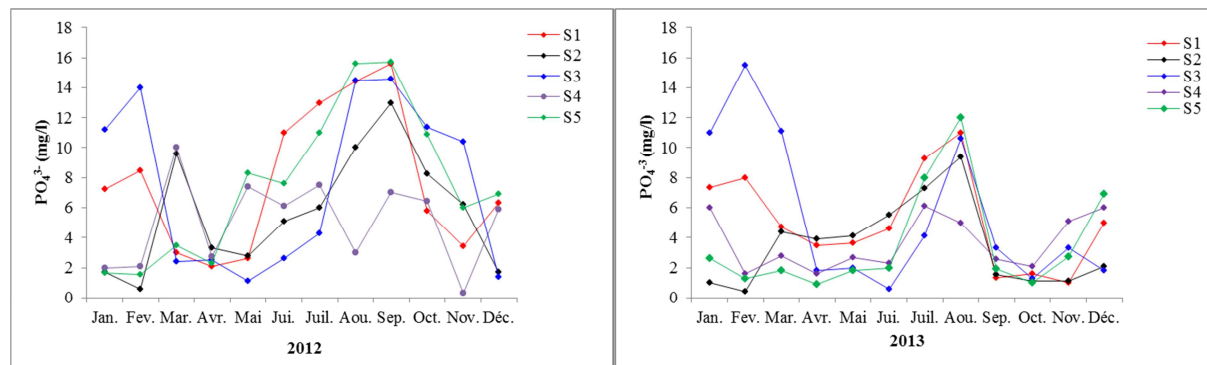


Figure 47: Variation temporelle des phosphates au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Matière organique :**

Les teneurs en matières organiques (MO) de l'eau de l'Oued Seybouse fluctuent entre 1,00mg/l (valeur minimale enregistrée durant le mois de décembre au niveau de la station S1) et 11,00mg/l (valeur maximale notée durant le mois de septembre au niveau de la même station) (Figure 48). Tous les taux calculés des matières oxydables dépassent les valeurs signalées par la grille de qualité des eaux de surface estimée à 5mg O₂/l (Rejsek, 2002). D'une manière générale, les taux enregistrés durant la période de pluies sont d'une part la conséquence directe des rejets des eaux usées domestiques des agglomérations limitrophes de l'oued et des réseaux de collecte des effluents des établissements industriels et d'autre part dus aux lessivages des sols. Durant la période estivale, l'abattement important du débit de l'oued ainsi que la prédominance des eaux usées pourraient être associé à l'origine de ces teneurs.

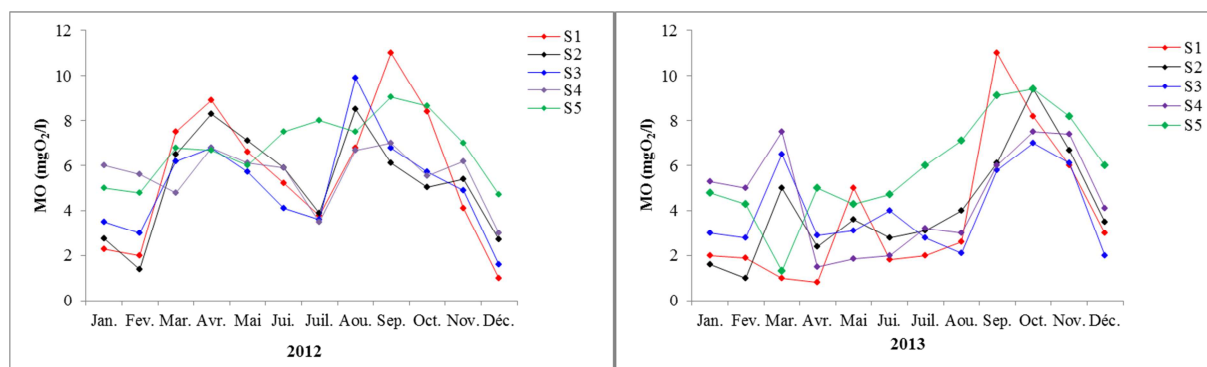


Figure 48: Variation temporelle de la matière organique au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

3.1.1.2. Evolution spatiale des paramètres Physico-chimiques:

A. Paramètres organoleptiques:

➤ Turbidité :

Les valeurs moyennes de la turbidité (Figure 49) varient entre 52,13 NTU enregistrée à S5 et 626,20 NTU signalée à S4 pour l'année 2012, concernant l'année 2013 la figure montre que la valeur plus élevée est enregistrée en station 4 (197,02 NTU) parce que cette station est caractérisée des terrains agricoles intensives et l'érosion de la berge.

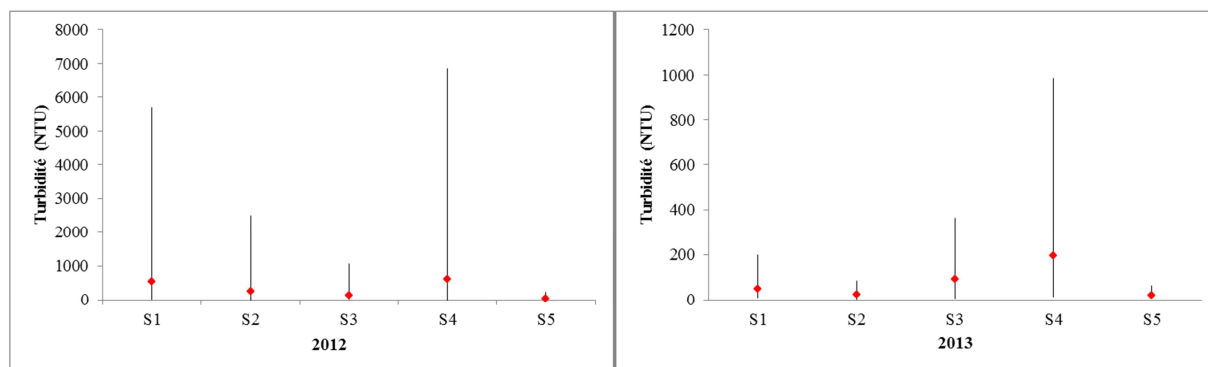


Figure 49 : Variation spatiale de la Turbidité au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

B. Paramètres physico-chimiques:

➤ pH :

La figure 50 donne un aperçu sur les variations du pH, au niveau des points mesurés. On remarque que cette variation ne représente pas des fluctuations entre les stations d'étude.

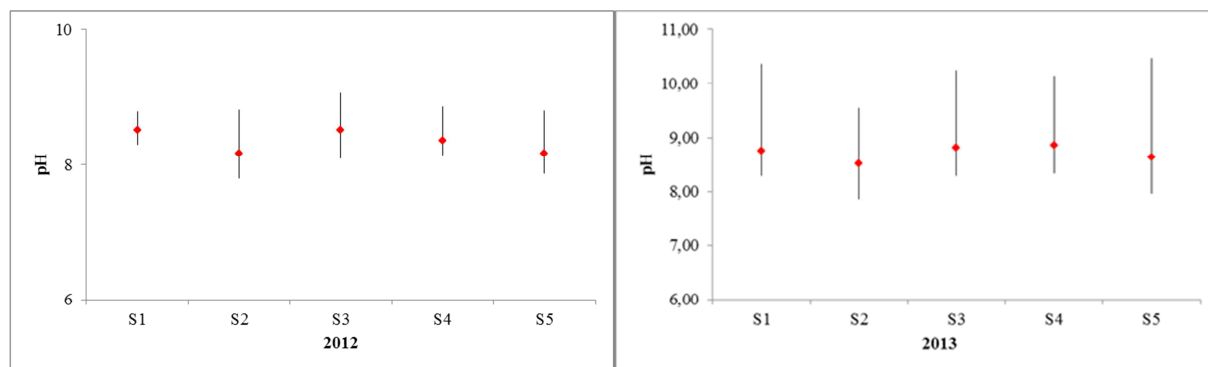


Figure 50: Variation spatiale du pH au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ Température :

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons et la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

Au cours de l'année 2012, les valeurs de la température oscillent entre 13 et 25°C et par contre l'année 2013, les valeurs de ce paramètre varient entre 16,41°C et 19,67°C (Figure 51).

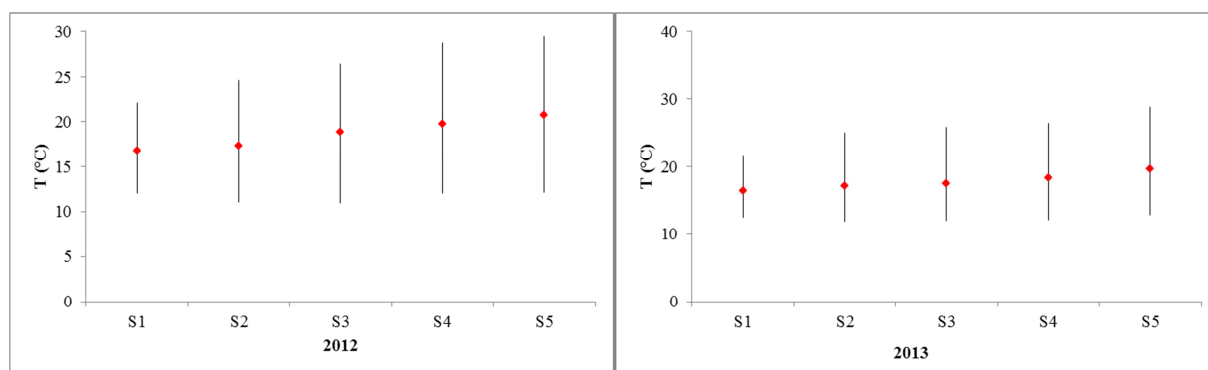


Figure 51: Variation spatiale de la Température au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ Conductivité électrique :

La conductivité électrique permet d'avoir une idée sur la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée. (Rodier, 2005).

La figure 52 montre que la valeur la plus faible est observée au niveau de la station (S2) avec 1189,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La valeur maximale est enregistrée au niveau de la station (S5) avec 4588,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au cours de l'année 2012. Concernant l'année 2013 les concentrations de ce variable oscillent entre 1165,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (S1) et 1977,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (S5). Ces fortes valeurs sont dues probablement aux eaux de la mer Méditerranée.

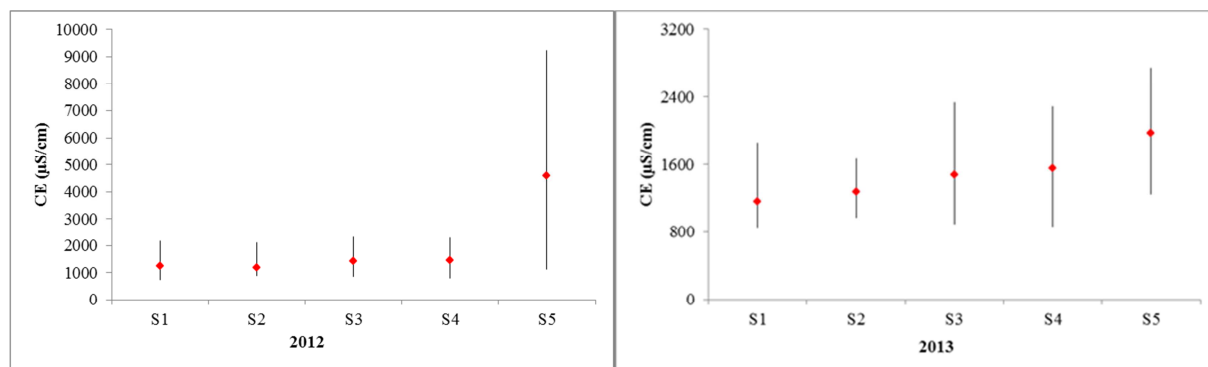


Figure 52: Variation spatiale de la conductivité électrique au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ Salinité :

Les eaux de l'oued Seybouse ont une salinité forte et présentent des valeurs moyennes comprises entre 1‰ et 3‰ pour l'année 2012. Et ont salinité faible et présente des valeurs moyennes comprise entre 0,4‰ et 1‰ pour l'année 2013. Au cours de notre période d'étude, l'évolution spatiale de la salinité révèle des valeurs très élevées au niveau de la station S5 (Figure 53). On constate une augmentation de la salinité de l'amont vers l'embouchure.

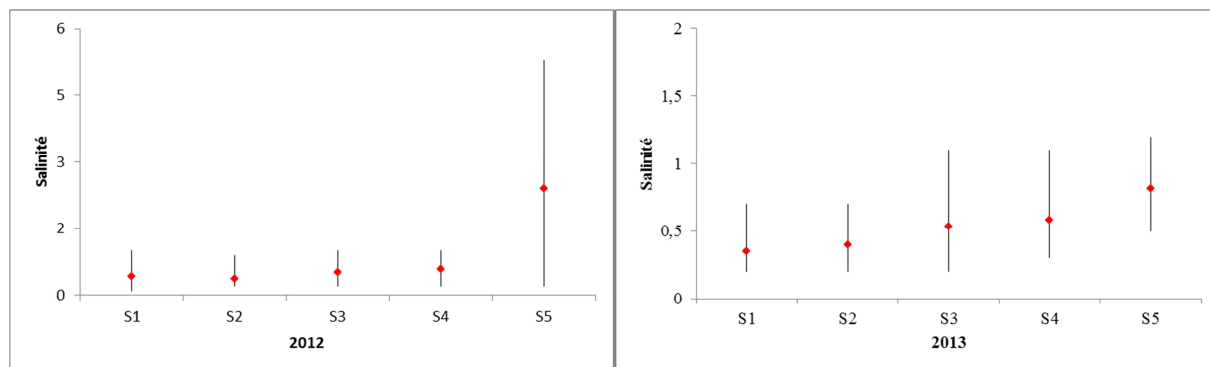


Figure 53: Variation spatiale de la Salinité au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Oxygène dissous :**

D'une manière générale, les teneurs moyennes en oxygène dissous (O₂) sont comprises entre 1,12 et 1,47 mg/l (année 2012) et concernant l'année 2013 les valeurs moyennes sont oscillées entre 0,80mg/l et 1,00mg/l. Ces teneurs expriment une forte pollution organique. (Figure 54).

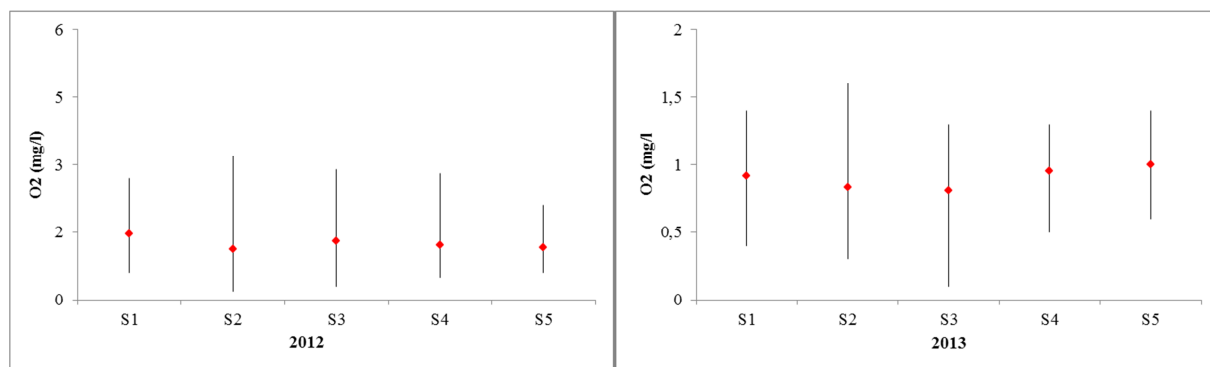


Figure 54: Variation spatiale de l'oxygène dissous (mg/l) au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Potentiel redox :**

Les valeurs moyennes de potentiel redox enregistrées au niveau des eaux de l'oued Seybouse oscillent entre -80mV et -110mV (Figure 55), comme valeur limite indicative extrêmes minimales et maximales pour l'année 2012, l'année 2013 les teneurs variés entre -80mV et -95mV.

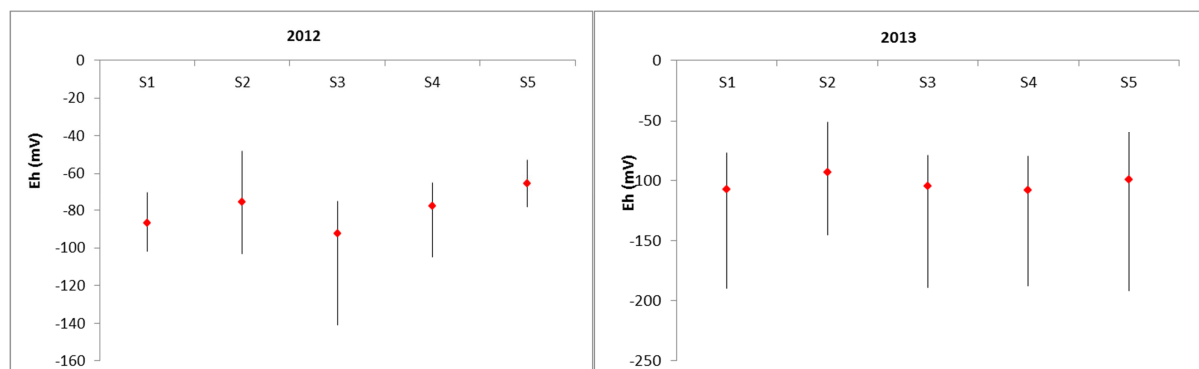


Figure 55: Variation spatiale de potentiel redox au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Matière en suspension :**

Les valeurs moyennes calculées dans tous les points étudiés varient entre 22,29 mg/l et 73,22 mg/l (Figure 56). D'une manière générale les valeurs les plus élevées ont été observées pendant les épisodes pluvieux surtout au niveau de la station S4.

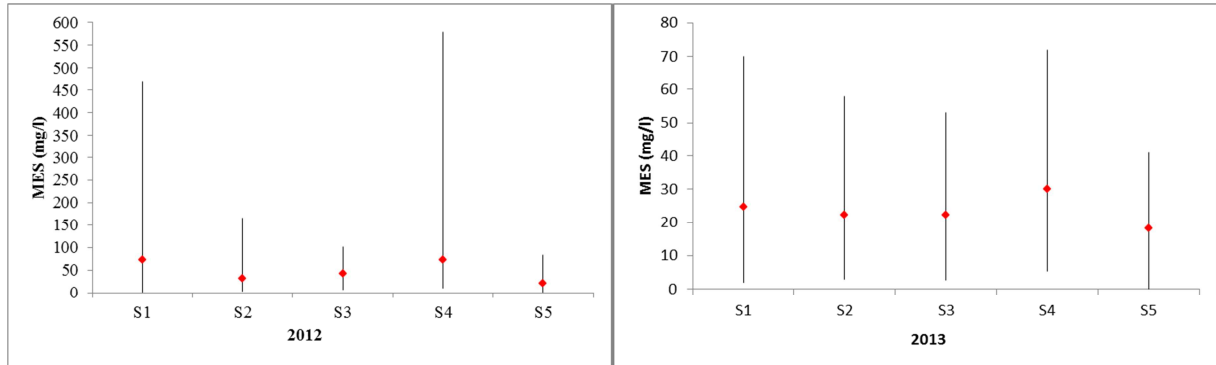


Figure 56: Variation spatiale de la MES au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Résidu sec :**

La détermination du résidu sec sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension ; la mesure après filtration correspond aux matières dissoutes. Ces valeurs peuvent être recoupées à partir de la mesure de la conductivité. Les résultats sont influencés par la température et la durée de la dessiccation.

Les résultats représentés sur la figure 57 montrent que la valeur moyenne la plus élevée est enregistrée en station 5 (2500 mg/l et 1500 mg/l respectivement année 2012 et 2013).

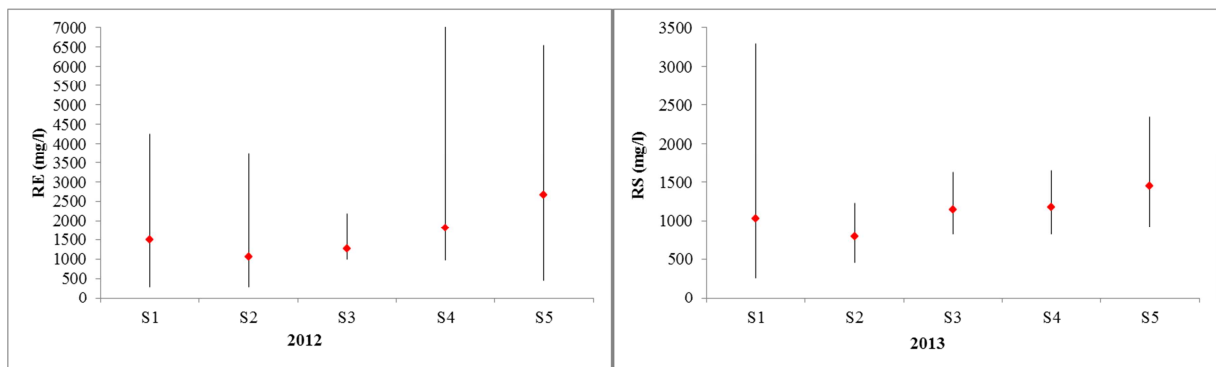


Figure 57: Variation spatiale du RS au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

C. Paramètres minéralisation globale:

➤ **Titre hydrotimétrique :**

Les résultats obtenus (Figure 58) montrent que les eaux étudiées ont des duretés importantes qui varient entre 54,17°F (minimum au point S2) et 77,42 °F (maximum au point S5) au cours de l'année 2012 et entre 52,08 °F (minimum au point S2) et 64,25 °F (maximum

au point S5). L'origine de la dureté d'une eau peut être liée simplement à la lithologie du terrain encaissant ou bien à des facteurs externes telle que la pollution industrielle.

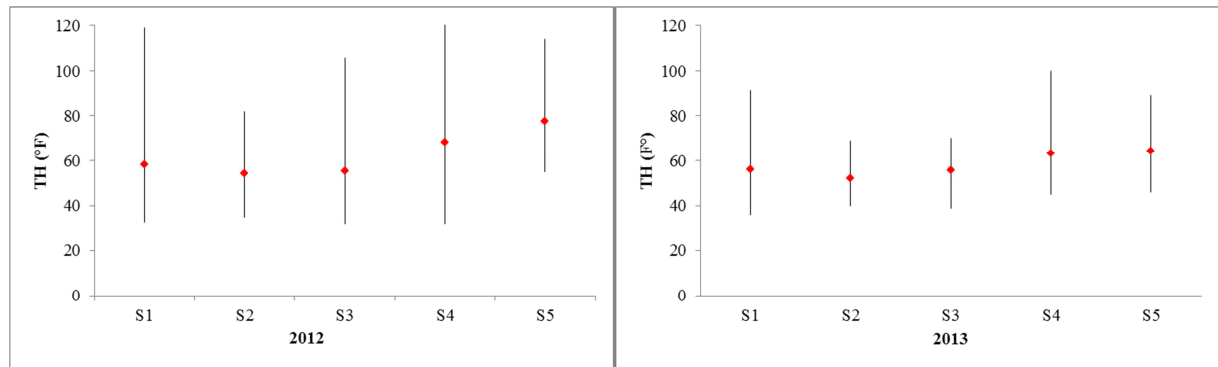


Figure 58: Variation spatiale du TH au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Calcium :**

Le calcium est un autre élément qui constitue la dureté de l'eau et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. La figure 59 montre que les concentrations de Ca^{2+} dans les eaux de l'oued Seybouse oscillent entre 81,09 mg/l et 122,29 mg/l.

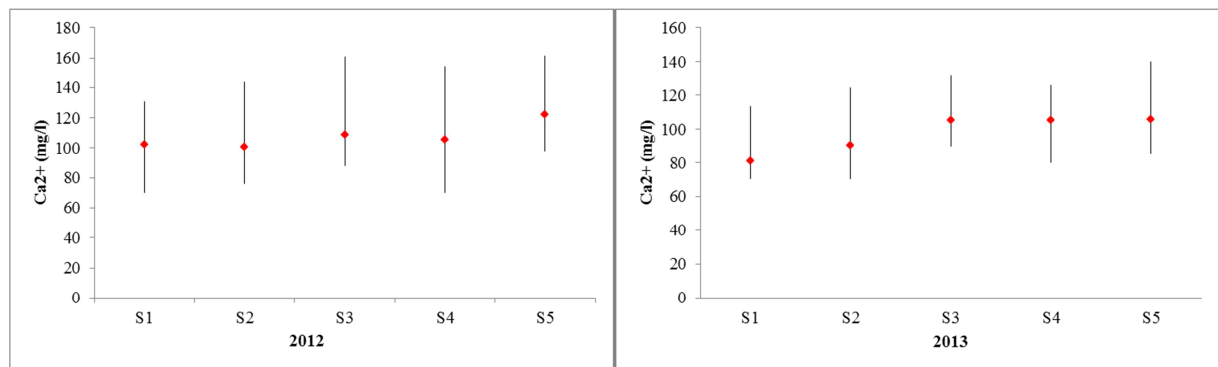


Figure 59: Variation spatiale de calcium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Magnésium :**

D'après les résultats des analyses de Mg^{2+} (Figure 60) la teneur faible de 37,12 mg/l est observée au niveau de la station (S3) et la valeur maximale 107,92 mg/l est notée au niveau de la station (S5).

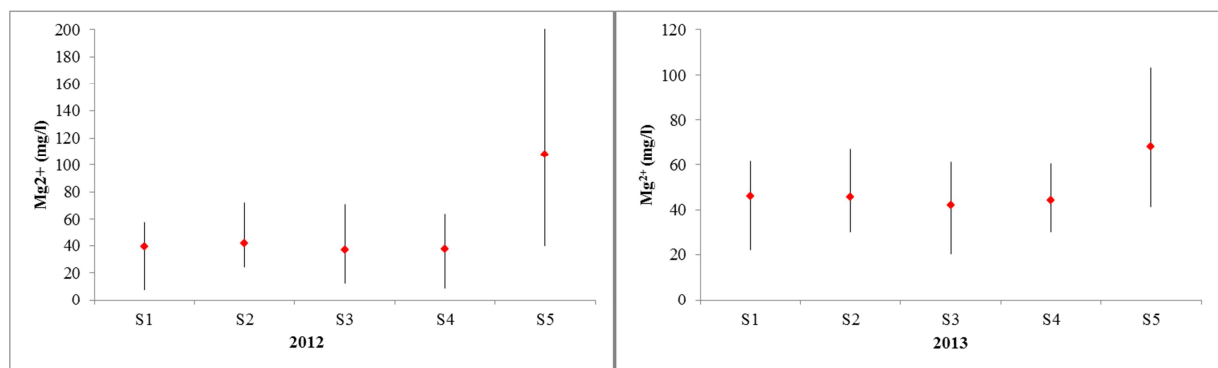


Figure 60 : Variation spatiale de magnésium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Chlorure :**

Les teneurs de chlorure calculées sont variées entre 187,75 mg/l (S2) et 1358,78 mg/l (S5). On constate une augmentation de ce paramètre de l'amont vers l'embouchure. (Figure 61).

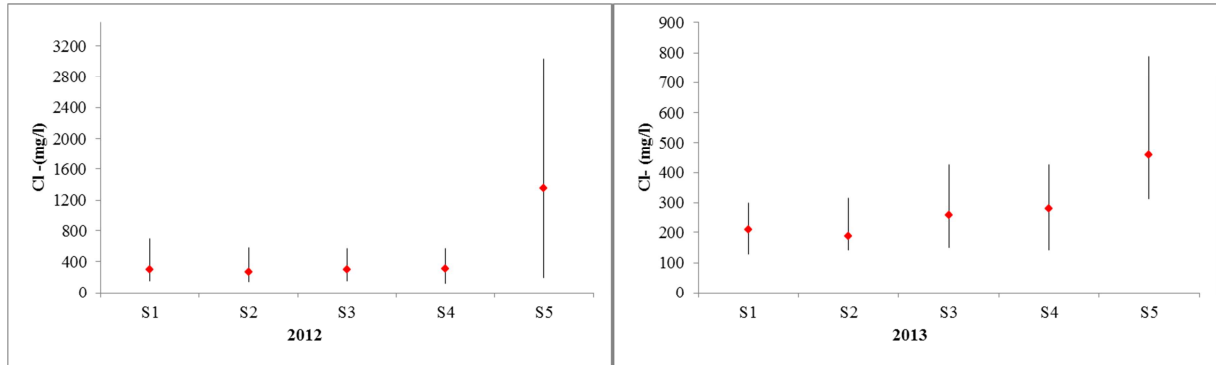


Figure 61: Variation spatiale des chlorures au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Sulfates :**

Les concentrations moyennes des sulfates dans les points prélevés sont variées entre 171,53mg/l (S2) et 392,82 mg/l (S5) (Figure 62). La présence de cet élément dans l'eau est liée à la dissolution des lentilles gypseuses et la présence des rejets des eaux usées.

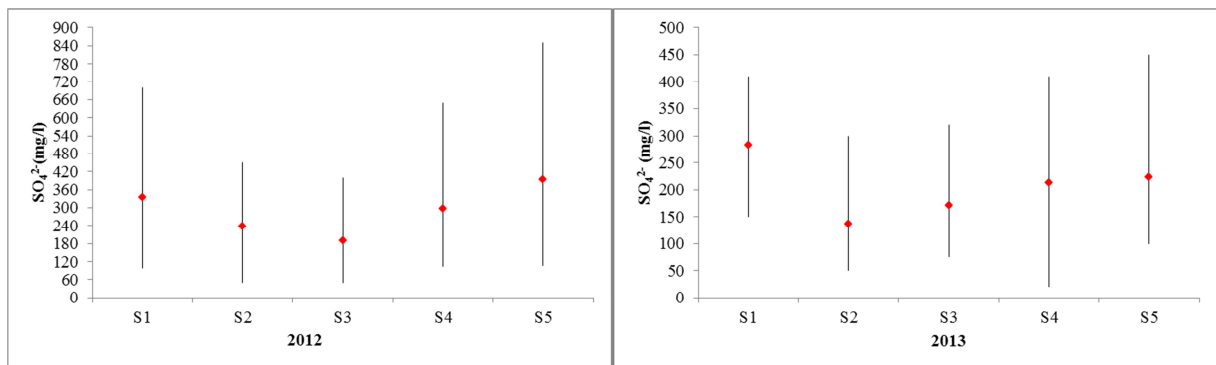


Figure 62: Variation spatiale des sulfates au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Potassium :**

La figure 63 montre que la teneur maximale est dosée au niveau de la station (S5) (117,17 mg/l) et les teneurs minimales sont observées au niveau de la station (S1) 31,67 mg/l.

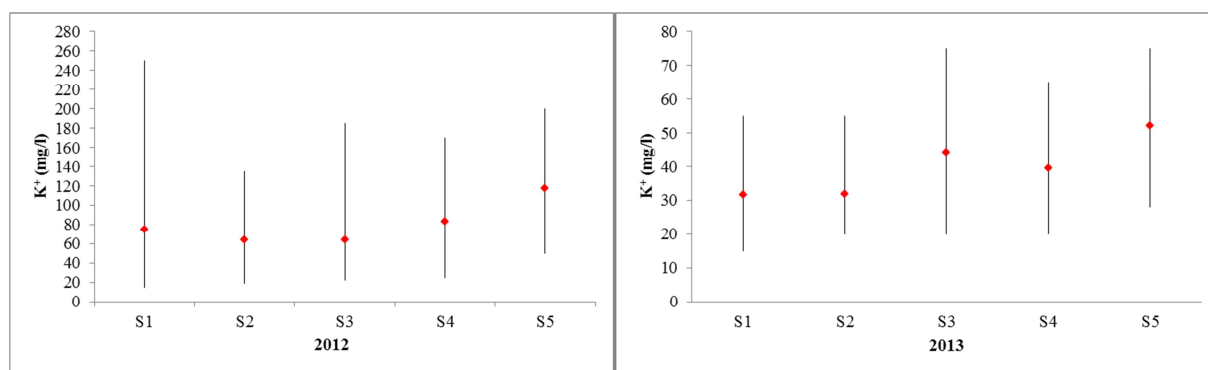


Figure 63 : Variation Spatiale de potassium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

D. Paramètres de pollution:

➤ Nitrates :

La figure 64 montre que la variation des teneurs en nitrates n'est pas identique pour les eaux des cinq stations, où les concentrations sont variées entre 24,04 mg/l (S1) et 33,70mg/l (S4) pour l'année 2012 et entre 19,34 mg/l (S2) et 36,99 mg/l (S4) pour l'année 2013. Ces teneurs peuvent expliquer par la dynamique de l'azote minéral au cours des successions culturales essentiellement durant la période pluvieuse.

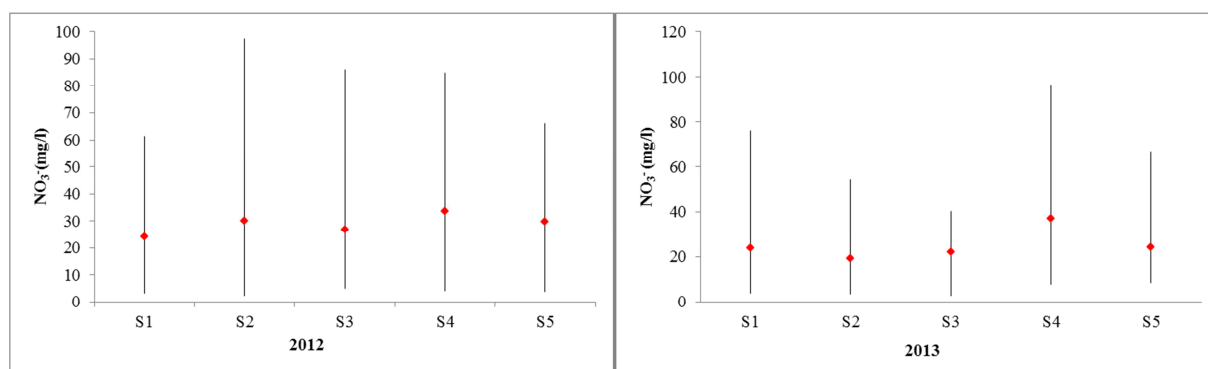


Figure 64: Variation spatiale des nitrates au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ Nitrites :

Le nitrite est issu de la réduction de l'ammonium (NH₄⁺). Son origine est liée à l'agriculture et aux rejets urbains et industriels. La figure au-dessous montre que les teneurs moyennes en nitrites sont oscillent entre 0,71 mg/l (S2) et 1,30 mg/l (S4) au cours de l'année 2012, concernant l'année 2013 le maximum enregistré est de 3,30 mg/l au niveau de la station (S4), il est dû probablement au lessivage de terrain vers l'oued.

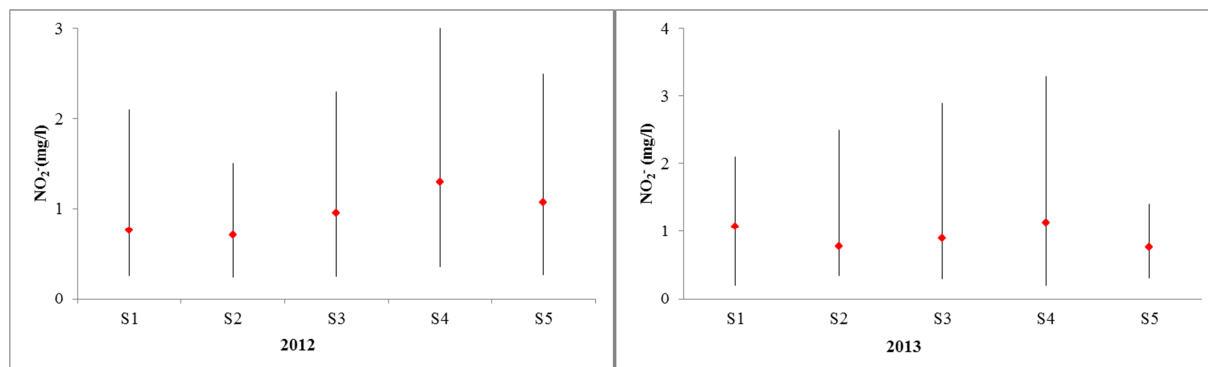


Figure 65: Variation spatiale des nitrites au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Ions d'ammonium:**

Les valeurs moyennes des teneurs en NH_4^+ calculés durant notre étude sont variées entre 0,59 mg/l et 3,46 mg/l. Le maximum de 9,56 mg/l est observé au niveau de la station (S1) (année 2012) et 5,60 mg/l est noté au niveau de la station S5 (année 2013) (Figure 66). Ces résultats liés aux rejets domestiques de la commune de sidi Salem.

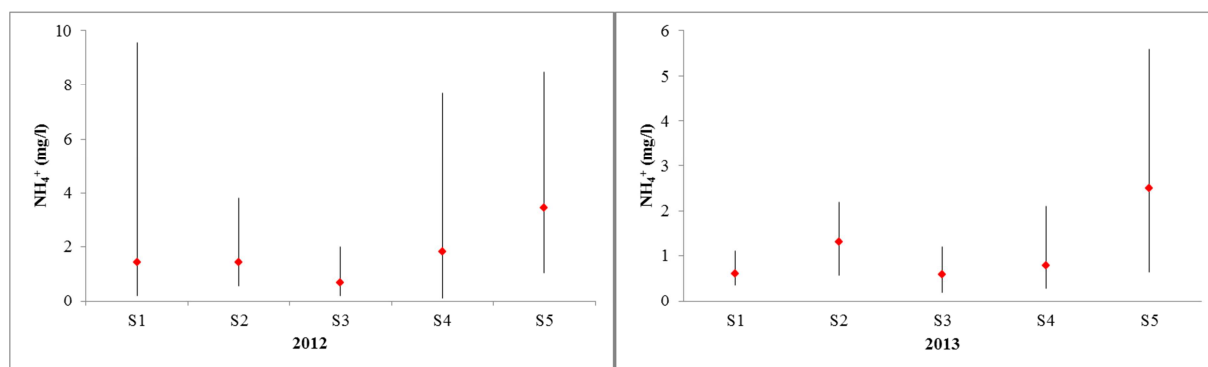


Figure 66: Variation spatiale des ions d'ammonium au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Phosphates :**

Les résultats des phosphates (Figure 67) montrent que leurs concentrations dans les eaux de l'oued sont oscillées entre 3,49 mg/l et 7,73 mg/l. Le maximum de concentration est observé au niveau de la station (S5) (15,70 mg/l). Il est à noter que ce point est situé dans une région à activité agricole et industrielle intense.

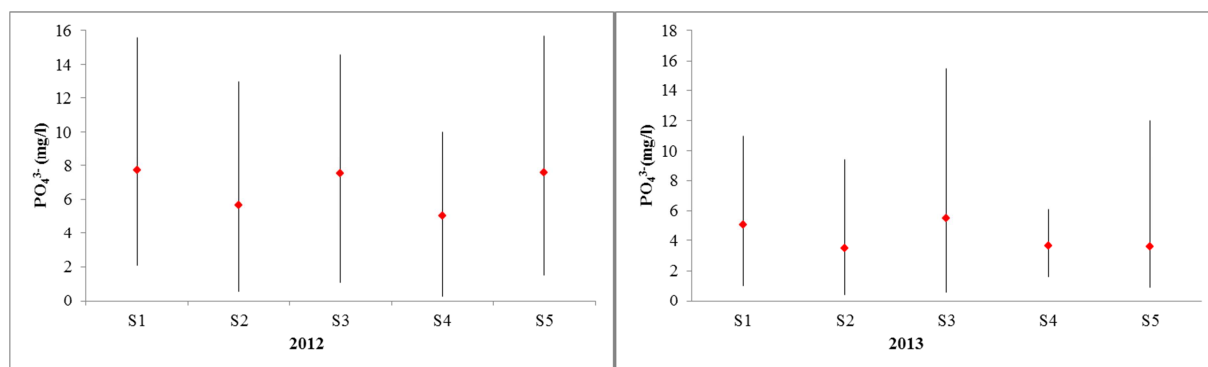


Figure 67: Variation spatiale des phosphates au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

➤ **Matières organiques :**

Les teneurs sont très variables. Elles varient entre 3,78 mg/l (minimum observé) au niveau de la station (S1) et 6,81 mg/l (maximum observé) au niveau point (S5). (Figure 68).

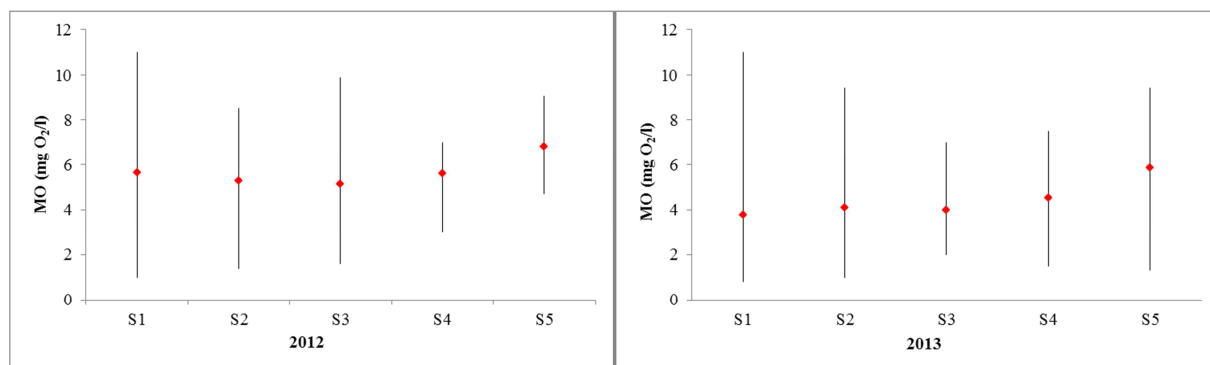


Figure 68: Variation spatiale de la matière organique au niveau de l'eau de l'oued Seybouse.

3.1.2. Traitement statistiques des données:

3.1.2.1. Statistiques élémentaires:

A. Paramètres physico-chimiques :

➤ **pH :**

C'est un paramètre qui définit l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques dans les diagrammes Eh-pH. (Tableau 24)

Tableau 24: Variations du pH (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	9,5	8,97	9,32	9,32	9,23
	Moy	8,63	8, 34	8,66	8,61	8,40
	Min	8,33	7,97	8,26	8,32	7,95
	Ecart type	0,34	0,35	0,35	0,32	0,42
Normes		6,5 < pH < 8,5				

D'une manière générale la plupart des échantillons ont un pH qui dépasse les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ($6,5 < \text{pH} < 8,5$). Dans le détail, nous pouvons faire les constatations suivantes :

- Concernant les eaux de la station 1, le pH varie entre 8,33 et 9,50. Ce qui serait lié au contact direct avec l'air. Au niveau la station 2, le pH, oscille entre 7,97 et 8,97, dû à l'effet des rejets acides ou alcalins provenant d'usine de marbre et carrelage.
- les eaux des stations 3 et 4 présentent des valeurs de pH variant entre 8,26 à 9,32.

Les valeurs de pH sont variées entre 7,97 et 9,23 pour la station 5 cette différence, cela indique la forte pollution de cette eau par les rejets acides et basique (Debieche, 2002).

➤ **Température :**

Les cinq stations de prélèvement d'eau présente des différentes valeurs de la température (11,48 – 29,15°C) et un écart type de 2,61°C à 5,78°C, à cause de leur contact direct avec l'atmosphère et aux conditions climatiques, voir Tableau 25.

Tableau 25: Variations de la température (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	20,90	24,15	26,20	27,40	29,15
	Moy	16,59	17,24	18,18	19,03	20,21
	Min	12,30	11,48	11,51	12,06	12,52
	Ecart type	2,61	4,24	5,27	5,50	5,78
Normes		30				

➤ **Conductivité électrique :**

La conductivité électrique montre le degré de minéralisation d'une eau. Elle est conditionnée par la présence des espèces ioniques en solution (Debieche, 2002), Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée (Rodier *et al.*, 1984). Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 26.

Tableau 26: Variations de la conductivité électrique (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	1859	1675	2331	2289,5	5597,5
	Moy	1210,04	1234,29	1456,29	1512,04	3282,67
	Min	886,50	943	878	835,5	1218
	Ecart type	309,86	251,66	415,59	415,32	1600,83
Normes		(1000 Eau de surface) / (870 N d'irrigation)				

Ces valeurs montrent que tous les points d'eau dépassent la norme recommandée pour les eaux d'irrigation.

La conductivité moyenne montre des faibles valeurs (1210,50 et 1234,29 $\mu\text{S}/\text{cm}$) au point 1 et 2, due au débit important de l'oued. La station trois (S3) présente des valeurs allant jusqu'à 2331 $\mu\text{S}/\text{cm}$, traduisant ainsi un lessivage des minéraux, engendré par le contact eau-roche.

Au niveau la station 4, les valeurs de la conductivité varient entre 835,5 et 2289,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les eaux de la station cinq (S5) possèdent des conductivités plus élevées (3282,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dues aux apports salines de la mer méditerranée.

➤ **Salinité :**

Les valeurs moyennes de la salinité sont variées entre 0,38 et 1,61 au niveau des eaux de l'oued Seybouse (Tableau 27). Les valeurs de la station S5 sont dépassé la norme des eaux de surface, ces résultats lies probablement à l'effet des eaux de la mer méditerranée.

Tableau 27: Variations de la salinité (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	0,75	0,65	1,05	1,05	3,05
	Moy	0,39	0,38	0,53	0,58	1,61
	Min	0,2	0,2	0,2	0,25	0,35
	Ecart type	0,18	0,17	0,24	0,23	0,97
Normes		1,5				

➤ **Oxygène dissous :**

Les différentes concentrations d'oxygène dissous observées sont présentées dans le tableau 28

Tableau 28: Variations de l'oxygène dissous (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	1,9	1,8	1,9	1,85	1,6
	Moy	1,19	0,98	1,05	1,08	1,08
	Min	0,42	0,49	0,37	0,34	0,31
	Ecart type	0,42	0,49	0,37	0,34	0,31
Normes		<1				

Les teneurs les plus élevées sont observées au niveau des eaux de la station 1 (S1) avec une valeur de 1,19 mg/l. les valeurs les plus basses sont observées au niveau des eaux de la station S2 et S3 qui sont respectivement de l'ordre 0,98 et 1,05 mg/l, cela est dû à l'effet des rejets industriels qui font diminuer les teneurs en O₂.

➤ **Potentiel Redox (Eh) :**

Ce paramètre nous permet de prévoir l'état des ions chimiques dans l'eau et la direction des réactions chimiques (oxydation ou réduction). Les résultats des mesures in situ sont présentés dans le tableau 29.

Tableau 29: Variations du potentiel redox (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	-74	-54	-79,5	-77	-60
	Moy	-97	-84,5	-98,58	-92,88	-82,46
	Min	-141,5	-110,5	-135,5	-131,5	-127,5
	Ecart type	-18,58	-19,12	-17,82	-19,17	-25,15

Les valeurs de Eh varient pour l'ensemble des points de -141,5 à -54 mV traduisent un milieu réducteur. Les plus faibles valeurs de Eh sont de -141 mV et sont enregistrées au niveau des eaux de la station S1 et sont générées par les rejets urbains du village de Medjaz Amar.

B. Eléments de la pollution:

B.1. Les éléments majeurs :

➤ Titre hygrométrique :

La dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés (Bernard, 1966). Elle correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+} .

Les teneurs de TH sont très variables, elles varient d'une valeur minimale de 37 °F au point S1 à une valeur maximale de 112 °F au point S4. (Tableau 30)

Tableau 30: Variations de TH (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	89,5	68,5	83	112	87
	Moy	57,33	53,13	55,50	65,71	70,83
	Min	37	38,5	38	46,5	55
	Ecart type	20	11,07	11,56	20,43	10,98
Normes		30				

➤ Calcium :

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : Soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4) (Debieche, 2002). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 31. Ce tableau montre que les teneurs de calcium sont inférieures à la valeur fixée par l'OMS.

Tableau 31: Variations des teneurs en calcium (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	111,72	115,59	139,06	140,07	145,58
	Moy	91,68	95,60	107,07	105,52	113,97
	Min	70,74	74,45	91,68	77,27	93,08
	Ecart type	12,96	13,85	15,20	17,51	17,85
Normes		250				

➤ **Magnésium :**

Ayant des origines comparables à celle du calcium, cet élément provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).

Les concentrations observées au niveau des eaux de l'oued Seybouse sont présentées dans le tableau au-dessous.

Tableau 32: Variations des teneurs en magnésium (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	59,58	65,99	65,78	61,95	150,56
	Moy	42,60	42,84	39,72	40,91	88,07
	Min	21,67	26,34	16,34	19,54	42,76
	Ecart type	11,74	12,27	12,21	11,07	39,60
Normes		150				

Ce tableau montre que la plupart des points d'eau de l'oued Seybouse présentent des valeurs importantes allant jusqu'à 150,56 mg/l au point S5. Les eaux de l'oued sont influencées par la dissolution des formations dolomitiques dans la région (Mouchara, 2009) et par les eaux de la mer méditerranéennes.

➤ **Chlorure :**

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères et à l'effet de la salinité marine. La dissolution des minéraux salifères se fait selon la relation suivante :



Les concentrations sont données le tableau 3-10

Tableau 33: Variations des teneurs en chlorures (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	448,08	381,38	434,10	439,00	1914,13
	Moy	252,84	228,87	278,35	294,50	907,89
	Min	184,60	145	174,65	132,45	275,33
	Ecart type	73,65	73,51	89,37	95,39	653,71
Normes		200				

Dans les eaux de l'oued Seybouse, l'existence de cet élément est liée à la dissolution des formations évaporitiques existant à l'amont de l'oued (Djabri, 1996).

Les teneurs du chlorure présentent en général des valeurs très élevées, dont la valeur maximale est observée au point S5 avec 1914,13 mg/l. En effet, l'origine de ces teneurs est

liée principalement à la présence intensive des rejets industriels et à l'effet de la salinité marine.

➤ **Potassium :**

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK, à base d'azote, potasse et phosphore). Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau 34.

Tableau 34: Variations des teneurs en potassium (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	137,5	80	110	110	120
	Moy	53,52	48,25	54,21	61,21	84,67
	Min	150	75	87,5	85,5	104,9
	Ecart type	113,14	92,03	84,97	128,98	152,14
Normes		12				

Les valeurs les plus élevées sont observées au niveau des points de prélèvements (S1 et S5) avec les valeurs 137,5 mg/l et 120 mg/l respectivement. L'origine de cette concentration est liée principalement à la présence intensive des rejets urbains et industriels dans l'oued.

La comparaison entre les normes et la moyenne montre une grande différence entre les cinq stations, la première est due à l'effet des rejets dans l'oued et la deuxième est due à l'effet des engrais NPK et des argiles potassiques (Debieche, 2002).

➤ **Sulfate :**

La présence des ions sulfate dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses, les concentrations observées sont indiquées dans le tableau 35.

Tableau 35: Variations des teneurs en sulfates (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	525	350	335	475	630
	Moy	309,24	188,21	180,32	254,54	308,23
	Min	150	75	87,5	85,5	104,90
	Ecart type	113,14	92,03	84,97	128,98	152,14
Normes		250				

Les concentrations observées au niveau des points de prélèvement montrent des teneurs supérieures aux normes des eaux superficielles.

➤ **Résidu sec :**

Ce tableau montre que, les valeurs moyennes calculées sont variées entre 922,79 mg/l (valeur minimale enregistrée au niveau du point S2) et 2062,25 mg/l (valeur maximale enregistrée au niveau du point S5).

Tableau 36: Variations du résidu sec (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	2404,25	2221,50	1624,65	4356	4271
	Moy	1269,18	922,79	1210,80	1500,44	2062,25
	Min	310,50	433,75	986,05	963,75	907,25
	Ecart type	750,91	473,05	231,76	921,67	1255,55

➤ **Matière en Suspension :**

Selon Rodier, (1996) 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, etc.

Les teneurs de la matière en suspension sont présentées dans le tableau 37

Tableau 37: Variations de la matière en suspension (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	258,5	112	77,5	307	62,5
	Moy	49,03	27,47	32,01	51,59	19,45
	Min	1,5	3,5	5,5	8,45	4
	Ecart type	67,59	30,12	21,42	82,01	15,6
Normes		100				

Les valeurs moyennes de la matière en suspension enregistrées oscillent entre 19,45 mg/l et 51,59 mg/l comme valeurs extrême minimale et maximale. On remarque que la concentration en matière en suspension est plus importante au niveau du point S4, cette valeur peut être expliquée soit par lessivage du sol soit par les activités humaines et/ou la présence des animaux aux berges de l'oued.

C. Cycle de l'azote :

L'azote est présent tout le long du cours d'eau sous sa forme minérale et cela sous les trois formes chimiques (nitrates, nitrite et l'ammonium) (Tableau 3-15, 3-16 et 3-17).

➤ **Nitrates :**

Représentent la forme la plus oxygénée de l'azote. C'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux de surface est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques. Sous cette forme, l'azote est un sel nutritif utilisable par la majorité des végétaux.

Les teneurs des nitrates sont présentées dans le tableau 38.

Tableau 38: Variations des concentrations en nitrates (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	58,55	54,60	50,50	80,05	42,85
	Moy	24,05	24,67	24,54	35,34	27,01
	Min	7,11	6,00	8,78	6,00	10,00
	Ecart type	16,06	16,56	12,01	24,42	13,18
Normes		50				

Les concentrations moyennes en nitrates, au niveau des eaux de l'oued Seybouse sont inférieures à la norme des eaux de surface. Les teneurs maximales sont observées au niveau des eaux du point S4 (80,05 mg/l), ces teneurs est liée principalement à l'utilisation des engrais (cette zone caractérisée par des activités agricoles intensives).

➤ **Nitrites :**

Les nitrites (NO_2^-), 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 ; les valeurs moyennes les plus élevées sont observées au niveau du point S4 (1,21 mg/l). (Tableau 39)

Tableau 39: Variations des concentrations en nitrites (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	2	2	2,6	1,9	1,91
	Moy	0,92	0,74	0,92	1,21	0,92
	Min	0,36	0,42	0,36	0,37	0,37
	Ecart type	0,5	0,44	0,6	0,6	0,46
Normes		0,1				

➤ **Ions d'Ammonium :**

C'est la forme d'azote la plus toxique. Il constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les rejets urbains et industriels. Dans les eaux superficielles, il provient de la matière organique azotée et des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère (Chapman et al, Kimstach 1996). Le tableau 40 montre que les teneurs varient entre 0,22 mg/l (S3) et 6,03 mg/l (S5)

Tableau 40: Variations des concentrations en ion d'ammonium (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	4,99	3,00	1,14	4,05	6,03
	Moy	1,02	1,36	0,63	1,29	2,98
	Min	0,37	0,60	0,20	0,33	1,12
	Ecart type	1,27	0,72	0,30	1,08	1,64
Normes		0,5				

D. Autres éléments de pollution :➤ **Phosphate :**

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

Les concentrations maximales sont observées au niveau des eaux des stations S1, S3 et S5 (12,70 mg/l, 13,75 mg/l et 13,80 mg/l), ces teneurs élevées sont liées à l'effet des rejets urbains (Medjaz Amar, Boudaroua et Sidi Salem). (Tableau 41)

Par contre les eaux des stations S2 et S4 les valeurs sont faibles qui varient entre 6,80 et 9,70 mg/l.

Tableau 41: Variations des concentrations en phosphate (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	12,70	9,70	14,75	6,80	13,80
	Moy	6,41	4,49	6,53	4,34	5,58
	Min	2,20	0,48	1,55	1,85	1,42
	Ecart type	3,42	2,72	4,56	1,58	3,71
Normes		(2,68 eau de surface)/ (5 eau d'irrigation)				

➤ **Matière organique :**

Les moyennes des matières organiques montrent des valeurs comprises entre 4,58 mgO₂/l et 6,33 mgO₂/l (Tableau 42).

Tableau 42: Variations des concentrations en matière organique (2012-2013).

Paramètres		S1	S2	S3	S4	S5
Paramètres statistiques	Max	11	7,22	6,35	6,80	9,08
	Moy	4,70	4,70	4,58	5,06	6,33
	Min	1,95	1,20	1,80	3,35	4,05
	Ecart type	2,70	1,84	1,56	1,25	1,68
Normes		5				

3.1.2.2. Analyse explicative :

Pour comprendre les mécanismes régissant la pollution des eaux dans cette région, nous allons utiliser plusieurs méthodes parmi lesquelles l'analyse en composantes

principales, celle-ci permettra la détermination des liens existants entre les éléments chimiques.

A. Analyse en composantes principales:

L'analyse en composantes principales est une méthode statistique. Son objectif est de présenter sous forme graphique le maximum de l'information contenue dans un tableau de données (Diday *et al.*, 1982; Philipeau, 1992). Ce tableau doit être constitué, en lignes, par des individus sur lesquels sont mesurées des variables quantitatives (Diday *et al.*, 1982; Philipeau, 1992; Dervin, 1992).

Le but de l'utilisation de l'ACP des données hydro chimiques dans notre zone d'étude consiste à:

- Caractériser le chimisme des eaux pour une période d'observation.
- Mettre en évidence une éventuelle relation entre les activités anthropiques et la qualité des eaux de surface.
- Donner une idée préalable sur les éléments et les sites de pollution

A. 1. Campagne de janvier 2012 :

A.1.1. Matrice de corrélation :

Le traitement des données par l'analyse en composante principale, en utilisant comme variables la turbidité, les matières en suspension, les nitrates, les nitrites, phosphates, dureté totale, calcium, magnésium et sulfates et comme individus les 5 prélèvements effectués au niveau la Seybouse. (Tableau 43)

Tableau 43: Matrice de corrélation entre les variables (janvier 2012).

	Tur.	MES	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
Tur.	1,00	0,03	-0,52	-0,49	0,26	0,94	0,39	0,28	-0,01
MES		1,00	-0,38	-0,81	0,97	0,30	0,31	-0,79	-0,93
NO ₃ ⁻			1,00	0,62	-0,41	-0,44	-0,97	-0,20	0,14
NO ₂ ⁻				1,00	-0,89	-0,66	-0,59	0,35	0,62
PO ₄ ³⁻					1,00	0,52	0,32	-0,73	-0,91
TH						1,00	0,28	-0,04	-0,31
Ca ²⁺							1,00	0,31	0,00
Mg ²⁺								1,00	0,93
SO ₄ ²⁻									1,00

Les chiffres en gras indiquent les corrélations significatives

La turbidité est bonne corrélation positive avec la dureté totale ($r= 0,94$, $p=0,017$), la matière en suspension est en corrélation forte positive avec le phosphate ($r=0,97$, $p=0,006$) elle est en corrélation forte négative avec les sulfates ($r= -0,93$, $P= 0,024$).

Une forte association significative et négative est observée entre les nitrates et le calcium ($r = -0,97$, $p = 0,007$). Il est à noter qu'une forte association significative et négative est constatée entre les nitrates et les phosphates ($r = -0,89$, $p = 0,046$) d'une part et entre les phosphates et les ions de sulfates ($r = -0,91$, $p = 0,030$) d'autre part. Les ions de sulfates est aussi significativement corrélée avec le magnésium ($r = 0,93$, $p = 0,021$).

A.1.2. Valeurs propres :

Une valeur propre représente la variation des individus sur l'axe correspondant. Dans un but de faciliter leur interprétation, ces valeurs sont exprimées en pourcentage des valeurs propres totales. (Tableau 44)

Tableau 44: Valeurs propres et variance des facteurs (janvier 2012).

Facteurs	Val. propre	% Total variance	Cumul Val. propre	Cumul %
1	4,843	53,811	4,843	53,81
2	2,772	30,804	7,615	84,61
3	1,201	13,346	8,817	97,96
4	0,183	2,037	9,000	100,00

Pour le traitement des données nous avons choisi deux axes qui expriment 84,61% des renseignements.

Le premier axe principal a une valeur propre égale à 4,84 et il explique 53,81 % de la variation totale, la seconde composante égale à 2,77 explique 30,80 % de la variance totale (Figure 69).

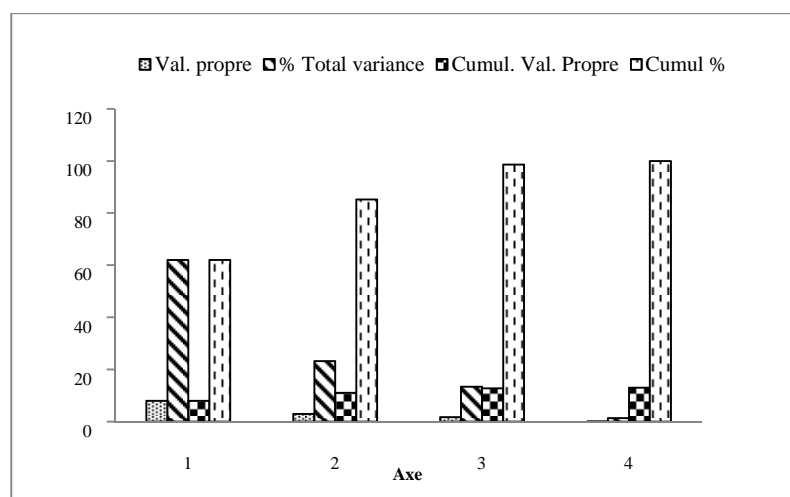


Figure 69: Valeurs propres et variance des facteurs (janvier 2012)

On donne dans le tableau 45 les corrélations entre les variables et les deux premiers axes F1 et F2.

Tableau 45: Corrélations entre les variables et les axes principaux (janvier 2012).

	Fact. 1 (53,81%)	Fact. 2 (30,80%)
Turbidité	0,444	-0,703
MES	0,906	0,370
NO ₃ ⁻	-0,604	0,651
NO ₂ ⁻	-0,938	0,160
PO ₄ ³⁻	0,968	0,243
TH	0,648	-0,450
Ca ²⁺	0,498	-0,666
Mg ²⁺	-0,556	-0,820
SO ₄ ²⁻	-0,812	-0,557

Ces axes montrent une bonne répartition et représentation des variables étudiés.

L'axe F1 est exprimé par : la matière en suspension, les ions phosphates et la dureté totale dans le sens positif et les nitrates, les nitrites et les ions sulfates dans le sens négatif. L'axe F2 est constitué par les nitrates dans le sens positif et la turbidité, les ions calcium et les ions magnésium dans le sens négatif. (Figure 70).

La projection des individus sur le plan factoriel (F1, F2) permet de distinguer 4 groupes :

Groupe1 : caractérisé par les éléments azotés représentés par la station S4.

Groupe 2 : caractérisé par les ions de minéralisation représentés par la station S2 et S5.

Groupe 3 : ayant des teneurs élevés en phosphate et MES représenté par la station S3.

Groupe 4 : ayant des teneurs élevés en calcium, TH et turbidité représenté par la station S1.

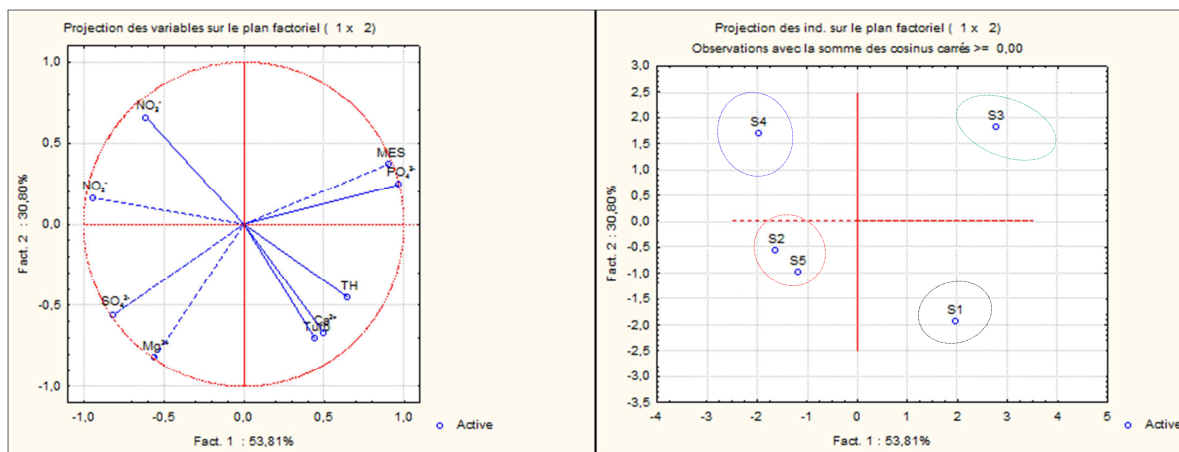


Figure 70: Cercle (I-II) des variables et Plan (I-II) des individus (Janvier 2012).

A. 2. Campagne d'avril 2012 :

A.2.1. Matrice de corrélation :

Cette étude a été effectuée aux cinq (5) stations de l'oued Seybouse, pour expliquer la variation de neuf variables (Tableau 46).

Tableau 46: Matrice de corrélation entre les variables (avril 2012).

	Tur.	CE	MES	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	TH	Mg ²⁺	Cl ⁻	K ⁺
Tur.	1,00	-0,62	0,99	-0,81	-0,06	-0,64	-0,72	-0,60	0,85
CE		1,00	-0,52	0,82	-0,27	0,99	0,98	1,00	-0,65
MES			1,00	-0,78	-0,17	-0,55	-0,63	-0,50	0,83
NO ₂ ⁻				1,00	0,27	0,86	0,92	0,80	-0,94
PO ₄ ³⁻					1,00	-0,15	-0,08	-0,30	-0,36
TH						1,00	0,98	0,98	-0,67
Mg ²⁺							1,00	0,97	-0,79
Cl ⁻								1,00	-0,62
K ⁺									1,00

Les chiffres en gras indiquent les corrélations significatives

Des fortes associations significatives et positives sont observées entre la turbidité et la MES ($r= 0,99$, $p=0,002$) (Figure 71), le magnésium et les chlorures ($r= 0,97$, $p=0,007$). La conductivité électrique est bonne corrélation positive avec la dureté totale ($r= 0,99$, $p=0,002$), avec le magnésium ($r=0,98$, $p=0,004$) et avec les chlorures ($r=1,00$, $p=0,000$).

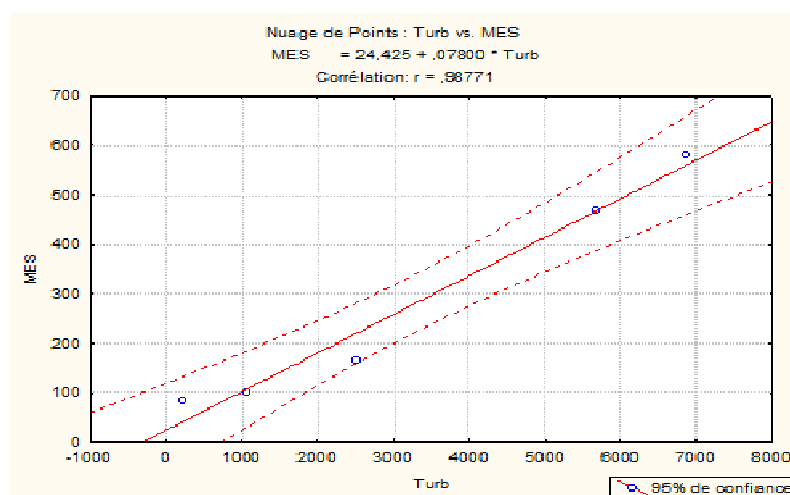


Figure 71: Evolution de la turbidité en fonction de la MES.

A.2.2. Valeurs propres :

Le premier axe principal à une valeur propre égale à 6,522, il explique 72,470% de la variance totale, la seconde égale à 1,677 explique 18,638% de la variance totale. Les pourcentages de variation sont élevés pour les deux premiers axes avec un cumule de

91,378%. Nous allons donc nous limiter à trois axes pour nos interprétations avec un cumule de 98,97%. (Tableau 47) et (Figure 72)

Tableau 47: Valeurs propres et variance des facteurs (avril 2012).

Facteurs	Val. propre	% Total variance	Cumul Val. propre	Cumul %
1	6,522	72,470	6,522	72,470
2	1,677	18,638	8,200	91,108
3	0,708	7,862	8,907	98,970

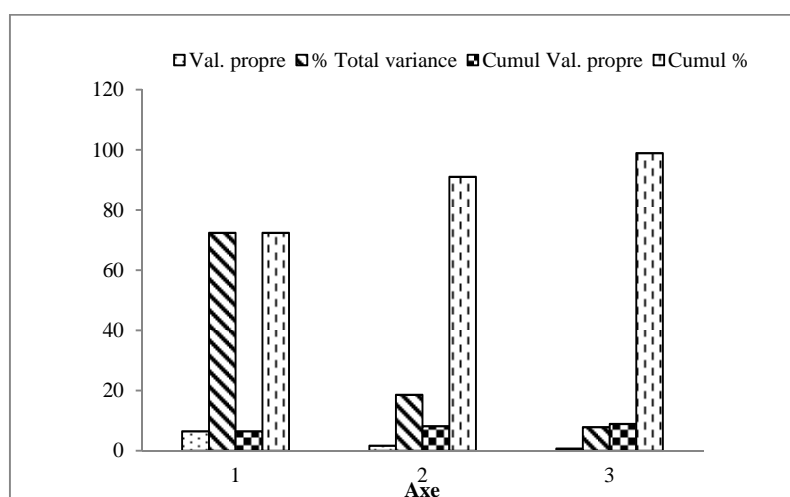


Figure 72: Valeurs propres et variance des facteurs (avril 2012).

On donne dans le tableau 48 les corrélations entre les variables et les deux premiers axes F1 et F2.

Tableau 48: Corrélations entre les variables et les axes principaux (avril 2012).

	Fact. 1 (72,43%)	Fact. 2 (18,64%)
Turbidité	0,854	-0,300
CE	-0,917	-0,382
MES	0,793	-0,421
NO₂⁻	-0,962	0,214
PO₄³⁻	-0,005	0,868
TH	-0,931	-0,295
Mg²⁺	-0,973	-0,177
Cl⁻	-0,905	-0,412
K⁺	0,875	-0,422

Le facteur F1 (72,43% de la variance totale) montre dans sa partie négative un regroupement des éléments de la minéralisation, représenté par la conductivité électrique, corrélée aux TH, Mg²⁺ et Cl⁻. La projection des individus montre que ce groupe est bien présenté par la station (S5). Cependant sa partie positive est caractérisée par la turbidité et MES correspond aux stations (S1 et S4).

Le facteur F2 (18,64% de la variance totale) représente l'axe de pollution urbain des eaux et représenté par les ions de phosphates, la projection des individus montre que ce groupe est bien présenté par les stations (S2 et S3). (Figure 73)

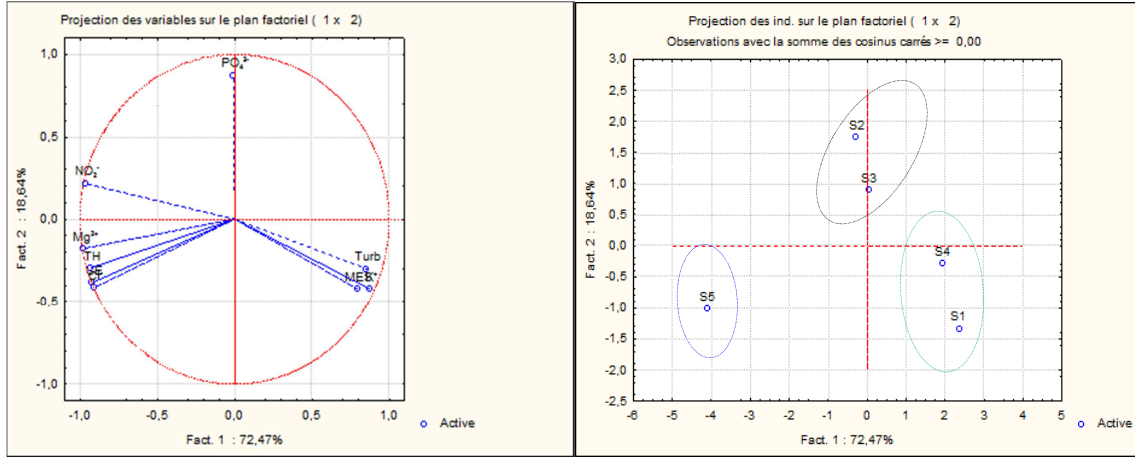


Figure 73: Cercle (I-II) des variables et Plan (I-II) des individus (Avril 2012).

A.3. Campagne de juillet 2012 :

A.3.1. Matrice de corrélation :

Le tableau ci-dessous représente la matrice de corrélation qui donne une probabilité sur les corrélations qui peuvent être représentées sur le cercle de l'ACP par la suite (Cond-RS), (MO-NH₄⁺), (Cl-MO), (Cond-MO) (Figure 74).

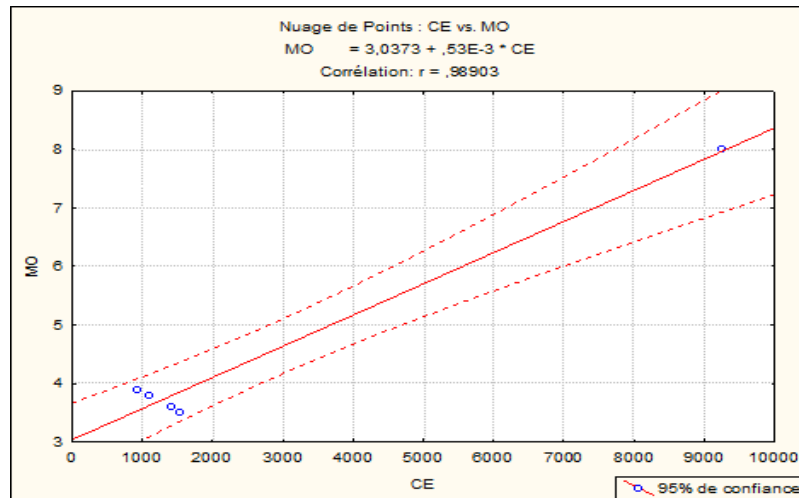


Figure 74: Evolution de la conductivité électrique en fonction de la matière organique.

Tableau 49: Matrice de corrélation entre les variables (juillet 2012).

	Tur.	CE	MES	RS	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	MO	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	K ⁺
Tur.	1,00	-0,28	-0,44	-0,21	-0,79	-0,42	-0,48	-0,41	0,88	0,13	-0,41	-0,32	-0,33
CE		1,00	0,13	1,00	0,06	0,98	0,40	0,99	-0,01	0,91	0,99	1,00	0,99
MES			1,00	0,07	-0,03	0,16	0,89	0,15	-0,28	-0,04	0,14	0,13	0,11
RS				1,00	0,02	0,96	0,33	0,97	0,05	0,94	0,97	0,99	0,99
NO ₃ ⁻					1,00	0,14	-0,14	0,16	-0,95	-0,28	0,17	0,09	0,15
NH ₄ ⁺						1,00	0,45	1,00	-0,10	0,83	1,00	0,99	0,97
PO ₄ ³⁻							1,00	0,43	-0,13	0,21	0,43	0,40	0,34
MO								1,00	-0,11	0,85	1,00	1,00	0,99
TH									1,00	0,37	-0,12	-0,04	-0,09
Ca ²⁺										1,00	0,84	0,89	0,89
Mg ²⁺											1,00	0,99	0,98
Cl ⁻												1,00	0,99
K ⁺													1,00

Les chiffres en gras indiquent les corrélations significatives

A.3.2. Valeurs propres :

La matrice des données comporte 13 variables et 5 individus, Pour le traitement nous avons choisi les axes F1 et F2 qui expriment une inertie totale de 85,18% de l'ensemble des informations. Le tableau 50, permet de constater que 61,96 % de l'information est contenu dans le premier axe factoriel F1 et 23,22% contenu sur l'axe F2. (Figure 75)

Tableau 50: Valeurs propres et variance des facteurs (juillet 2012).

Facteurs	Val. propre	% Total variance	Cumul Val. propre	Cumul %
1	8,056	61,966	8,056	61,966
2	3,019	23,221	11,074	85,186
3	1,751	13,466	12,825	98,652
4	0,175	1,348	13,000	100,000

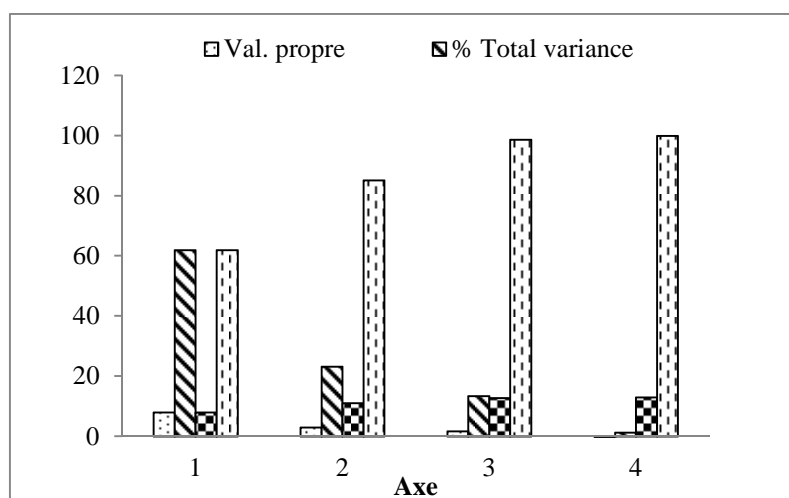


Figure 75: Valeurs propres et variance des facteurs (juillet 2012).

On donne dans le tableau 51 les corrélations entre les variables et les deux premiers axes F1 et F2.

Tableau 51: Corrélations entre les variables et les axes principaux (juillet 2012).

	Fact. 1 (61,97%)	Fact. 2 (23,22%)
Turbidité	0,389	0,904
CE	-0,993	0,107
MES	-0,205	-0,444
RS	-0,978	0,179
NO₃⁻	-0,124	-0,835
NH₄⁺	-0,993	-0,013
PO₄³⁻	-0,468	-0,302
MO	-0,997	-0,012
TH	0,096	0,961
Ca²⁺	-0,860	0,492
Mg²⁺	-0,995	-0,016
Cl⁻	-0,996	0,071
K⁺	-0,988	0,046

Le cercle formé par les axes I et II, montre l'occupation de la partie négative de l'axe I (61,97%) par les eaux fortement minéralisées caractérisées par la conductivité (CE), le résidu sec (RS), le calcium, le magnésium (Mg²⁺), les chlorures (Cl⁻) et le potassium (K⁺). L'individu qui est lié à cet axe est la station cinq situés à sidi Salem. Selon l'axe II (23,22%), on remarque les eaux riches en turbidité accompagnées de dureté totale (TH) occupent la partie positive de l'axe, mais sa partie négative est caractérisée par les nitrates et les phosphates. Ce groupe est représenté sur le plan de l'individu par la station S4 localisée dans le village Chihani Wilaya d' El Taraf et les stations S1, S2, S3. (Figure 76)

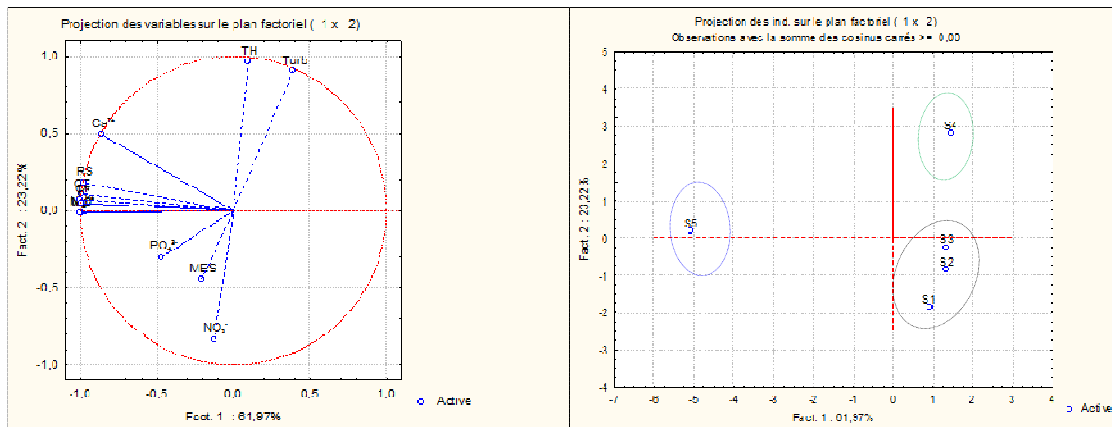


Figure 76: Cercle (I-II) des variables et Plan (I-II) des individus (juillet 2012).

A. 4. Compagnie d'octobre 2012 :

A. 4. 1. Matrice de corrélation :

L'examen du tableau 52 relatif à la matrice de corrélation permet de voir que pratiquement toutes les variables sont corrélées entre elles. Il existe une forte corrélation entre les chlorures et la température d'une part et entre les chlorures, la MES, les nitrates, la dureté totale d'autre part.

Tableau 52: Matrice de corrélation entre les variables (octobre 2012).

	T (°C)	CE	MES	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	TH	Mg ²⁺	Cl ⁻	K ⁺
T	1,00	0,97	-0,95	0,87	0,62	0,83	0,76	0,88	0,77
CE		1,00	-0,90	0,77	0,55	0,83	0,65	0,79	0,67
MES			1,00	-0,97	-0,81	-0,91	-0,87	-0,98	-0,93
NO ₃ ⁻				1,00	0,89	0,91	0,85	0,99	0,98
NH ₄ ⁺					1,00	0,90	0,71	0,89	0,94
TH						1,00	0,65	0,90	0,88
Mg ²⁺							1,00	0,89	0,88
Cl ⁻								1,00	0,98
K ⁺									1,00

Les chiffres en gras indiquent les corrélations significatives

Des corrélations moins significatives entre les MES et la température d'une part et entre la conductivité électrique et les MES d'autre part.

A. 4. 2. Valeurs propres :

La matrice des données comporte 9 variables et 5 individus, nous pouvons noter, d'après le tableau des valeurs propres que le taux d'information contenu dans les trois axes est de 98,53%. Pour le traitement nous avons choisi les axes F1 et F2 qui expriment une inertie totale de 92,48% de l'ensemble des informations. En effet, le tableau permet de constater que 82,48 % de l'information est contenu dans le premier axe factoriel F1 et 10,00% contenu sur l'axe F2. (Figure 77)

Tableau 53: Valeurs propres et variance des facteurs (octobre 2012).

Facteurs	Val. propre	% Total variance	Cumul Val. propre	Cumul %
1	8,248	82,483	8,248	82,483
2	1,001	10,009	9,249	92,492
3	0,604	6,038	9,853	98,530
4	0,147	1,470	10,000	100,000

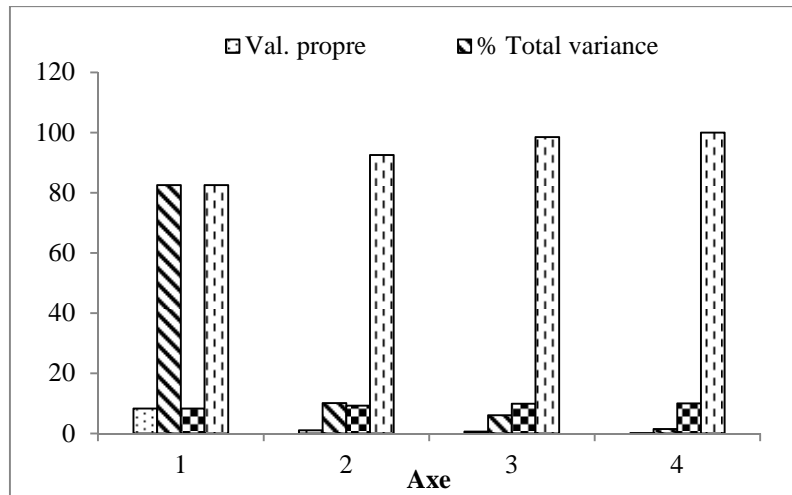


Figure 77: Valeurs propres et variance des facteurs (octobre 2012).

On donne dans le tableau 54 les corrélations entre les variables et les deux premiers axes F1 et F2.

Tableau 54: Corrélations entre les variables et les axes principaux (octobre 2012).

	Fact. 1 (82,48%)	Fact. 2 (10,00%)
T°C	-0,914	0,396
CE	-0,848	0,514
MES	0,993	-0,111
NO₃⁻	-0,984	-0,100
NH₄⁺	-0,876	-0,422
MO	-0,700	-0,400
TH	-0,934	0,003
Mg²⁺	-0,867	-0,113
Cl⁻	-0,994	-0,084
K⁺	-0,961	-0,271

L'axe I (82,48% de la variance totale) montre un regroupement des éléments de la minéralisation, représenté par la conductivité électrique dureté totale, Mg²⁺, Cl⁻ et K⁺.

La projection des individus montre que ce groupe est représenté par la station S5.

L'axe II (10,00% de la variance totale) représenté par les eaux faiblement minéralisées caractérisées par la conductivité (Figure 78). La projection des individus montre que ce groupe est représenté par les stations S1, S2, S3 et S4.

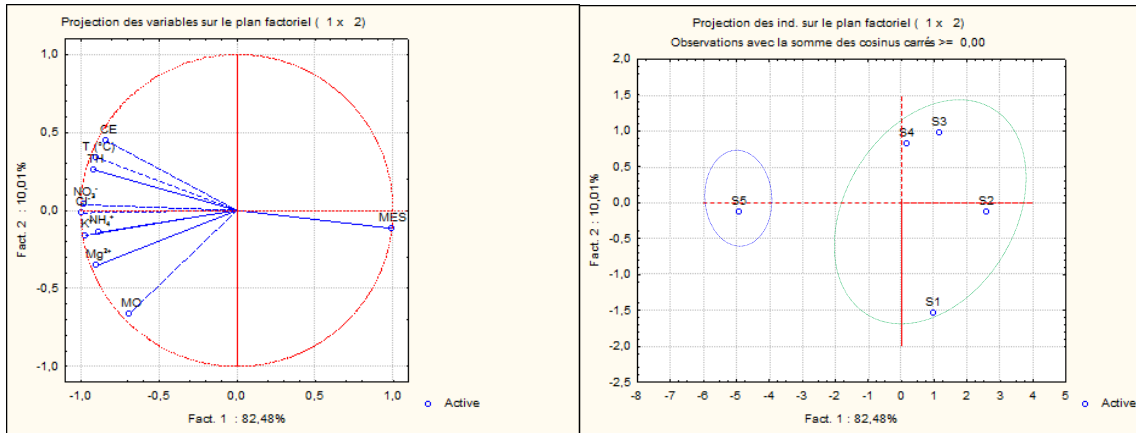


Figure 78: Cercle (I-II) des variables et plan (I-II) des individus (octobre 2012).

A.5. Campagne de janvier 2013 :

A.5.1. Matrice de corrélation :

La matrice de corrélation (Tableau ci-dessous) montre les éléments corrélés entre eux tel que (NO₂⁻ - PO₄³⁻) (Figure 3-51), (T°C - Cl⁻), (CE - Cl⁻) et (K⁺ - CE).

Tableau 55: Matrice de corrélation entre les variables (janvier 2013).

	T (°C)	CE	MES	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	MO	TH	Cl ⁻	K ⁺
T	1,00	0,73	0,13	-0,59	-0,19	0,60	-0,20	0,35	0,73	0,90	0,68
CE		1,00	-0,02	-0,43	-0,59	0,87	-0,60	0,29	0,34	0,93	0,88
MES			1,00	0,70	-0,28	0,35	-0,12	0,85	0,63	-0,07	0,18
NO ₃ ⁻				1,00	-0,24	-0,02	-0,11	0,42	-0,01	-0,62	-0,29
NO ₂ ⁻					1,00	-0,86	0,98	-0,15	-0,36	-0,46	-0,31
NH ₄ ⁺						1,00	-0,83	0,43	0,55	0,78	0,71
PO ₄ ³⁻							1,00	0,01	-0,31	-0,50	-0,26
MO								1,00	0,50	0,19	0,61
TH									1,00	0,52	0,27
Cl ⁻										1,00	0,77
K ⁺											1,00

Les chiffres en gras indiquent les corrélations significatives

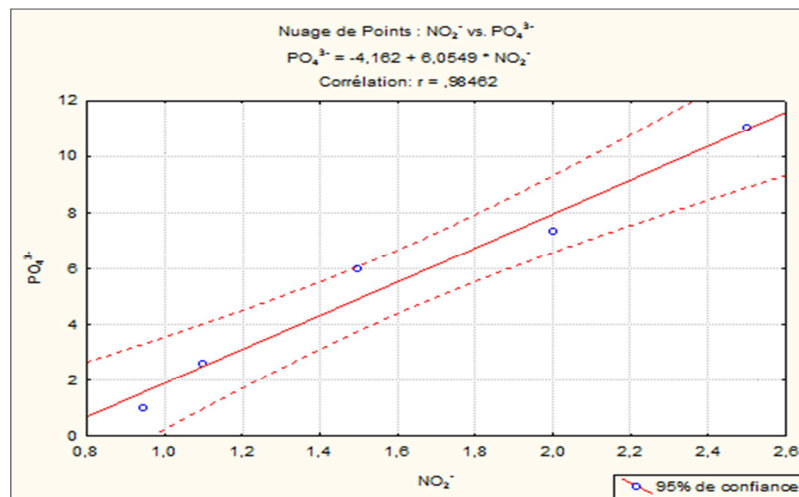


Figure 79: Evolution des nitrites en fonction de phosphate.

A.5.2. Valeurs propres :

La matrice des données comporte 11 variables et 5 individus, Pour le traitement nous avons choisi les axes F1 et F2 qui expriment une inertie totale de 76,16% de l'ensemble des informations. Le tableau 56, permet de constater que 50,22 % de l'information est contenu dans le premier axe factoriel F1 et 25,94% contenu sur l'axe F2. (Figure 80).

Tableau 56: Valeurs propres et variance des facteurs (janvier 2013).

Facteurs	Val. propre	% Total variance	Cumul Val. propre	Cumul %
1	5,022	50,222	5,022	50,222
2	2,594	25,943	7,617	76,165
3	1,600	15,996	9,216	92,161
4	0,784	7,839	10,000	100,000

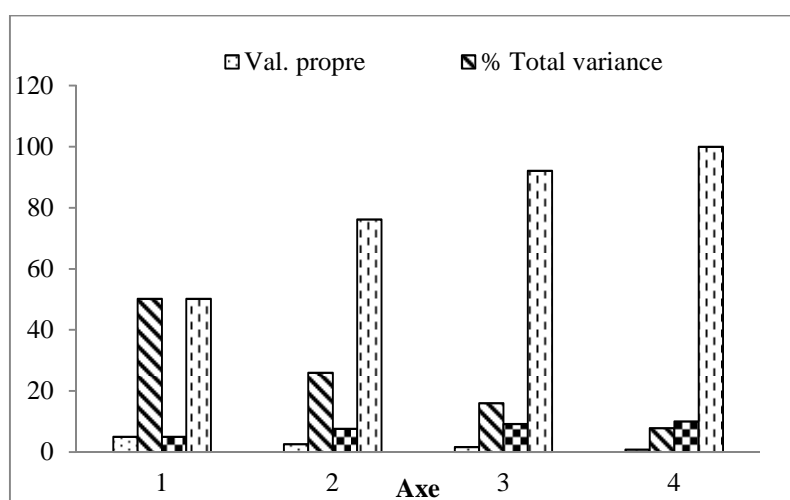


Figure 80: Valeurs propres et variance des facteurs (janvier 2013).

On donne dans le tableau 57 les corrélations entre les variables et les deux premiers axes F1 et F2.

Tableau 57: Corrélations entre les variables et les axes principaux (janvier 2013).

	Fact. 1 (50,22%)	Fact. 2 (25,94%)
T°C	0,416	0,904
CE	-0,947	-0,216
MES	-0,211	0,967
NO ₃ ⁻	0,240	0,844
NO ₂ ⁻	0,558	0,021
NH ₄ ⁺	0,760	-0,184
PO ₄ ³⁻	0,520	-0,010
TH	-0,975	0,162
MO	-0,854	-0,784
Cl ⁻	-0,376	0,778
K ⁺	-0,555	0,433

L'observation du cercle F1-F2 (Figure 81), montre que pour l'axe F1 les eaux sont fortement minéralisées riches en (CE, TH, Mg²⁺, Cl⁻ et K⁺) correspond aux points (S5 et S2).

L'axe F2 représente des eaux chargées en (NO_3^- , MES et MO) correspond à station S4 et S4 et troisième groupe représenté par la station S1 et S3 caractérisé par les nitrites et phosphates (axe de pollution agricole).

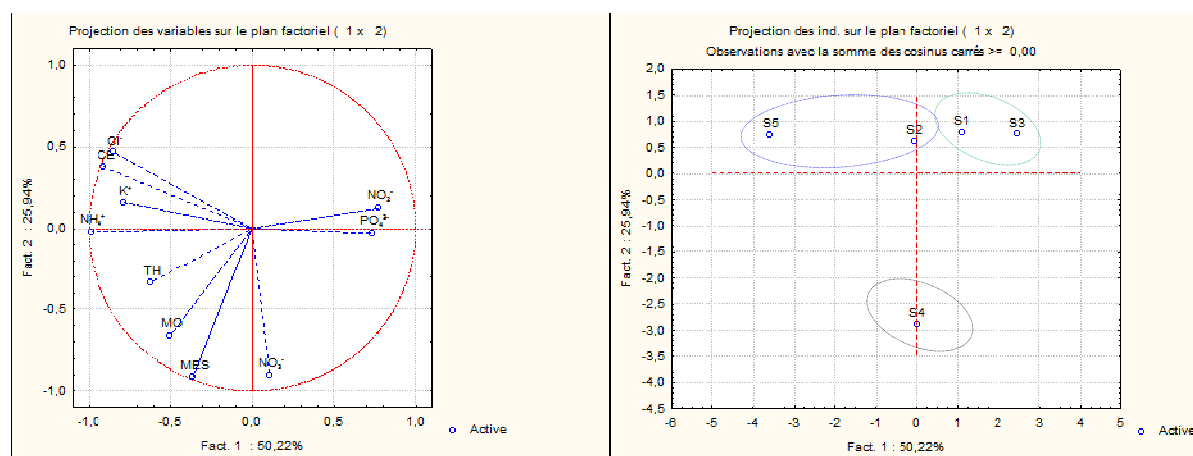


Figure 81 : Cercle (I-II) des variables et plan (I-II) des individus (janvier 2013).

A. 6. Campagne d'avril 2013 :

A.6.1. Matrice de corrélation :

Cette étude a été effectuée aux cinq (5) stations de l'oued Seybouse, pour expliquer la variation de 12 variables pour les eaux de surface. (Tableau 58)

Tableau 58: Matrice de corrélation des différents paramètres physico-chimiques (avril 2013).

	T (°C)	CE	MES	RS	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	PO_4^{3-}	MO	TH	Cl^-	K^+
T	1,00	0,97	-0,56	0,97	0,54	0,01	0,35	-0,89	0,82	-0,13	0,99	0,24
CE		1,00	-0,55	0,98	0,61	0,03	0,46	-0,88	0,87	-0,29	0,98	0,30
MES			1,00	-0,44	-0,95	-0,75	0,17	0,70	-0,07	-0,13	-0,54	-0,92
RS				1,00	0,48	-0,04	0,44	-0,88	0,91	-0,23	0,96	0,17
NO_3^-					1,00	0,68	0,05	-0,66	0,17	-0,14	0,56	0,93
NO_2^-						1,00	-0,64	-0,40	-0,41	0,47	-0,06	0,88
NH_4^+							1,00	0,00	0,69	-0,94	0,47	-0,25
PO_4^{3-}								1,00	-0,63	-0,14	-0,83	-0,48
MO									1,00	-0,47	0,84	-0,18
TH										1,00	-0,27	0,08
Cl^-											1,00	0,24
K^+												1,00

Les chiffres en gras indiquent les corrélations significatives

La matrice montre un bon coefficient de corrélation ($0,88 < r < 0,99$) mentionnés en gras. D'après le tableau ci-dessus, on peut constater que les éléments ayant les bonnes corrélations sont : (T°C , CE, RS, PO_4^{3-} , Cl^-) (Figure 82), (MES, NO_3^- , K^+), (RS, PO_4^{3-} , MO, Cl^-), (NO_2^- , NO_3^- , K^+), (NH_4^+ , TH).

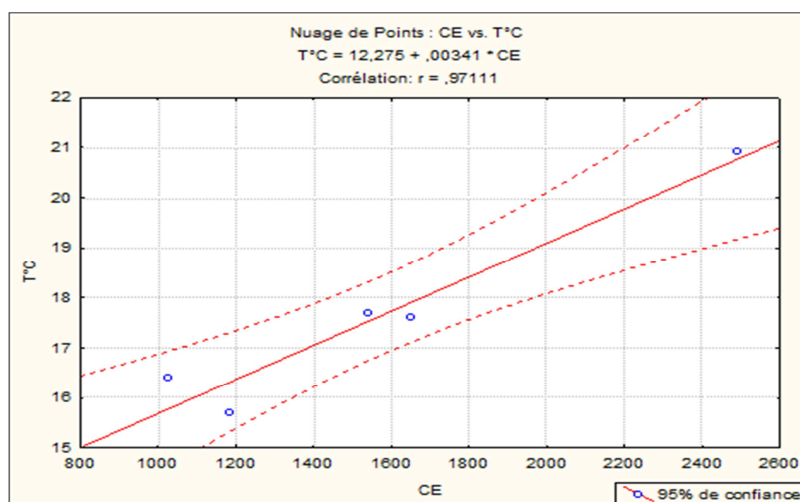


Figure 82: Evolution de la conductivité en fonction de la température.

A.6.2. Valeurs propres :

Pour le traitement des données nous avons choisi deux axes qui expriment 86,78% des renseignements. Le premier axe principal a une valeur propre égale à 6,57 il explique 54,78 % de la variation totale, la seconde composante égale à 3,84 explique 32,00 % de la variance totale (Tableau 59), (Figure 83)

Tableau 59: Valeurs propres et variance des facteurs (avril 2013).

Facteurs	Val. propre	% Total variance	Cumul Val. propre	Cumul %
1	6,574	54,785	6,574	54,785
2	3,840	32,003	10,415	86,788
3	1,387	11,558	11,801	98,345
4	0,199	1,655	12,000	100,000

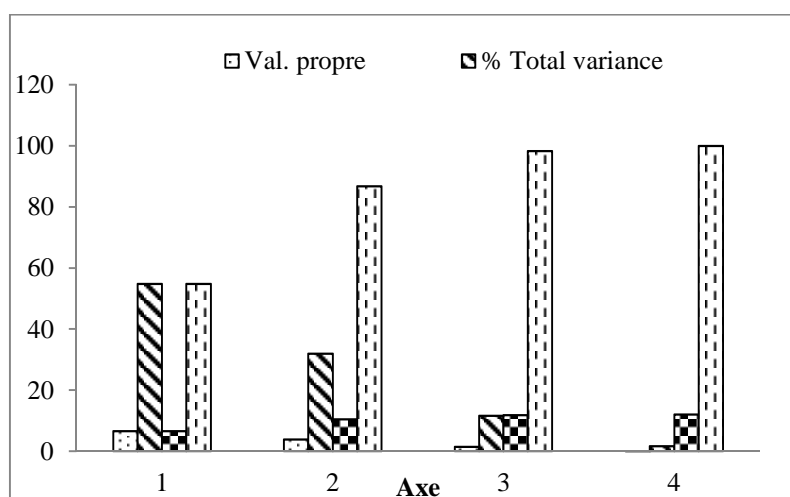


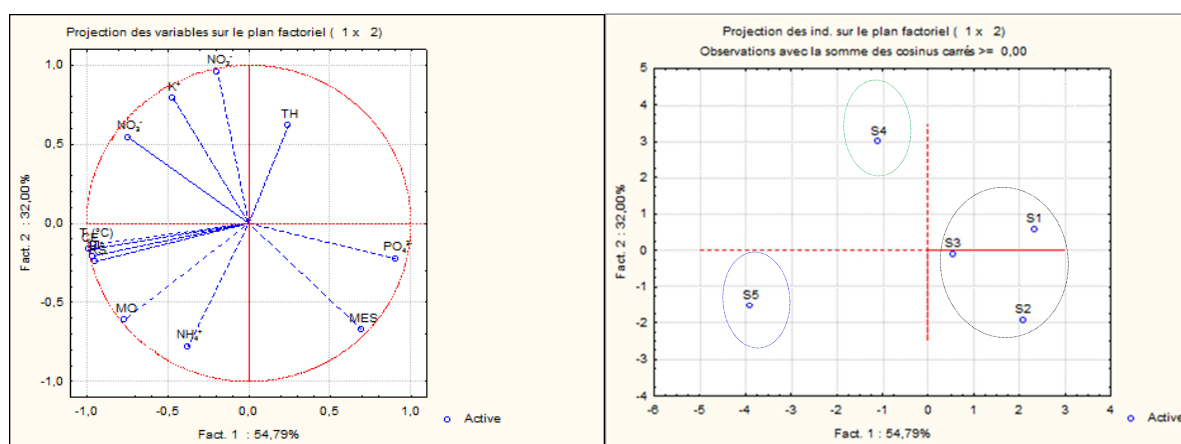
Figure 83: Valeurs propres et variance des facteurs (avril 2013).

On donne dans le tableau 60 les corrélations entre les variables et les deux premiers axes F1 et F2.

Tableau 60: Corrélations entre les variables et les axes principaux (avril 2013).

	Fact. 1 (54,78%)	Fact. 2 (32,00%)
T°C	-0,953	-0,135
CE	-0,983	-0,166
MES	0,695	-0,671
RS	-0,943	-0,241
NO ₃ ⁻	-0,741	0,541
NO ₂ ⁻	-0,192	0,955
NH ₄ ⁺	-0,375	-0,781
PO ₄ ³⁻	0,907	-0,225
MO	-0,763	-0,609
TH	0,243	0,616
Cl ⁻	-0,958	-0,206
K ⁺	-0,467	0,792

Les données sont représentées dans l'espace réduit des deux premières composantes principales sur la figure 84.

**Figure 84:** Cercle (I-II) des variables (avril 2013) et Plan (I-II) des individus (avril 2013).

Le facteur I avec 54,79% de la variance totale est représenté par la température, la conductivité, résidu sec, Cl⁻ et K⁺, Cet axe exprime une minéralisation superficielle d'origine anthropique ou atmosphérique. Le facteur II avec 32,00% de la variance regroupe les nitrates, les nitrites, les ions d'ammonium, MES et MO représente la pollution d'origine agricole. (Figure 84)

À l'observation de la projection des individus sur le plan factoriel F1×F2 (Figure 3-56), nous pouvons regrouper les stations en trois familles :

Famille 1 est constituée des eaux fortement minéralisées et ayant des teneurs très élevées en chlorures. Cette famille représente la station aval (S5). La famille 2 est constituée des stations ayant des teneurs très élevées en nitrates et nitrites. Ces eaux proviennent de S4.

La famille 3 quant à elle représente les eaux riches en phosphates et MES. Cette famille regroupe les stations S1, S2 et S3.

A. 7. Campagne de juillet 2013 :

A.7.1. Matrice de corrélation :

L'analyse statistique des données physico-chimiques 15 variables, 5 individus a été réalisée par l'ACP. La matrice des corrélations nous donne une première idée des associations existant entre les différentes variables telles que K^+ , Mg^{2+} , Cl , Ca^{2+} , RS , CE , turbidité, PO_4^{3-} et MO . Ces paramètres sont relativement bien corrélés entre eux. (Tableau 62)

A.7.2. Valeurs propres :

Les valeurs propres de la matrice des corrélations permettent de mesurer le pourcentage de la variance expliquée par chaque factoriel. Nous apporterons une attention importante aux variables ayant une forte contribution positive ou négative à l'axe factoriel, ce qui facilitera la compréhension de la source de variabilité expliquée par cet axe. (Alayat et Lamouroux 2007)

Le premier axe principal a une valeur propre égale à 8,44 il explique 56,33 % de la variation totale, la seconde composante égale à 3,87 explique 25,80 % de la variance totale (Tableau 61 et Figure 85).

Tableau 61: Valeurs propres et variance des facteurs (juillet 2013).

Facteurs	Val. propre	% Total variance	Cumul Val. propre	Cumul %
1	8,449	56,330	8,449	56,330
2	3,870	25,802	12,320	82,132
3	1,768	11,789	14,088	93,921
4	0,912	6,079	15,000	100,000

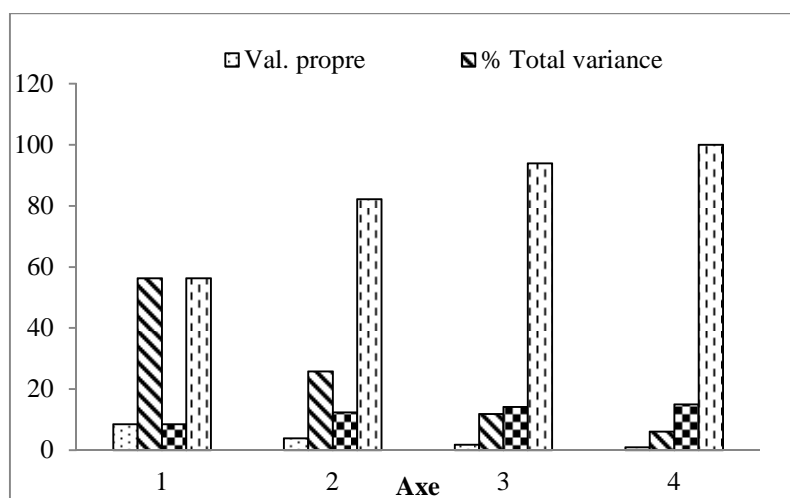


Figure 85: Valeurs propres et variance des facteurs (juillet 2013).

Tableau 62 : Matrice de corrélation des différents paramètres physico-chimiques (juillet 2013).

	K	Cl	Mg	Ca	TH	MO	PO4	NH4	NO ₃ ⁻	RS	MES	OD	CE	T	Turb	
															1,00	Turb
														1,00	0,85	T (°C)
													1,00	0,37	-0,13	CE
												1,00	0,91	0,64	0,16	OD
											1,00	0,59	0,43	0,95	0,78	MES
										1,00	0,82	0,53	0,59	0,67	0,50	RS
									1,00	-0,34	-	-0,31	-0,28	-0,45	-0,18	NO₃⁻
								1,00	0,04	0,74	0,25	0,38	0,67	0,05	-0,15	NH₄⁺
							1,00	0,40	0,11	-0,24	-	-0,26	0,13	-0,83	-0,92	PO₄³⁻
						1,00	0,10	0,93	-0,12	0,88	0,53	0,64	0,81	0,39	0,10	MO
					1,00	0,10	-0,22	-0,12	-0,96	0,28	0,61	0,49	0,38	0,54	0,20	TH
				1,00	0,57	0,84	-0,16	0,66	-0,60	0,93	0,84	0,67	0,73	0,68	0,37	Ca²⁺
			1,00	0,75	-0,01	0,97	0,31	0,99	-0,05	0,80	0,35	0,49	0,75	0,17	-0,08	Mg²⁺
		1,00	0,99	0,78	0,00	0,97	0,25	0,98	-0,09	0,86	0,42	0,43	0,68	0,22	0,02	Cl⁻
1,00	0,86	0,83	0,98	0,39	0,91	-0,18	0,75	-0,42	0,98	0,82	0,67	0,73	0,67	0,67	0,40	K⁺

Les chiffres en gras indiquent les corrélations significatives

On donne dans le tableau 63 les corrélations entre les variables et les deux premiers axes F1 et F2.

L'axe I exprime 56,33 % de la variance et oppose les éléments majeurs : CE, oxygène dissous, RS, Ca^{2+} , Mg^{2+} et Cl^- (Figure 86). Il explique la minéralisation des eaux. Enfin, les ions d'ammonium, les nitrates et le phosphate se différencient sur l'axe II qui exprime 25,80 % de la variance.

La projection des stations de prélèvement sur le plan factoriel F1xF2, confirme l'existence de trois groupes plus ou moins distincts (Figure 86) : le groupe de la minéralisation exprimée dans l'eau de la station S5, le groupe à dominance des éléments indiquant une pollution urbaine (stations S3 et S4) et le groupe des eaux riches en phosphates et nitrates indiquant une pollution agricole, soit les stations S1 et S2.

Tableau 63: Corrélations entre les variables et les axes principaux (juillet 2013).

	Fact. 1 (56,33%)	Fact. 2 (25,80%)
Turbidité	-0,370	-0,759
T°C	-0,689	-0,692
CE	-0,794	0,276
OD	-0,744	-0,106
MES	-0,819	-0,560
RS	-0,952	-0,005
NO_3^-	0,441	0,444
NH_4^+	-0,728	0,662
PO_4^{3-}	0,188	0,868
MO	-0,911	0,388
TH	-0,440	-0,528
Ca^{2+}	-0,978	-0,070
Mg^{2+}	-0,811	0,575
Cl^-	-0,832	0,509
K^+	-0,994	0,015

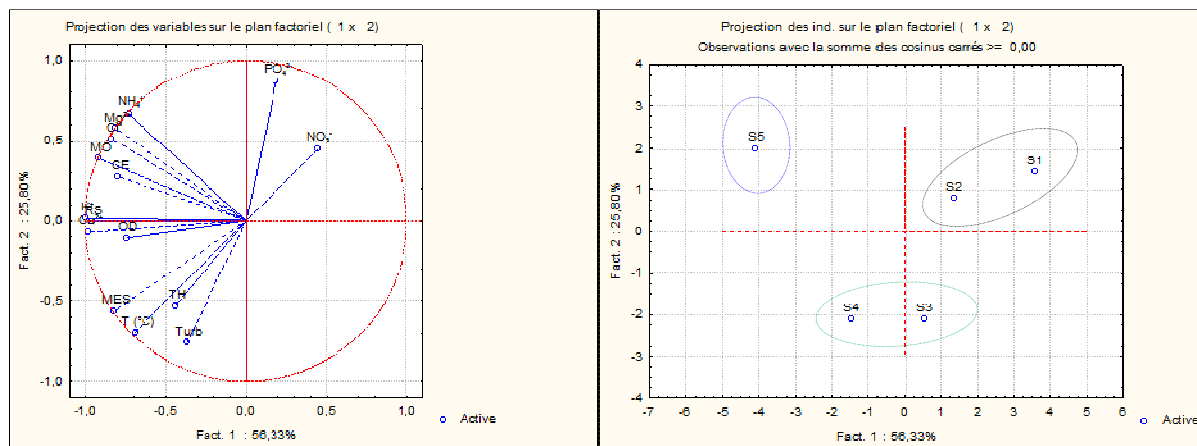


Figure 86: Cercle (I-II) des variables et plan (I-II) des individus (juillet 2013).

A. 8. Campagne d'octobre 2013 :

A.8.1. Matrice de corrélation :

La matrice de corrélation (Tableau 64) présente les différentes corrélations entre les variables prises deux à deux, elle nous permet de dégager les associations suivantes :

pH-CE ($r=0,89$, $p= 0,04$), pH-TH($r=0,90$, $p= 0,03$), CE- K^+ ($r=0,91$, $p= 0,03$), MES- Mg^{2+} ($r=-0,97$, $p= 0,05$) et NO_3^- - PO_4^{3-} ($r=0,91$, $p= 0,03$) (Figure 87).

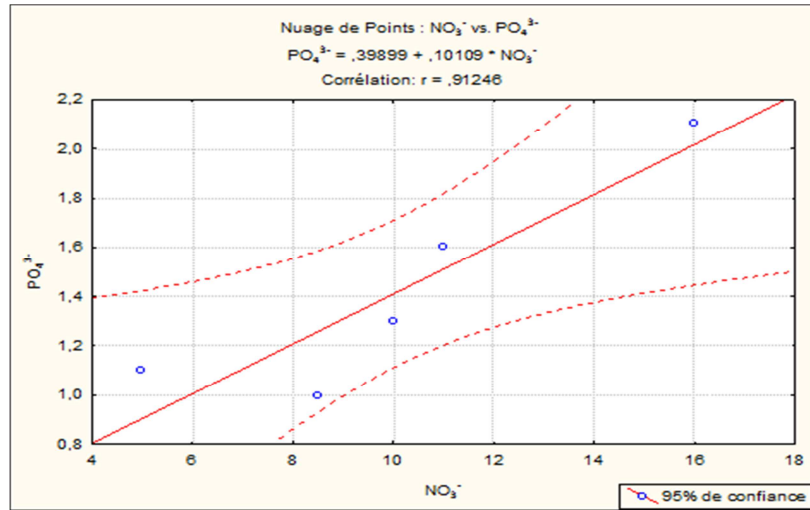


Figure 87: Evolution des nitrates en fonction de phosphore.

Tableau 64: Matrice de corrélation des différents paramètres physico-chimiques (octobre 2013).

	pH	CE	MES	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	PO_4^{3-}	MO	TH	Mg^{2+}	K^+
pH	1,00	0,89	-0,19	0,01	-0,86	0,57	-0,27	-0,05	0,90	0,12	0,64
CE		1,00	-0,47	-0,15	-0,60	0,74	-0,47	0,30	0,79	0,45	0,91
OD			1,00	-0,63	0,22	-0,58	0,53	0,11	0,39	0,13	0,46
MES			1,00	-0,44	0,11	-0,09	-0,19	-0,21	0,00	-0,97	-0,51
NO_3^-				1,00	-0,37	-0,68	0,91	-0,69	-0,14	0,34	-0,40
NO_2^-					1,00	-0,25	-0,20	0,33	-0,65	0,04	-0,23
NH_4^+						1,00	-0,76	0,76	0,45	0,07	0,81
PO_4^{3-}							1,00	-0,63	-0,45	0,06	-0,69
MO								1,00	-0,18	0,22	0,58
TH									1,00	0,03	0,61
Mg^{2+}										1,00	0,55
Cl ⁻											0,67
K^+											1,00

Les chiffres en gras indiquent les corrélations significatives

A.8.2. Valeurs propres :

Le tableau 65 met en évidence les quatre premières composantes expliquant 100 % de variances cumulées. Le pourcentage de la variance des composantes 1 et 2 est respectivement

de 46,44 % et 27,70 %, et celui des composantes 3 et 4 est respectivement de 20,56 % et 5,29 % (Figure 88).

Tableau 65: Valeurs propres et variance des facteurs (octobre 2013).

Facteurs	Val. propre	% Total variance	Cumul Val. propre	Cumul %
1	5,108	46,440	5,108	46,440
2	3,047	27,703	8,156	74,143
3	2,262	20,566	10,418	94,709
4	0,582	5,291	11,000	100,000

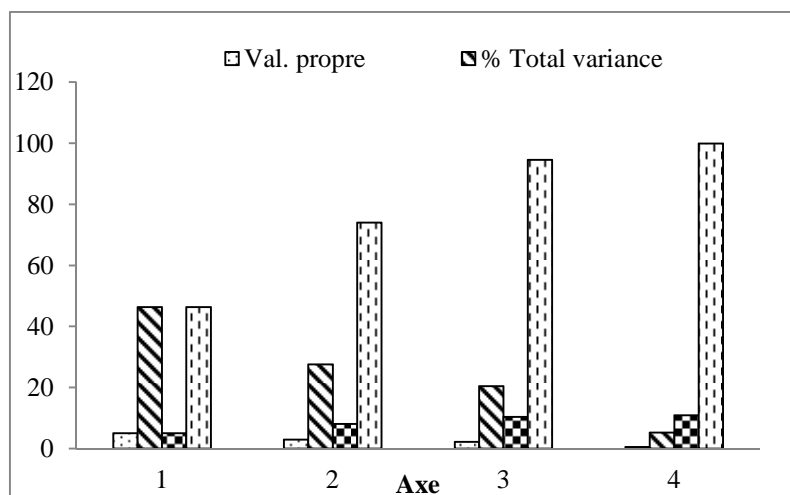


Figure 88: Valeurs propres et variance des facteurs (octobre 2013).

On donne dans le tableau 66 les coefficients corrélations entre les variables et les deux premiers axes F1 et F2.

Tableau 66: Corrélations entre les variables et les axes principaux (octobre 2013).

	Fact. 1 (46,44%)	Fact. 2 (27,70%)
pH	-0,792	-0,470
CE	-0,953	-0,301
MES	0,320	0,514
NO₃⁻	0,437	-0,883
NO₂⁻	0,419	0,688
NH₄⁺	-0,888	0,344
PO₄³⁻	0,702	-0,648
MO	-0,510	0,638
TH	-0,731	-0,324
Mg²⁺	-0,328	-0,411
K⁺	-0,958	0,014

Ces axes montrent une bonne répartition et représentation des variables étudiés (Figure 89). L'axe I, est exprimé vers son pôle négatif par le pH, la conductivité électrique, les ions d'ammonium, la dureté totale et le potassium et vers son pôle positif par les teneurs en phosphate. L'axe II est défini par la matière organique et les teneurs en nitrates et nitrites.

La représentation graphique individu (échantillon ou unité statistique fait apparaître, globalement, deux groupe (Figure 89) :

* Des eaux marquées par des teneurs élevées en ammonium et fortes minéralisation. Il s'agit des eaux prélevées au niveau des stations 2, 3 et 5.

* Des eaux ayant les plus fortes valeurs de phosphate et nitrate, prélevées au niveau des stations 1 et 4

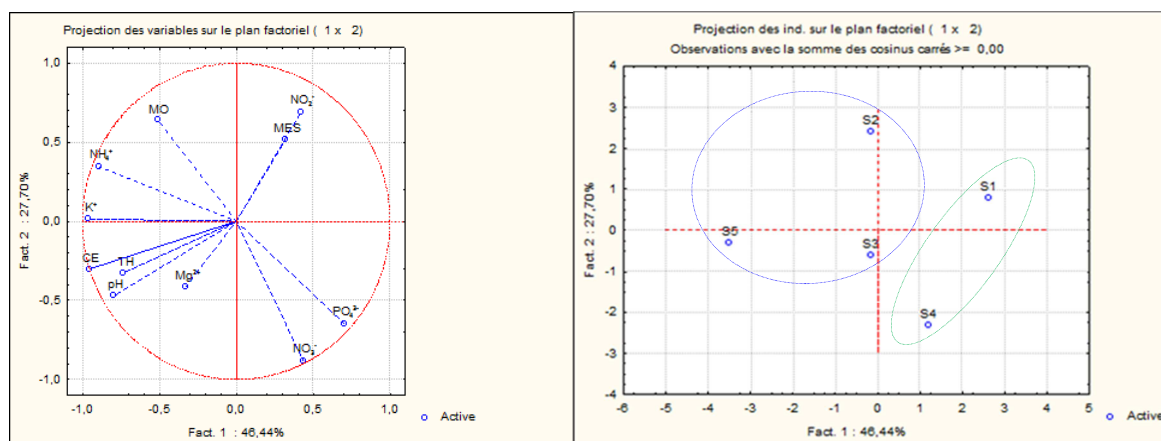


Figure 89: Cercle (I-II) des variables et plan (I-II) des individus (octobre 2013).

B. Analyse factorielle:

B.1. Valeur propre:

L'utilisation de l'ACP doit être justifiée par des tests statistiques permettant son application (Sadat *et al.*, 2011). Par application du test de sphéricité de Bartlett, une valeur de 1385,723 a été obtenue pour le Khi-deux (pour un degré de liberté de 153 et un seuil de signification de 0,00) confirmant que les variables sont corrélées significativement pour permettre une réduction de la dimension. Dans un deuxième temps, nous avons réalisé la mesure de l'adéquation de l'échantillonnage avec la faisabilité de l'ACP par la méthode de Kaiser-Meyer-Olkin (indice KMO). La valeur obtenue (0,756) tend vers 1, confirmant et justifiant ainsi cette adéquation satisfaisante.

L'extraction des facteurs a été effectuée par la méthode des composantes principales. Quatre composantes dont les valeurs propres sont supérieures à 1 ont été retenues suivant le critère de Kaiser (Kaiser, 1958). Ils correspondent à 62,514% de la variance totale. La rotation Varimax normalisée a été appliquée sur ces facteurs afin de faciliter leur interprétation. Le Tableau 67 présente les valeurs propres des quatre composantes et leurs variances expliquées.

Tableau 67 : Variance totale expliquée des variables étudiées pour toutes les stations.

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulés
1	4,834	26,857	26,857
2	3,233	17,962	44,818
3	1,769	9,828	54,647
4	1,416	7,867	62,514

Les composantes principales sont obtenues par combinaison linéaire des variables initiales qui leur sont plus ou moins corrélées. Ces composantes définissent donc un espace de dimension réduite dans lequel sont projetées les variables initiales rendant compte du maximum de l'information (Sadat *et al.*, 2011). Dans le tableau 68 sont représentées les valeurs des coefficients de corrélations liant les variables aux quatre composantes. Nous avons représenté en grisé les corrélations les plus significatives, autrement dit, celles qui parmi ces variables expliquent le mieux chacune de ces composantes.

La composante 1 comptant pour 26,85% des variances est constituée essentiellement de la conductivité, des résidus secs, de l'ion NH_4^+ et des variables minérales (Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+). Cette composante exhibe six variables dont les coefficients sont supérieurs à 0,6 et de ce fait la composante 1 peut être considérée comme un axe caractérisant la minéralisation de l'eau. Ces variables sont majoritairement dépendantes de l'activité anthropique, notamment humaine et des lessivages des formations géologiques (Elhatip *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2003; Omo-Irabor *et al.*, 2008).

Tableau 68: Coefficients de corrélation entre les variables et les 4 premières composantes.

Variables	Composantes			
	1	2	3	4
Turb	,354	,856	,077	,115
pH	-,235	,206	-,452	-,449
Temp	,347	-,333	,618	,145
CE	,818	-,446	-,119	-,167
OD	,349	,566	-,203	,138
MES	,372	,853	,036	,023
RS	,816	,291	,031	-,157
NO ₃ ⁻	,194	,138	-,152	,591
NO ₂ ⁻	-,055	-,118	,068	,595
NH ₄ ⁺	,704	,377	,031	-,165
PO ₄ ³⁻	,111	-,280	,581	,141
MO	,357	,199	,369	-,303
TH	,246	-,384	-,580	,295
Ca ²⁺	,592	-,221	-,360	,177
Mg ²⁺	,748	-,443	-,221	-,194
Cl ⁻	,842	-,451	-,051	-,060
K ⁺	,635	,269	,044	,312
SO ₄ ²⁻	,425	-,235	,312	-,097

La composante 2 (17.96% de la variance) est caractérisée par la présence des variables telles les MES, la turbidité et l'oxygène dissous. Elle définit un axe de pollution par les particules organiques et minérales naturelles charriées par le cours d'eau lors de la période de crue. L'impact de l'augmentation des pluies sur les caractéristiques des eaux est traduit essentiellement par le drainage des matières organiques naturelles du bassin versant vers l'Oued Seybouse, surtout au niveau de la partie amont de la zone d'étude (S1 et S2) et la station S4 (Figure 90), où nous observons régulièrement en temps de pluie des crues drainées par l'Oued Cherf (au niveau de la station S1), lessivage des sols et l'érosion de la berge (au niveau de la station S4) (Figure 91).

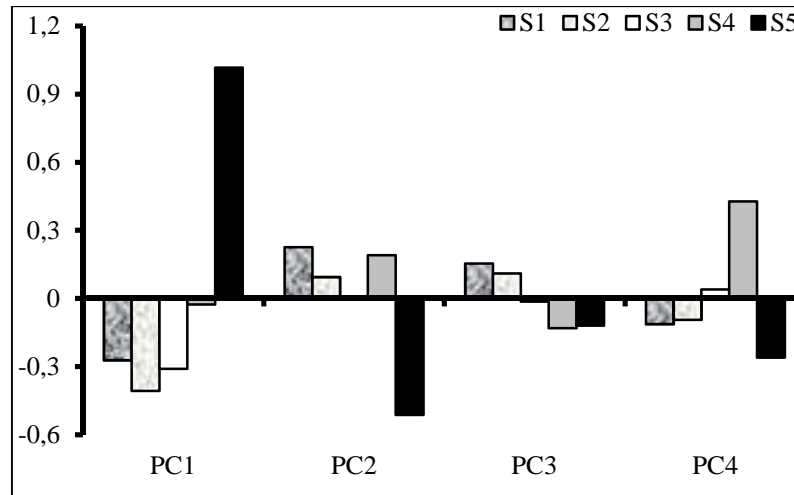


Figure 90: Variation des composantes par stations.

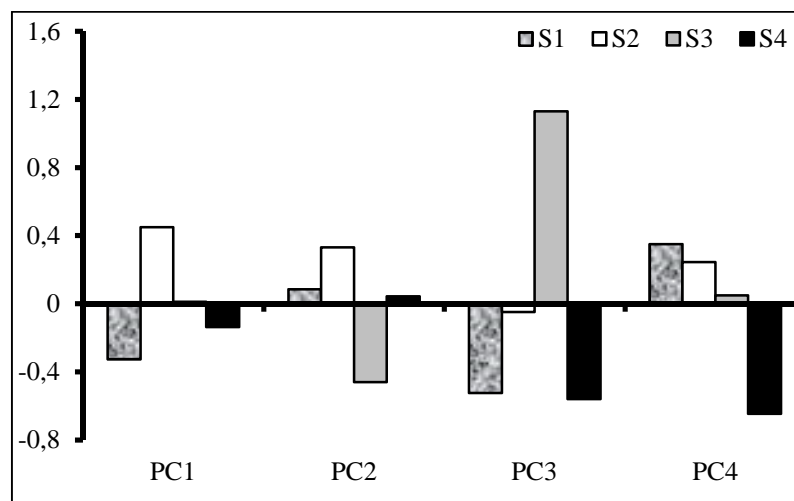


Figure 91 : Variation des composantes par saisons.

La composante 3 rassemble les variables de température, de Phosphates et de la dureté totale de l'eau. Il explique 9,82% de la variance totale et représente un gradient de pollution d'origine phosphatée.

Enfin la composante 4 qui explique 7,86% de la variance totale détient les variables taux de nitrates et de nitrites. Cette composante évalue alors axe caractérisant la pollution azotée. Le CP4 traduit alors l'effet et l'impact des eaux usées domestiques et les activités agricoles sur la qualité de l'eau de surface de cet oued.

B.2. Tests des effets inter-sujets:

Le tableau 69 affiche et exprime trois effets significatif principaux : effets d'année (D=49,169; $p = 0.000$), de saison (D=10,101; $p = 0.000$) et de station (D=25,551; $p = 0.000$). Présence des interactions significatives : année*saison (D=9,665 ; $p=0,000$), année*station (D=5,224 ; $p=0.001$) et saison*station (D=3,672 ; $p=0.000$).

Tableau 69: Tests des effets inter-sujets (PC1).

Variable dépendante: PC1					
Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
année	15,832	1	15,832	49,169	,000
saison	9,757	3	3,252	10,101	,000
station	32,908	4	8,227	25,551	,000
année * saison	9,337	3	3,112	9,665	,000
année * station	6,728	4	1,682	5,224	,001
saison * station	14,189	12	1,182	3,672	,000
année * saison * station	4,490	12	,374	1,162	,325
Erreur	25,759	80	,322		
Total	119,000	120			
a. R deux = ,784 (R deux ajusté = ,678)					

Le tableau 70 affiche et exprime deux effets significatif principaux: effet saison (D= 4,073 ; p = 0,010) et station (D=2,656 ; p = 0,039) et une interaction année*saison (D= 4,862 ; p =0,004). Le PC2 a varié en fonction des années (année 2012 diffère de l'année 2013) (Figure 92), des stations (station 5 diffère des autres stations) (Figure 90) et des saisons (augmente au cours la période des crues et réduis au cours la période estivale) (Figure 91). De ce fait, il en ressort que le taux de la matière en suspension est très affecté par les saisons et les stations.

Tableau 70: Tests des effets inter-sujets (PC2).

Variable dépendante: PC2					
Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
année	,500	1	,500	,616	,435
saison	9,923	3	3,308	4,073	,010
station	8,629	4	2,157	2,656	,039
année * saison	11,847	3	3,949	4,862	,004
année * station	5,556	4	1,389	1,710	,156
saison * station	9,551	12	,796	,980	,475
année * saison * station	8,025	12	,669	,824	,626
a. R deux = ,454 (R deux ajusté = ,188)					

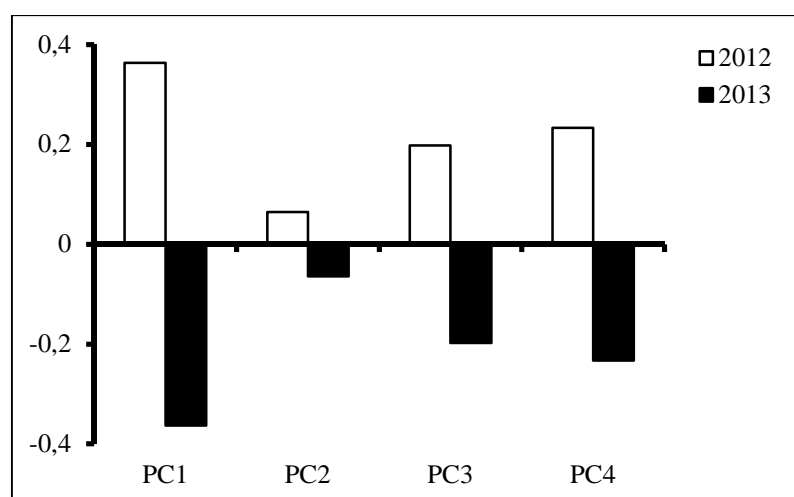


Figure 92 : Variation des composantes par années.

Nous pouvons observer la présence de deux effets significatif principaux : année ($D=9,273$; $p = 0,003$) et saison ($D=36,958$; $p = 0,000$). Il n'y a pas ni effet station significatif ($D= 0,807$; $p > 0,05$) ni d'interaction année * saison significative ($D= 1,354$; $p > 0,05$), ni d'interaction année*station ($D= 0,293$; $p > 0,05$) et ni d'interaction saison*station ($D= 1,079$; $p > 0,05$) (Tableau 71). Le PC3 est dépendant uniquement de l'effet années (année 2012 diffère de l'année 2013) (Figure 92) et l'effet saisons (principalement de la saison 3 (période estivale) que des autres saisons) (Figure 91).

Tableau 71: Tests des effets inter-sujets (PC3).

Variable dépendante: PC3					
Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
année	4,685	1	4,685	9,273	,003
saison	55,971	3	18,657	36,928	,000
station	1,632	4	,408	,807	,524
année * saison	2,052	3	,684	1,354	,263
année * station	,592	4	,148	,293	,882
saison * station	6,540	12	,545	1,079	,389
année * saison * station	7,110	12	,592	1,173	,317
a. R deux = ,660 (R deux ajusté = ,495)					

Deux effets significatifs principaux sont aussi à noter ; le facteur année ($F= 8,539$; $p = 0,005$) et le facteur saison ($F= 7,902$; $p = 0,000$) ainsi que l'interaction année * saison significative ($F= 6,996$; $p = 0,000$). A noter aussi qu'il n'y a pas d'effet principal station ($F= 2,147$; $p > 0,05$) (Tableau 72). La pollution azotée a changé en fonction des deux années de l'étude et en fonction des quatre saisons. Elle a été très intense pendant la saison 1 (hivernal) et 2 (printanier) (Figure 91), ce qui laisse supposer leur relation avec l'utilisation intensive des engrais durant cette période.

Tableau 72: Tests des effets inter-sujets (PC4).

Variable dépendante: PC4					
Source	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	P
année	6,526	1	6,526	8,539	,005
saison	18,116	3	6,039	7,902	,000
station	6,564	4	1,641	2,147	,083
année * saison	16,038	3	5,346	6,996	,000
année * station	,370	4	,093	,121	,975
saison * station	7,097	12	,591	,774	,675
année * saison * station	3,151	12	,263	,344	,978
a. R deux = ,486 (R deux ajusté = ,236)					

3.2. Analyses microbiologiques:

3.2.1. Résultats des dénombrements des microorganismes de l'eau :

Les résultats des dénombrements des germes totaux (GT), coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF), streptocoques fécaux (SF) et les anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) sont représentés graphiquement dans les figures (93, 94, 95, 96 et 97).

3.2.1.1. Germes totaux :

Les variations temporelles des GT dénombrés à 22 °C montrent que les charges bactériennes les plus élevées sont enregistrées pendant la période estivale (2760 UFC/1ml en S1 et 5680UFC/1ml en S4) et automnale (1260 UFC/1ml en S1 et 4800 UFC/1ml en S5). Les concentrations moyennes sont notées en printemps (370 UFC /1ml en S2 et 1600 UFC /1ml en S4). Alors que, les plus basses sont mentionnées au cours de la période la plus froide (hiver) en enregistrant 122 UFC /1ml et 480 UFC/1ml respectivement en S2 et S5 (Figure 3-65). La variation temporelle des GT dénombrés à 37 °C montre, dans les cinq stations, des concentrations élevées en été, des valeurs minimales dans l'hiver (Figure 93). Au niveau des eaux de l'oued, ces variations pourraient être liées aux variations de la température.

La présence de ces germes dans les eaux de l'oued Seybouse indiquant la présence possible d'une contamination bactériologique.

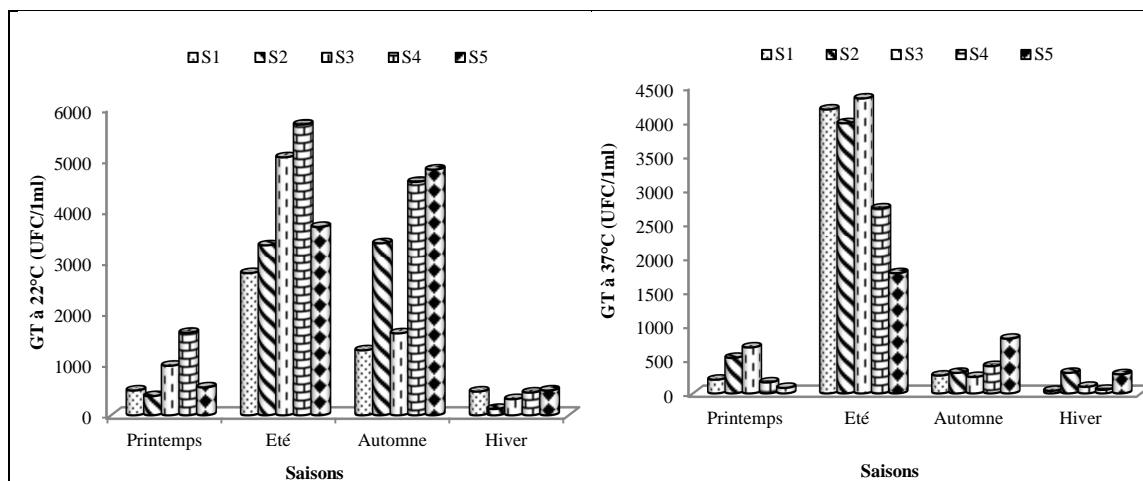


Figure 93: Variations saisonnières des germes totaux à 22°C (GT) (E) et des germes totaux à 37°C (GT) (F) au niveau des eaux de l'oued Seybouse.

3.2.1.2. Coliformes totaux :

La variation temporelle des Coliformes Totaux (CT) au niveau des eaux de l'oued montrent des concentrations élevées en hiver (6920 UFC/100ml en S2 et 6400 UFC/100ml en S5) et en printemps (5100 UFC/100ml en S2 et 3950 UFC/100ml en S5), des valeurs minimales en été (560 UFC/100ml en S3 et 800 UFC/100ml en S4), suivie d'une élévation sensible en automne (1130 UFC/100ml en S1 et 4040 UFC/100ml en S4) (Figure 94). L'évolution spatiale des CT dans ces eaux a révélé une augmentation légère en stations aval par rapport aux les stations amonts, cette évolution pourrait expliquer par lissivage des terrains au cours de la période pluvieuse.

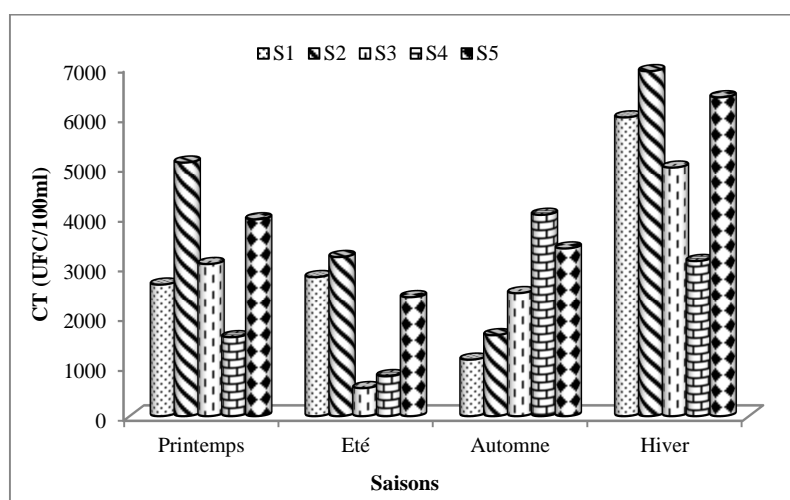


Figure 94: variations saisonnières des Coliformes totaux (CT) au niveau des eaux de l'oued Seybouse.

3.2.1.3. Coliformes fécaux :

En ce qui concerne les Coliformes fécaux, la concentration minimale est obtenue au niveau de la station S2 (211 UFC/ml), tandis que la concentration maximale est obtenue au niveau de la station S5 (6400 UFC/ml) (Figure 95). Ces résultats liés aux rejets domestiques de la commune de medjaz Amar, Boumahra Ahmed et Sidi Salem.

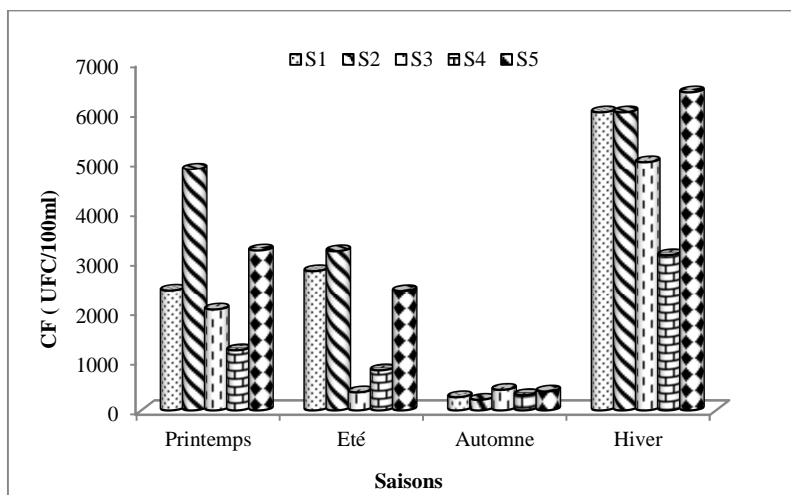


Figure 95: variations saisonnières des Coliformes fécaux (CF) au niveau des eaux de l’oued Seybouse.

3.2.1.4. Streptocoques fécaux :

La variation spatiale des Streptocoques Fécaux montre un gradient croissant de l’amont (S1) vers l’aval de l’oued (S5). La variation saisonnière n’est pas très nette pour la station S1, les germes dénombrés sont en concentrations faibles et régulières durant toute la période d’étude (Figure 96). Cependant, les autres stations, principalement S2 et S5, présentent des quantités en SF très importante pendant la période printanière, automnale, et hivernale ou on assiste à une augmentation du débit d’eau et à un apport accrue des eaux usées.

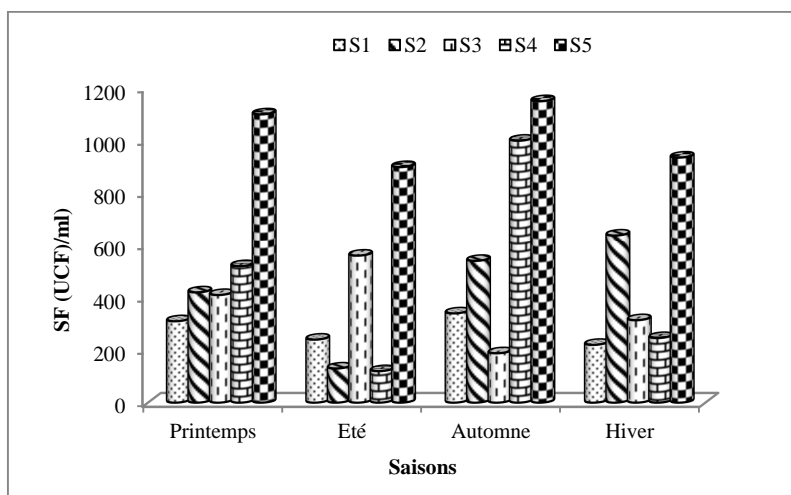


Figure 96: variations saisonnières des Streptocoques fécaux (SF) au niveau des eaux de l’oued Seybouse.

3.2.1.5. Anaérobies sulfito-réductrices :

D'après les résultats obtenues, le nombre des Anaérobies sulfito-réducteurs dans ces eaux, varie entre 0 et 100 UFC/20mL (Figure 97). La présence des spores d'anaérobies sulfito-réducteurs dans une eau naturelle, permettrait de prétendre que la pollution fécale est ancienne (OMS, 2000).

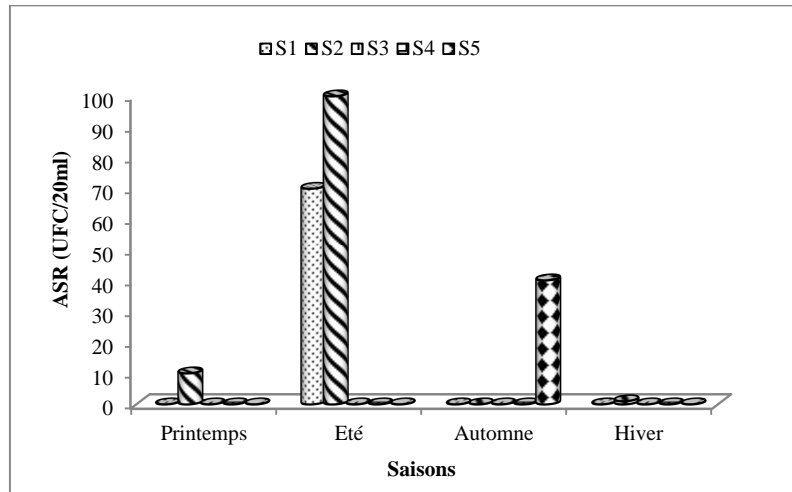


Figure 97: variations saisonnières des ASR au niveau des eaux de l'oued Seybouse.

3.2.2. Identification des souches bactériennes :

3.2.2.1. Caractères morphologiques et coloration de Gram :

Lorsque nous ensemençons une bactérie sur une gélose, elle n'est pas visible. Toutefois, elle se divise à un rythme assez important pour former une colonie, qu'est visible à l'œil nu. Chacune de ces colonies est formée par de millions bactéries identiques et chaque colonie possède des caractéristiques propres à l'espèce bactérienne. Voici les critères qui permettent de caractériser une colonie (Tableau 73).

Toutefois, plusieurs espèces bactériennes font des colonies qui se ressemblent. C'est pourquoi il faut faire une observation microscopique.

Tableau 73: Caractères macroscopiques et microscopiques des colonies bactériennes.

Observation macroscopique des colonies	Observation microscopique des colonies	Milieu de culture
- Circulaire, lisse, bombée, à contour régulier, de couleur jaune et sous la membrane des halos jaunes, grande	- Forme des chaînettes, isolées - Bacilles à gram négatif	Gélose TTC Tergitol 7
- Colonies vertes, lisse, visqueuse, brillante arondes, à contour régulier ou irrégulier	- Forme des chaînettes, isolées - Bacilles à gram négatif	
- Colonies rouges ou roses, lisse, bambée, brillante, petite - Circulaire, ondulés, rigoureuse, transparente légèrement blanchâtre.	- Forme des chaînettes, isolées - Bacilles à gram négatif - Bacilles isolés, Gram négatif.	Gélose Mac Conkey
- Rose clair, bombée, lisse, brillante circulaire, 1 mm de diamètre	- Bacilles isolés, Gram négatif.	
- Colonies rouges ou roses foncées, petites arondes, lisses, régulier	- Monocoque, diplocoque, amas gram positif	Gélose Slanetz et Bartley
- Circulaire, lisse, plate, brillante transparente, 2 mm de diamètre.	- Bacilles isolés ou en chaînettes, Gram négatif.	Gélose nutritive (GN)
- Irrégulière, lisse, plate, jaune 1 mm de diamètre.	- Bacilles isolés, Gram négatif.	
- Bambée, lisse, brillante, à contour régulier, de couleur jaune.	- Bacilles isolés, regroupés, Gram négatif.	
- Petite, opaque, lisse, bombée, à contour régulier, pulvérulente, de couleur blanche.	- Cocci groupés en amas, Gram positif.	Milieu Chapman
- Bombée, lisse, à contour régulier, jaunâtre.	- Cocci groupés en amas, en paires, Gram positif.	

3.2.2.2. Résultats de l'identification biochimique :

L'étude biochimique nous a permis d'identifier 20 espèces bactériennes appartenant à la famille des Enterobacteriaceae avec une présence majoritaire de *Stenotrophomonas maltophilia*, *Enterobacter cloacae* dans les cinq points de prélèvement, 12 espèces bactériennes appartenant à la famille des Streptococcaceae avec une présence majoritaire d'*Enterococcus faecium*, *Aerococcus viridans* dans les cinq points de prélèvement et 11 espèces bactériennes appartenant à la famille des Staphylococcaceae avec une présence majoritaire de *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus chromogenes* dans les cinq points de prélèvement. Les résultats sont représentés dans les tableaux (74, 75 et 76) et dans les figures (98-111) (voir l'annexe).

Tableau 74: Résultats de l'identification par la galerie API 20 E.

Point de prélèvement	Espèces bactériennes identifiées
S1	<i>Serratia odorifera 1</i>
	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>
	<i>Aeromonas hydrophila gr. 1</i>
	<i>Klebsiella ornithinolytica</i>
	<i>Enterobacter cloacae</i>
	<i>Serratia fonticola</i>
	<i>Citrobacter braakii</i>
S2	<i>Serratia odorifera 1</i>
	<i>Enterobacter sakazakii</i>
	<i>Citrobacter freundii</i>
	<i>Salmonella arizonae</i>
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
	<i>Klebsiella ornithinolytica</i>
S3	<i>Hafnia alvei 1</i>
S4	<i>Flavimonas horyzihabitans</i>
	<i>Proteus mirabilis</i>
	<i>Klebsiella oxytoca</i>
	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>
S5	<i>Pabtoea spp 1</i>
	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>
	<i>Chryseomonas luteola</i>
	<i>Enterobacter cloacae</i>
	<i>Burkholderia cepacia</i>
	<i>Serratia marcescens</i>

Tableau 75: Résultats de l'identification par la galerie API Strepto.

Point de prélèvement	Espèces bactériennes identifiées
S1	<i>Enterococcus faecium</i>
	<i>Sterptococcus dysgalactiae</i>
	<i>Aerococcus viridans 1</i>
S2	<i>Aerococcus viridans 1</i>
	<i>Enterococcus faecium</i>
	<i>Enterococcus avium</i>
	<i>Enterococcus gallinarum</i>
S3	<i>Aerococcus viridans 2</i>
	<i>Enterococcus faecium</i>
S4	<i>Enterococcus faecium</i>
	<i>Sterptococcus pyogenes</i>
	<i>Enterococcus gallinarum</i>
	<i>Enterococcus faecium</i>
S5	<i>Streptococcus acidomin</i>
	<i>Aerococcus viridans 1</i>
	<i>Streptococcus sanguis</i>
	<i>Lactococcus cremoris</i>
S5	<i>Streptococcus uberis</i>
	<i>Enterococcus faecalis</i>

Tableau 76: Résultats de l'identification par la galerie API Staph.

Point de prélèvement	Espèces bactériennes identifiées
S1	<i>Staphylococcus aureus</i>
	<i>Staphylococcus hyicus</i>
	<i>Staphylococcus simulans</i>
	<i>Micrococcus ssp</i>
S2	<i>Micrococcus spp</i>
	<i>Sthaphylococcus aureus</i>
	<i>Sthaphylococcus chromogenes</i>
S3	<i>Kocuria varians</i>
	<i>Staphylococcus chromogenes</i>
	<i>Micrococcus spp</i>
	<i>Staphylococcus xylosus</i>
	<i>Staphylococcus auricularis</i>
S4	<i>Staphylococcus aureus</i>
	<i>Staphylococcus hominis</i>
	<i>Staphylococcus aureus</i>
	<i>Staphylococcus auricularis</i>
S5	<i>Staphylococcus sciuri</i>
	<i>Staphylococcus chromogenes</i>
	<i>Staphylococcus caprae</i>
	<i>Staphylococcus aureus</i>
S5	<i>Staphylococcus aureus</i>
	<i>Staphylococcus hominis</i>
	<i>Staphylococcus sciuri</i>

3.2.2.3. Evaluation de l'Antibiorésistance:

A. Antibiorésistance des Entérobactéries:

A.1. *Stenotrophomonas maltophilia*:

Notre souche *Stenotrophomonas maltophilia* s'est montrée résistante à 5 antibiotiques, sensible à 1 et manifeste une résistance intermédiaire à 1 antibiotique. Le tableau (77) donne les détails de l'antibiogramme.

Tableau 77: Résultat de l'antibiogramme *Stenotrophomonas maltophilia*.

Antibiotique	NA	AM	CTX	AMX	GM	CZ	CS
Diamètre d'inhibition en mm	15	11	0	10	25	0	0
Catégorie clinique	I	R	R	R	S	R	R

R : résistance S : sensible I : intermédiaire

La figure (112) présente les taux de la souche vis-à-vis des antibiotiques.

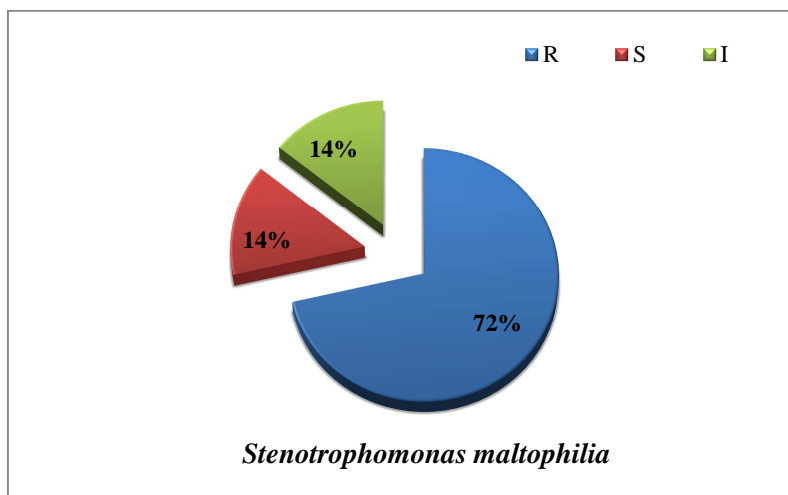


Figure 112:Taux de résistance de *Stenotrophomonas maltophilia*.

A.2. *Burkholderia cepacia*:

Le tableau 78 présent les résultats de l'antibiogramme pour la souche de *Burkholderia cepacia*.

Tableau 78: Résultat de l'antibiogramme *Burkholderia cepacia*.

Antibiotique	NA	AM	CTX	AMX	GM	CZ	CS
Diamètre d'inhibition en mm	20	0	0	0	20	0	35
Catégorie clinique	S	R	R	R	S	R	S

R : résistance S : sensible I : intermédiaire

La souche de *Burkholderia cepacia* est sensible à 43% aux antibiotiques testés tels que : l'acide nalidixique, la gentamicine et la colistine, elle présente une résistance de 57% à l'ampicilline, la cefataxime, l'amoxicilline et la cefazoline (Figure 113).

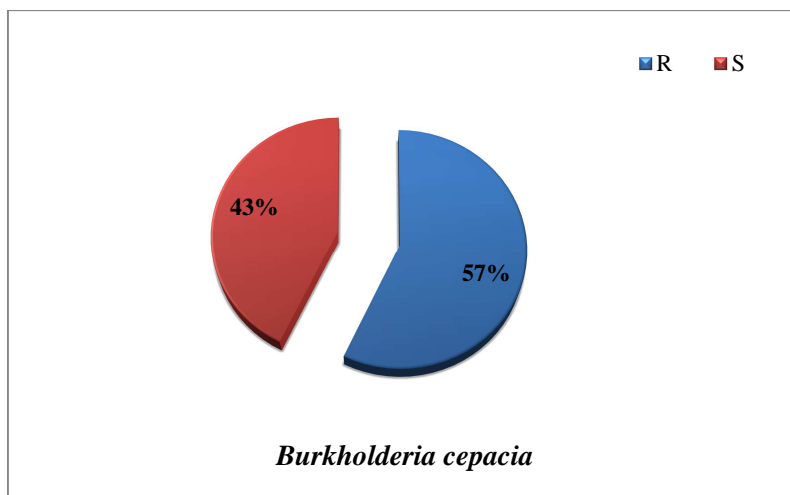


Figure 113: Taux de résistance de *Burkholderia cepacia*.

A.3. *Serratia fonticola*:

Notre souche *Serratia fonticola* s'est montrée résistante à 4 antibiotiques (ampicilline, la cefataxime, amoxicilline et la cefazoline), sensible à 2 antibiotiques (acide nalidixique colistine) et manifeste une résistance intermédiaire à un antibiotique (gentamicine). Le tableau (79) présent les détails de l'antibiogramme.

Tableau 79: Résultat de l'antibiogramme *Serratia fonticola*.

Antibiotique	NA	AM	CTX	AMX	GM	CZ	CS
Diamètre d'inhibition en mm	35	0	0	0	14	18	16
Catégorie clinique	S	R	R	R	I	R	S

R : résistance S : sensible I : intermédiaire

La figure (114) présente les taux de résistance de la souche vis-à-vis des antibiotiques (57% résistante, 29% sensible et 14% intermédiaire).

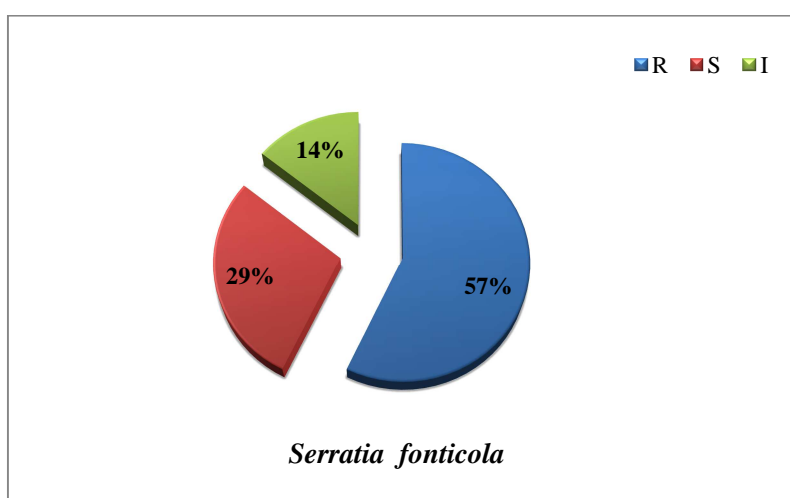


Figure 114: Taux de résistance de *Serratia fonticola*.

A.4. *Salmonella arizonae*:

Notre souche *Salmonella arizonae* s'est montrée résistante à 5 antibiotiques et sensible à 2. Aucune résistance intermédiaire n'a été décelée (Tableau 80).

Tableau 80: Résultat de l'antibiogramme *Salmonella arizonae*.

Antibiotique	NA	AM	CTX	AMX	GM	CZ	CS
Diamètre d'inhibition en mm	0	13	0	0	16	0	15
Catégorie clinique	R	R	R	R	S	R	S

R : résistance *S* : sensible *I* : intermédiaire

La souche *Salmonella arizonae* identifiée est sensible à 29% aux antibiotiques (Gentamicine et Colistine). Elle présente une résistance de 71% à l'acide nalidixique l'ampicilline, la cefataxime, l'amoxicilline et la cefazoline) (Figure 115).

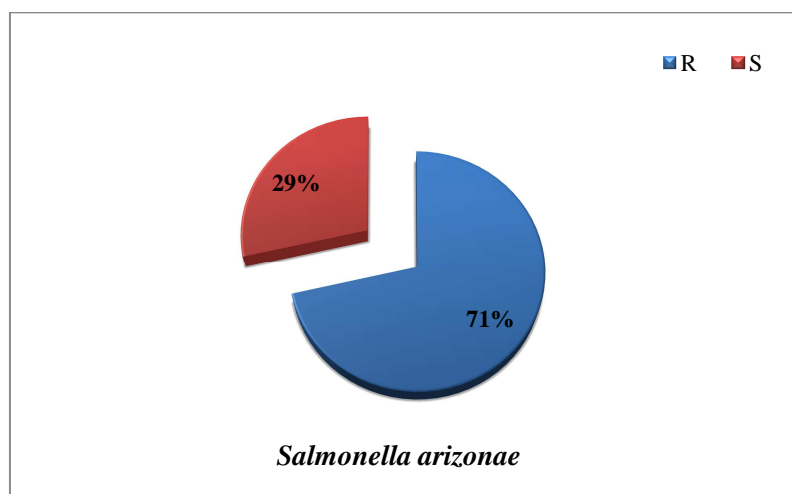


Figure 115: Taux de résistance de *Salmonella arizonae*.

A.5. *Chryseomonas luteola*:

Le tableau ci-dessous présente les résultats de l'antibiogramme pour la souche *Chryseomonas luteola* (résistante à 5 antibiotiques et sensibles à 2 antibiotiques).

Tableau 81: Résultat de l'antibiogramme *Chryseomonas luteola*.

Antibiotique	NA	AM	CTX	AMX	GM	CZ	CS
Diamètre d'inhibition en mm	25	0	0	0	20	0	0
Catégorie clinique	S	R	R	R	S	R	R

R : résistance *S* : sensible *I* : intermédiaire

La figure (116) présente les taux de résistance de la souche vis-à-vis des antibiotiques (résistante à 71% et sensible à 29%).

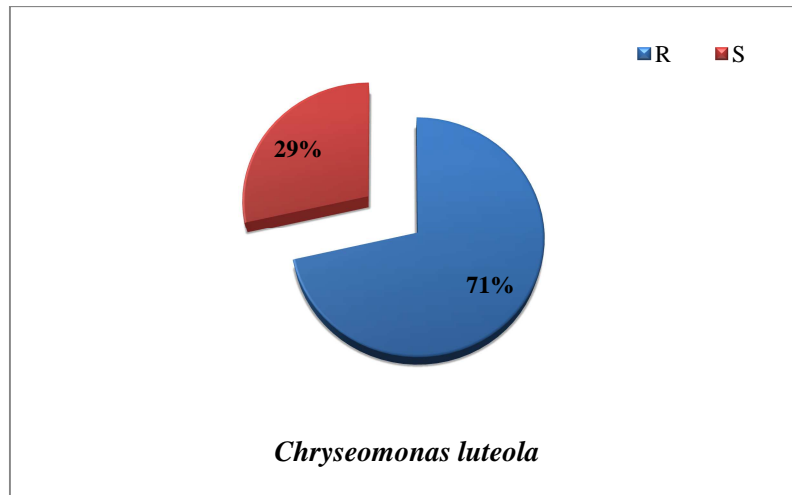


Figure 116: Taux de résistance de *Chryseomonas luteola*.

B. Antibiorésistance des Streptocoques:

B.1. Enterococcus faecium:

Notre souche *Enterococcus faecium* s'est montrée résistante à 4 antibiotiques et sensible à 2. Aucune résistance intermédiaire n'a été décelée. Le tableau (82) donne les détails de l'antibiogramme.

Tableau 82: Résultat de l'antibiogramme *Enterococcus faecium*.

Antibiotique	AM	AMX	P	GM	PT	OX
Diamètre d'inhibition en mm	0	0	0	26	26	0
Catégorie clinique	R	R	R	S	S	R

R : résistance S : sensible I : intermédiaire

La figure au-dessous présente les taux de résistance de la souche vis-à-vis des antibiotiques (résistante à 67% et sensible à 33%).

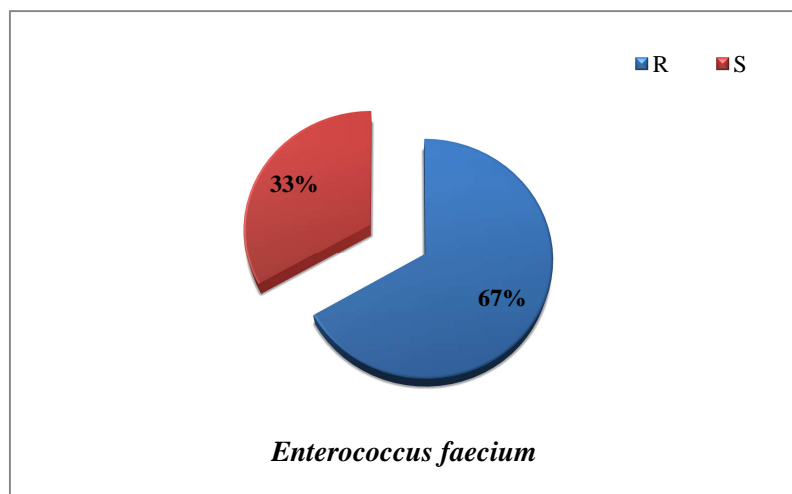


Figure 117:Taux de résistance d'*Enterococcus faecium*.

B.2. *Enterococcus faecalis*:

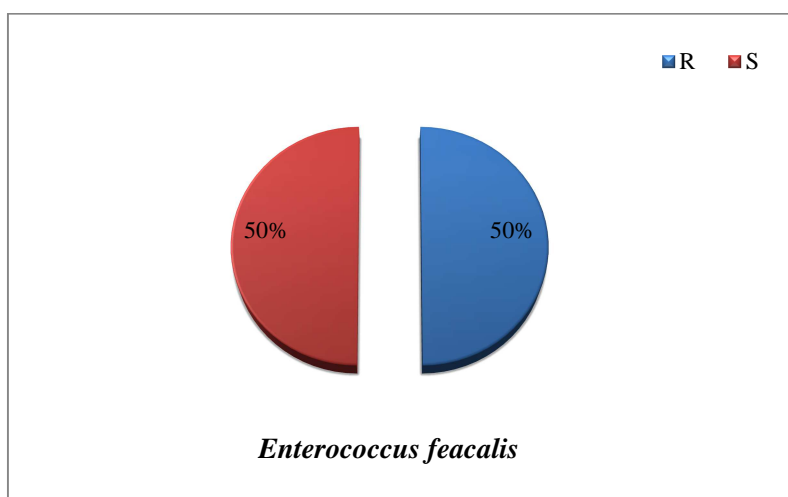
La souche *Enterococcus faecalis* s'est exposée résistante à 3 antibiotiques et sensible à 3. Le tableau (83) présent les résultats de l'antibiogramme.

Tableau 83: Résultat de l'antibiogramme *Enterococcus faecalis*

Antibiotique	AM	AMX	P	GM	PT	OX
Diamètre d'inhibition en mm	24	0	0	23	25	R
Catégorie clinique	S	R	R	S	S	R

R : résistance *S* : sensible *I* : intermédiaire

La figure 118 présente le taux de résistance de la souche *Enterococcus faecalis*. Elle est sensible à 50% aux antibiotiques testés: Ampicilline, Gentamicine et Pristinamycine. Elle présente une résistance de 50% à Pénicilline, Oxacilline et Amoxicilline.

**Figure 118:** Taux de résistance d'*Enterococcus faecalis*.**B.2. *Enterococcus gallinarum*:**

Le tableau (84) présent les résultats de l'antibiogramme pour la souche *Enterococcus gallinarum*. Ce tableau montre que l'*Enterococcus gallinarum* résistante à 4 antibiotique et sensible à 2 antibiotiques.

Tableau 84: Résultat de l'antibiogramme *Enterococcus gallinarum*.

Antibiotique	AM	AMX	P	GM	PT	OX
Diamètre d'inhibition en mm	0	0	0	26	28	0
Catégorie clinique	R	R	R	S	S	R

R : résistance *S* : sensible *I* : intermédiaire

La figure (119) présente les taux de résistance de la souche vis-vis des antibiotiques (67% résistante et 33% sensible).

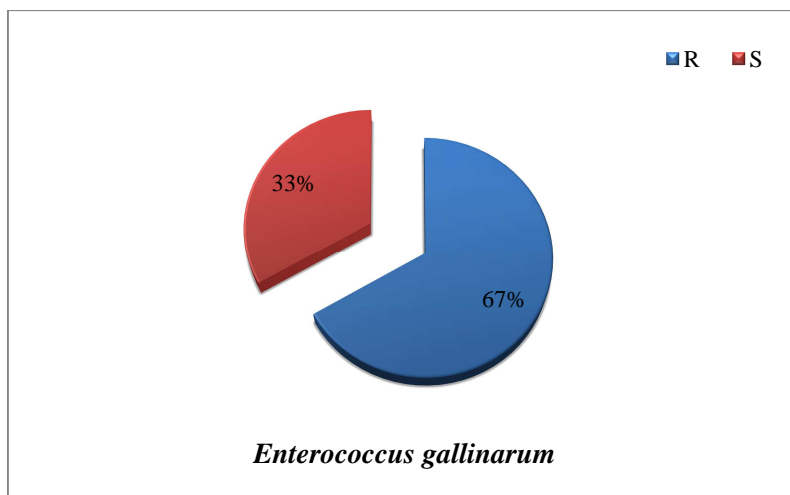


Figure 119:Taux de résistance d'Enterococcus gallinarum.

C. Antibiorésistance des Staphylocoques:

C.1. Staphylococcus aureus :

La souche *Staphylococcus aureus* s'est présentée résistante à 2 antibiotiques (pénicilline, oxacilline) et sensible à 2 antibiotiques (Gentamicine, Pristinamycine). Le tableau (85) montre les détails de l'antibiogramme.

Tableau 85: Résultat de l'antibiogramme *Staphylococcus aureus*.

Antibiotique	P	GM	PT	OX
Diamètre d'inhibition en mm	0	19	28	0
Catégorie clinique	R	S	S	R

R : résistance S : sensible I : intermédiaire

La figure (120) montre les taux de résistance de la souche vis-vis des antibiotiques.

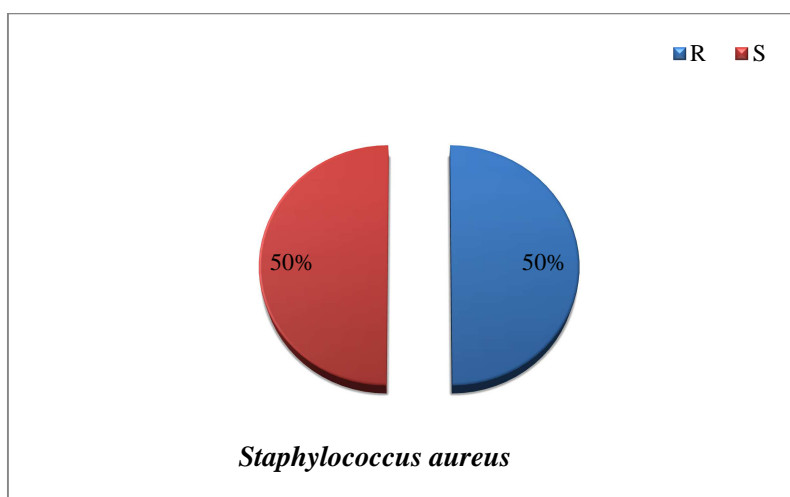


Figure 120:Taux de résistance de *Staphylococcus aureus*.

C.2. *Kocuria varians*:

Le tableau 86 présent les résultats de l'antibiogramme pour la souche *Kocuria varians*. Ce tableau montre que *Kocuria varians* résistante à 2 antibiotique (pénicilline, oxacilline) et sensible à 2 antibiotiques (Gentamicine, Pristinamycine).

Tableau 86: Résultat de l'antibiogramme *Kocuria varians*.

Antibiotique	P	GM	PT	OX
Diamètre d'inhibition en mm	0	19	28	0
Catégorie clinique	R	S	S	R

R : résistance *S* : sensible *I* : intermédiaire

La figure (121) montre les taux de résistance de la souche vis-vis des antibiotiques.

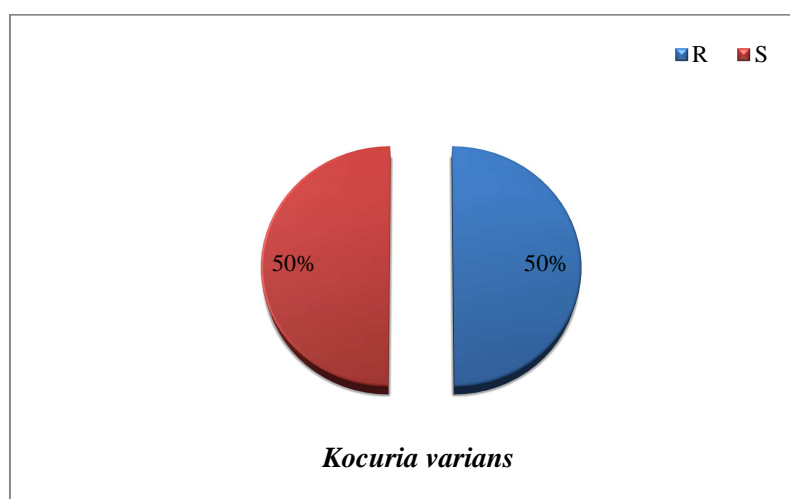


Figure 121:Taux de résistance de *Kocuria varians*.

C.3. *Staphylococcus caprae*:

Le tableau ci-après présent les résultats de l'antibiogramme pour la souche *Staphylococcus caprae* (2 résistantes et 2 sensibles).

Tableau 87: Résultat de l'antibiogramme *Staphylococcus caprae*.

Antibiotique	P	GM	PT	OX
Diamètre d'inhibition en mm	25	25	29	0
Catégorie clinique	R	S	S	R

R : résistance *S* : sensible *I* : intermédiaire

La figure 122 montre que la souche *Staphylococcus caprae* identifiée est sensible à 50% et résistante à 50% aux antibiotiques testés.

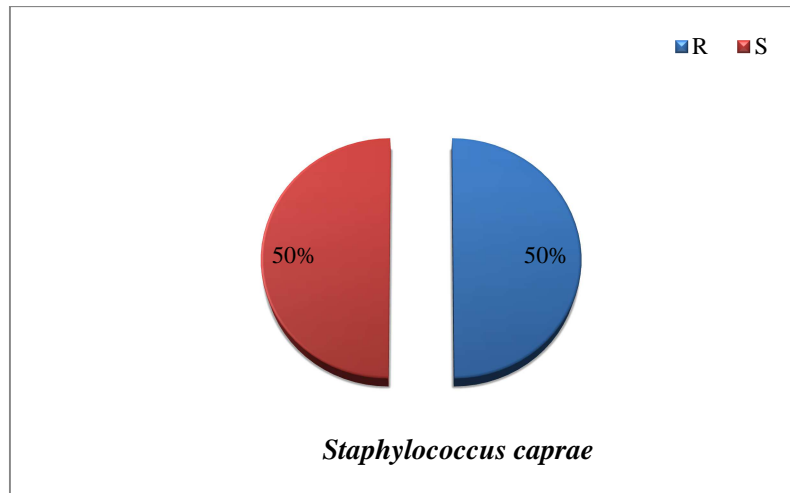


Figure 122: Taux de résistance de *Staphylococcus caprae*.

C.4. *Staphylococcus sciuri*:

La souche *Staphylococcus sciuri* s'est présentée résistante à 3 antibiotiques et sensible à 1. Le tableau (88) donne les détails de l'antibiogramme.

Tableau 88: Résultat de l'antibiogramme *Staphylococcus sciuri*.

Antibiotique	P	GM	PT	OX
Diamètre d'inhibition en mm	0	19	0	0
Catégorie clinique	R	S	R	R

R : résistance *S* : sensible *I* : intermédiaire

La figure sous au-dessous présente les taux de résistance de la souche vis-vis des antibiotiques. Elle montre que la souche *Staphylococcus sciuri* identifiée est sensible à 40% aux antibiotiques testés (Gentamicine). Elle présente une résistance de 60% à Pénicilline, Oxacilline, Pristinamycine.

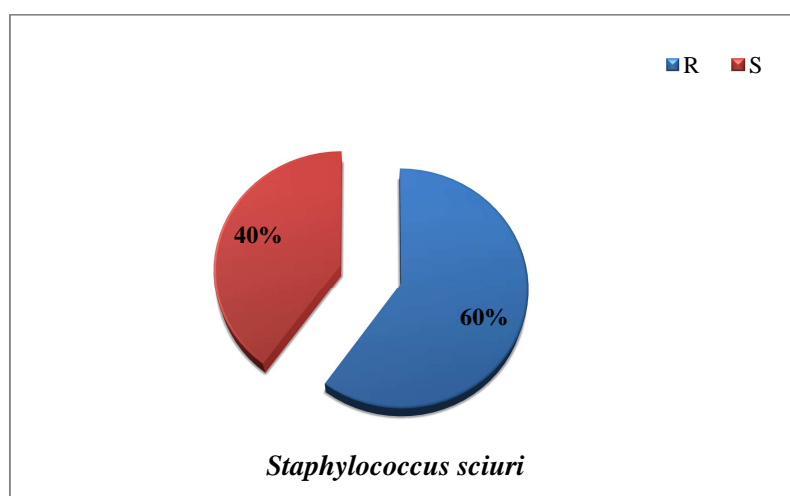


Figure 123: Taux de résistance de *Staphylococcus sciuri*.

C.5. *Micrococcus spp*:

La souche *Micrococcus spp* s'est présentée résistante à 3 antibiotiques et sensible à 1. Le tableau (89) donne les détails de l'antibiogramme.

Tableau 89: Résultat de l'antibiogramme *Micrococcus spp*.

Antibiotique	P	GM	PT	OX
Diamètre d'inhibition en mm	0	19	0	0
Catégorie clinique	R	S	R	R

R : résistance *S* : sensible *I* : intermédiaire

La figure sous au-dessous présente les taux de résistance de la souche vis-vis des antibiotiques. Elle montre que la souche *Micrococcus spp* identifiée est sensible à 40% aux antibiotiques testés (Gentamicine). Elle présente une résistance de 60% à Pénicilline, Oxacilline, Pristinamycine.

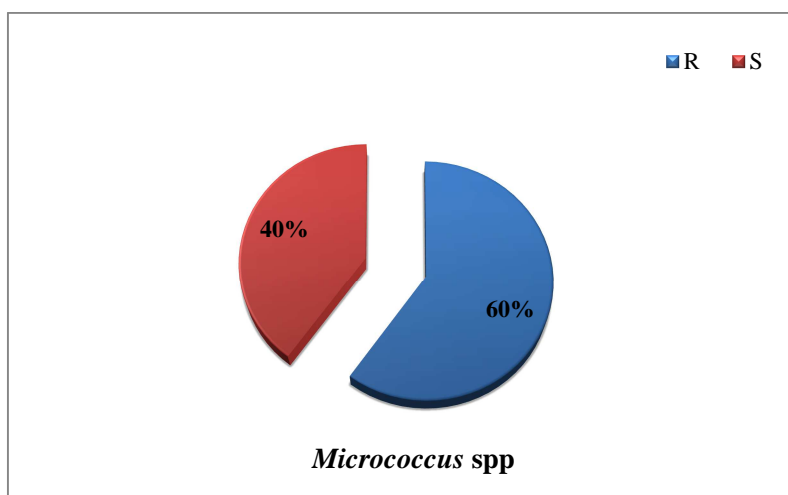


Figure 124: Taux de résistance de *Micrococcus spp*.

C.6. *Staphylococcus chromogenes*:

Le tableau ci-après présent les résultats de l'antibiogramme pour la souche *Staphylococcus chromogenes* (2 résistantes et 2 sensibles).

Tableau 90: Résultat de l'antibiogramme *Staphylococcus chromogenes*.

Antibiotique	P	GM	PT	OX
Diamètre d'inhibition en mm	7	35	34	0
Catégorie clinique	R	S	S	R

R : résistance *S* : sensible *I* : intermédiaire

La figure 125 montre que la souche *Staphylococcus chromogenes* identifiée est sensible à 50% et résistante à 50% aux antibiotiques testés.

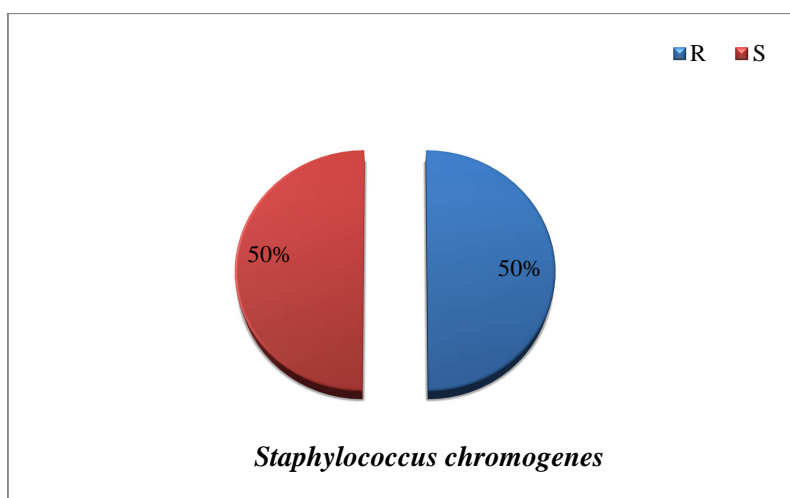


Figure 125:Taux de résistance de *Staphylococcus chromogenes*.

3.2.3. Origine de la contamination fécale:

Depuis plusieurs décennies, le rapport $R = CF/SF$ (coliformes fécaux sur les streptocoques fécaux) était utilisé comme un élément de premier ordre pour déterminer l'origine de la pollution fécale. Lorsque ce rapport CF/SF est supérieur à 4 la pollution est essentiellement humaine (rejet des eaux usées) (Borrego et Romero 1982). Lorsqu'il est inférieur à 0,7 l'origine est animale. Dans ce cas, le bétail et en particulier les moutons, semble jouer un rôle prédominant dans la contamination de l'eau (Geldreich, 1976). Le Tableau 91 explique l'origine de la contamination de l'oued Seybouse.

Au printemps pour les stations S1, S2 et S3, ($R > 4$), la source de contamination est exclusivement humaine, ceci peut être expliqué par la présence d'urbanisation à proximité caractérisé par une activité agricole et rejets domestiques, alors que pour les stations S4 et S5, ($4 > R > 2$), la contamination est mixte à prédominance humaine, on a l'urbanisation de la commune de Chihani et Sidi Salem, ce qui fait qu'il y a des rejets domestiques.

En été pour les stations (S1, S2 et S4), (R étant > 4) la contamination est exclusivement humaine dues aux rejets domestiques par la présence d'habitation dans les environs. Pour la station (S3), R étant $< 0,7$ la pollution est entièrement d'origine animale, on pourrait dire qu'en été les bergers font plus sortir leurs troupeaux qu'en été dans les pâturages pour brouter l'herbe dans les environs de l'oued Seybouse. Pour la station (S5), (R étant compris $4 > R > 2$) la contamination est mixte à prédominance humaine, ceci peut être expliqué par la présence des rejets domestiques de la ville de sidi Salem.

En automne pour la station (S1) $1 > R > 0,7$ est mixte à prédominance animale et que pour les stations S2, S3 et S5 ($R < 0,7$) la pollution est d'origine animale, on pourrait l'expliquer par présence de bovins dans les pâturages à proximité de l'oued.

En période hivernal, le rapport CF/SF est nettement supérieur à 4 aux toutes les stations (Tableau 91). Ceci révèle l'impact majeur des rejets des villages traversés par oued Seybouse.

Tableau 91: Détermination de la source de pollution à partir du rapport Coliformes fécaux/Streptocoques fécaux.

R=CF/SF	S1	S2	S3	S4	S5
Printemps	7,77	11,54	4,91	2,30	2,92
Eté	11,66	24,61	0,64	6,66	2,66
Automne	0,77	0,39	2,18	0,30	0,32
Hiver	27,27	9,37	15,92	12,68	6,83




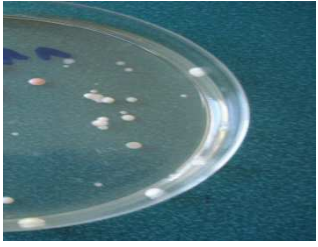
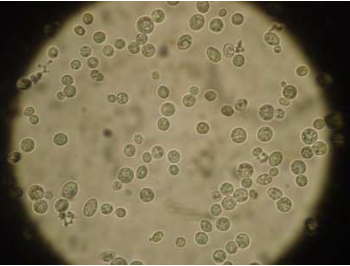
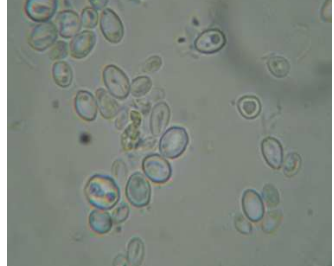
CF/SF <0,7 Principalement ou entièrement d'origine animale, CF/SF compris entre 0,7 et 1 Mixte à prédominance animale, CF/SF compris entre 1 et 2 Origine incertaine, CF/SF compris entre 2 et 4 Mixte à prédominance humaine, CF/SF >4 Source exclusivement humaine (Borrego et Romero , 1982).

3.2.4. Recherche des levures :

3.2.4.1. Caractères morphologiques et coloration Bleu de Méthylène :

L'identification des levures isolées a été faite sur la base de l'aspect macroscopique et microscopique des colonies. Cette identification reste approximative, vu la nécessité d'un examen biochimique (Api 20 C AUX). Les caractères macroscopiques et microscopiques des espèces isolées sont résumés dans le tableau 92.

Tableau 92: Caractères macroscopiques et microscopiques des levures

Observation macroscopique	Etat frais	Coloration de Bleu de méthylène
colonies blanches et crémeuses	Présence de levures avec bourgeons	
		
colonies orangés et crémeuses	Présence de capsules	
		

3.2.4.2. Identification biochimique des levures :

A. Test de Chlamydosporulation

Les résultats des tests de Chlamydosporulation réalisés sur les souches de *Candida* suspectes sont résumés dans la figure 126. Cette figure montre que ce test est positif.

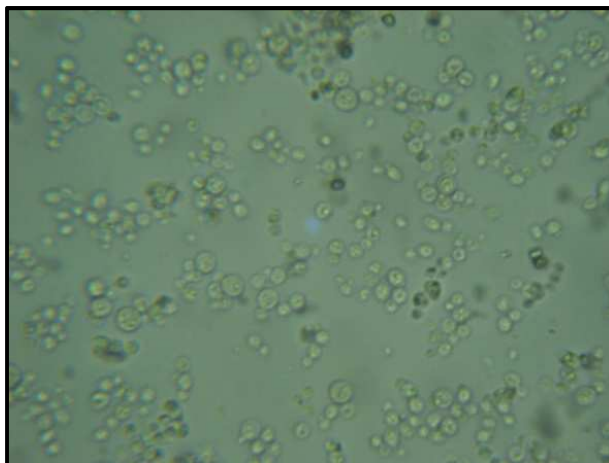


Figure 126: Test de Chlamydosporulation.

B. API 20 C aux :

Nous avons isolé et identifié 16 espèces au niveau des cinq stations. Les résultats sont représentés dans le tableau 93 et dans les figures (127-132).



Figure 127: Profil biochimique de la souche *Candida ciferri*.



Figure 128: Profil biochimique de la souche *Candida inconspicua*.



Figure 129: Profil biochimique de la souche *Cryptococcus laurentii*.



Figure 130: Profil biochimique de la souche *Cryptococcus magnoliae*.

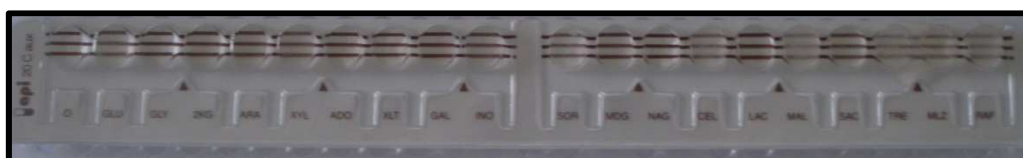


Figure 131: Profil biochimique de la souche *Cryptococcus albidus 2*.



Figure 132: Profil biochimique de la souche *Trichosporom cutaneum*.

Tableau 93: Résultats de l'identification par la galerie API 20 C AUX.

Point de prélèvement	Espèces identifiées
S1	<i>Cryptococcus uniguttulatus</i>
	<i>Candida pelliculosa</i>
	<i>Candida ciferrii</i>
	<i>Cryptococcus laurentii</i>
	<i>Candida magnoliae</i>
	<i>Candida maris</i>
	<i>Candida inconspicua</i>
	<i>Trichosporom cutaneum</i>
S2	<i>Candida colliculosa</i>
	<i>Cryptococcus albidus 1</i>
	<i>Candida inconspicua</i>
	<i>Candida humicola</i>
	<i>Candida inconspicua</i>
S3	<i>Candida ciferrii</i>
	<i>Cryptococcus laurentii</i>
	<i>Cryptococcus humicola</i>
	<i>Cryptococcus uniguttulatus</i>
	<i>Saccharomyces cerevisiae 1</i>
	<i>Candida ciferrii</i>
	<i>Cryptococcus albidus 1</i>
	<i>Cryptococcus albidus 2</i>
S4	<i>Trichosporon cutaneum</i>
	<i>Candida humicola</i>
	<i>Candida famata</i>
	<i>Cryptococcus laurentii</i>
S5	<i>Candida ciferrii</i>
	<i>Cryptococcus laurentii</i>
	<i>Cryptococcus uniguttulatus</i>
	<i>Trichosporon cutaneum</i>
	<i>Candida lusitaniae</i>
S5	<i>Cryptococcus cutaneum</i>
	<i>Candida inconspicua</i>
	<i>Candida inconspicua</i>

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a été menée dans le but de déterminer la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau de l'oued Seybouse (Nord-Est de l'Algérie).

La Seybouse moyenne et maritime est soumise à une pollution dont les origines sont très diverses ce qui complique la tâche des chercheurs. En effet cette dernière peut être soit naturelle ou anthropique. La zone d'étude fait partie du bassin versant de l'oued Seybouse.

Du point de vu climatique, il s'agit d'un bassin à un climat méditerranéen, caractérisée par deux saisons distinctes, l'une sèche et chaude et l'autre pluvieuse et froide. Elle reçoit une moyenne annuelle de pluie de 675,75mm sous une température moyenne oscillant entre 10,3°C en janvier et 26,53°C en d'août. L'interprétation du bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite montre qu'à partir de mois de novembre, les précipitations sont importantes entraînant ainsi une prédominance sur l'évapotranspiration permettant la recharge en eau. A partir du mois de mai apparaît le déficit agricole d'où la nécessité d'une irrigation en été.

Le suivi spatio-temporel de plusieurs paramètres physico-chimiques de l'eau de l'Oued Seybouse nous a fourni l'image d'une pollution relativement intense qui se traduit par une importante charge minérale et organique à l'aval de l'Oued, principalement dans la station 5 (Sidi Salem). Les concentrations et les taux de MES et de turbidité sont assez élevées pendant la période pluvieuse dans la station S1 située en amont du village Medjez Amar et après la confluence des deux oueds principaux (Oued Bouhamdane et Oued Cherf). Ces teneurs élevées sont en relation directe avec les crues que connaît la région en temps de pluie et qui sont drainées par l'Oued Cherf. La station S4 située près d'une importante activité humaine (activité agricole) exhibe les taux les plus élevés de nitrates et de nitrites affichant ainsi une pollution azotée intense. D'une manière générale, les taux des éléments mesurés au niveau de ce cours d'eau évoluent de façon graduelle de l'amont vers l'aval.

Les méthodes utilisées dans l'interprétation sont multiples et convergent toutes vers la même constatation, ainsi l'analyse en composantes principales, nous a permis de mettre en évidence une pollution (naturelle et anthropique) caractérisée par les liens existant entre les éléments physico-chimiques.

L'analyse statistique multivariée par le biais de l'Analyse en Composantes Principales des données nous a permis de déduire les corrélations existant entre les activités humaines et la qualité de l'eau de surface de l'oued. Elle nous a aussi permis de particulariser

les différentes zonalités de l'eau de cet oued. Ainsi, la qualité physico-chimique de l'eau de l'Oued Seybouse varie d'une composante à une autre.

L'analyse factorielle nous a aussi démontré que la variabilité de la qualité de l'eau de surface de l'oued dépend essentiellement de quatre composantes principales: l'impact des activités anthropiques, la minéralisation, l'effet des saisons et l'impact des eaux usées domestiques. Ces quatre composantes représentent 62,51% de la variabilité de la qualité des eaux de surface étudiées. De ce fait, l'importance de l'utilisation des techniques d'analyses multi variées pour avoir de bonnes informations sur la qualité de l'eau et de prévenir les sources de pollution engendrées par les facteurs anthropiques est justifiée.

Du point de vue microbiologique, les résultats que nous avons obtenus dans les cinq stations à travers les dénombrements réalisés le long de nos campagnes de prélèvements nous exposent une contamination bactérienne très nette, exprimée par de fortes concentrations en flore mésophile aérobie totale (1479 UFC/ml). Une contamination fécale (taux de coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux) sont très élevés, soient de l'ordre de 3309 UCF/100ml, 2567UCF/100ml et 514 UCF/100ml.

L'évolution des abondances des différents groupes a montré des variations spatiale et temporelle très marquées avec des concentrations bactériennes maximales notées durant la période estivale. Les bactéries pathogènes ont été détectées (*Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas hydrophila* gr. 1, *Staphylococcus aureus*, *Serratia marcescens*, *Salmonella arizonae*, *Streptococcus pyogenes*) dans toutes les stations étudiées, les levures aussi ont été isolées dans cette eau (*Candida ciferrii*, *Cryptococcus laurentii*, *Candida humicola*, *Trichosporon cutaneum*....). Le calcul du rapport Coliformes Fécaux/ Streptocoques Fécaux au niveau des eaux des cinq stations étudiées, ceci indique une pollution d'origine humain.

Ces eaux ne peuvent pas donc être utilisées en maraîchage ni en irrigation tel qu'il est pratiqué actuellement. Nous insistons pour développer des moyens de lutte contre cette pollution de l'Oued Seybouse. Les meilleurs moyens restent la sensibilisation des riverains du cours d'eau, ses utilisateurs et la population locale. Le traitement adéquat de tous ces rejets devient une opération impérative. Réduire l'utilisation des engrais chimiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdo M.H. (2005). Physico-chemical characteristics of Abu Za'baal pond. Egypt. Egypt. *J. Aquatic Research* 31(2), 1-15.

Agence de Bassin Hydrographique Constantinois- Seybouse-Mellegue (ABHCSM) (1999). Les Cahiers de l'Agence. Numéro 1. Le Bassin de la Seybouse., 35p.

Alayat H. et Lamouroux C. (2007). Caractérisation physico-chimique des eaux thermo minérales des monts de la cheffia (extrême NE algérien). *GEO-ECO-MARINA* 13/2007. P75

Alzieu C. (1989). L'eau : milieu de culture. In *Aquaculture. 2^{ème}. Ed. Tec et Doc*, Tome 1 : p 16- 43

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. Université Badji Mokhtar-Annaba. P 129.

Belhanachi A. (2003). Etude hydrologique et hydro chimique dans les bassins versants du Nord-Est Algérien "Bassin de la Seybouse, Kébir Est, Kébir Ouest et Saf Saf". Mémoire de Magister, Université d'Annaba.

Ben EL Mahdi K. (1987). Essais de traitement des eaux résiduaires de sucrerie, Mémoire de 3^{ème} cycle de l'IAV Hassan II, option Industries Agro-alimentaires, Rabat.

Bennasser L., Fekhaoui M., Benoit-Guyoud J.L. and Merlin G. (1997). Influence of tide on water quality of lower Sebou polluted by Gharb plain wastes (Morocco). *Water Research* 31(4): 867 – 867.

Bermond R. et Vuichaard R. (1973). Les paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française, Paris.

Bernard D. (1966). Limnologie - Etude des eaux continentales, Gauthier-Villars, Paris

BioMérieux (2006). Système d'identification des bacilles à Gram négatif non entérobactéries et non fastidieux. Fiche technique API 20 NE.

BioMérieux (2007). Système d'identification des Enterobacteriaceae et autres bacilles à Gram négatif non fastidieux. Fiche technique API 20 E.

BioMérieux (2009). Système d'identification des staphylocoques, microcoques et apparentés. Fiche technique API Staph.

BioMérieux (2010). Système d'identification des levures. Fiche technique API 20 C AUX.

BioMérieux (2010). Système d'identification des *Streptococcaceae* et germes apparentés. Fiche technique API Strep.

Blayac J. (1912). Esquisse Géologique du Bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines.- Cartes et coupes Géologiques. 491p.

Borrego A.F. and Romero P. (1982). Study of the microbiological pollution of a Malaga littoral area II. Relationship between fecal coliforms and fecal streptococci. VIe journée étud. Pollutions, Cannes, France, pp 561-569.

Bremond R. et Vuichard R. (1973). Paramètres de la qualité des eaux, OSPEPE, Paris

Carluer N., Gouy V. et Gril J.J. (1996). Contamination des eaux de surface par produits phytosanitaires et modélisation. Ingénieries-EAT N° 6.

CEAEQ (2000). Recherche et dénombrement des coliformes totaux; méthode par filtration sur membrane. Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec : pp4.

CEAEQ (2003). Recherche et dénombrement des coliformes fécaux (thermo tolérants) et confirmation à l'espèce *Escherichia coli* : méthode par filtration sur membrane. Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec : pp5.

Chaffai H. et Mourdi W. (2011). État de la pollution atmosphérique dans la région d'Annaba et son impact sur l'eau et l'environnement. *ScienceLib*, Volume 3, N°110803. ISSN 2111-4706.

Chapman D. and Kimstach V. (1996). Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, pp: 59-126.

DE Villers J., Squilbin M. et Yourassowsky C. (2005). Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.

Debieche T.H. (2002). Évolution 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, de l'univ. De Franche-Comté. 200p.

Delarras C. et Trebaol B. (2003). Surveillance Sanitaire Et Microbiologique Des Eaux: Réglementation - Prélèvements - Analyses. *TEC & DOC*. 269p.

Dervin B. (1992). From the mind's eye of the 'user' :The sense making qualitative-quantitative methodology. In J. D. Glazier and R.R. Powell (Eds.), *Qualitative Research in Information Management*, Englewood, CO: Libraries Unlimited. pp.61-84.

Derwich E., Benaabidate L., Zian A., Sadki O. et Belghity D. (2010). Caractérisation Physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du Haut Sebou en aval de sa confluence avec Oued Fes. *Larhyss Journal* 8: 101-112

Detay M. (1993). Le Forage D'eau ; Réalisation, Entretien Et Réhabilitation. *Masson*. 379p.

Diday E., Lemaire J., Pouget J. et Testu F. (1982). Eléments d'analyse des données. Edition Dunod-Bordas.

Djabri L. (1996). Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba, 261p.

Djabri L., Ferrah Y., Bouhsina S., Cazier F., Hani A., Djabri Y., Pulido Bosch A. et Same H. (2012). Etats de la qualité des eaux en Algérie : cas des cours d'eau en région méditerranéenne (Kebir est, Seybouse et Medjerda), (extrême est algérien). XII Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil Cherbourg. P 865

Dussart B. (1966). Limnologie : Etude des eaux continentales. Gauthier-Villars.,ed., Paris.

Elhatip H., Hinis M.A. and Gülbahar N. (2008). Evaluation of the water quality at Tahtali dam watershed in Izmir-Turkey by means of statistical methodology. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 22, 391-400.

Emberger L. (1963). Contribution complémentaires au sujet des recherches climatiques, phytogéographie et écologique. In : travaux de botanique et d'écologie. Ed. Masson & CIE. Paris, VLI. 520p.

Emsalem R. (1970). Climatologie générale, tome I, Fondements des équilibres atmosphériques, Editions SNED- Alger, 215p.

Emsalem R. (1986). Climatologie Générale. Edition. *I.P.E.N.A.G.* Tome 1. 198p.

Gaujous D. (1995). La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, pp : 40-183, Paris.

Gaujous D. (1997). La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, pp : 40-184, Paris.

Gausson H. et Bagnouls F. (1953). Saison sèche et indice xérothermique, Université de Toulouse, Faculté des Sciences.

Geldreich E.E. (1976). Fecal coliform and fecal streptococcus density relationships in waste discharges and receiving waters. *Crit. Rev. Environ. Control* 6: 349-369.

Godard A. et Tabeaud M. (1993). Les climats- mécanismes et répartition. Editions Armond Colin-Paris, 168p.

Gomez N. (1998). Use of epipellic diatoms for evaluation of water quality in the Matanza-Riachuelo (Argentina), a pampean plain river. *Water Res.*, 32, 2029-2034.

Helgeson H.C. (1969). Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. *Am. J.Sci.* 267, 729-804

Kaiser H.F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis». *Psychometrical*, 23, 187-200.

Karrouch L. et Chahlaoui A. (2009). Bio- Evaluation de la qualité des eaux de l'Oued Boufekrane (Meknes, Maroc). *Biomatec Echo* 3 (6): 6 – 17.

Kazi T. G., Arain M.B., Jamali M.K., Jalbani N., Afridi H.I., Sarfraz R.A., Baig J.A. and Shah A.Q. (2009). Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72, 301-309.

Keumean K.N., Bamba S.B., Soro G., Metongo B.S., Soro N. et Biemi J. (2013). Evolution spatio-temporelle de la qualité physico-chimique de l'eau de l'estuaire du fleuve Comoé (Sud-est de la Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7(4): 1752-1766.

Khadri S. (2009). Qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie aval : Impacts des néofacteurs de pollution. Mémoire de magister. Université Badji Mokhtar-Annaba. 134p.

Ladlani I. (2006). Contribution à la gestion optimale de la ressource en eau mobilisée «choix de formule empirique pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle "ETP" dans les régions de Tébessa et Annaba. Mémoire de magister. Université de BATNA. 175p.

Larpent J.P. (1997). Microbiologie alimentaire: Technique de laboratoire. Ed. Technique et documentation-Lavoisier, Paris, 1073 p.

Laurentides C.R.E. (2009). L'oxygène dissous p.4

Lebres E. (2006). Cours D'hygiène Et De Microbiologie Des Eaux (Manuel De Travaux Pratiques Des Eaux). *Institut Pasteur d'Algérie.* 60p.

Liu C.W., Lin K.H. and Kuo Y.M. (2003). Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *The Science of The Total Environment* 313, 77-89.

Loup J. (1974). Les eaux terrestres, Masson et Cie, Paris.

Mamou A. (1990). Caractéristiques et évaluation des ressources en eau du sud Tunisien. Thèse de doctorat d'état des sciences, université de Paris - sud, centre d'Orsay, juin, 426 p.

Medjelekh D. (2006). Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment : Cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma. Thèse de magister. Université Montouri de Constantine. 334 p.

Meybeck M., Friedrich G., Thomas R. and Chapman D. (1996). Rivers. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2^{ed}. E & FN Spon, London.

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). Thèse de Magister. Université d'Annaba. 141p.

Mulliss R.M., Revitt D.M. and Shutes R.B.E. (1997). The impacts of discharges from two combined sewer overflows on the water quality of an urban watercourse. *Water Sci. Technol.*, 36, 195-199.

Olivier J.E. (2006). Encyclopedia of world climatology, 89 p.

Omo-Irabor O.O., Olobaniyi S.B., Oduyemi K. and Akunna J. (2008). Surface and groundwater water quality assessment using multivariate analytical methods: A case study of the Westem Niger Delta, Nigeria. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 33, 666-673.

OMS (2000). Directive Pour La Qualité De L'eau De Boisson; Volume 2 (Critères D'hygiène). ième Organisation Mondiale De La Santé. 2 édition. 189p.

Perona E., Bonilla I. and Mateo P. (1999). Spatial and temporal changes in water quality in a Spanish river. *The Science of The Total Environment* 241, 75–90.

Petersen W., Bertino L., Callies U. and Zorita E. (2001). Process identification by principal component analysis of river water-quality data. *Ecological Modelling* 138, 193–213

Philipeau G. (1992). Comment interpréter les résultats d'une analyse en composante principale. *Stat-Itcf* (eds.). 63 p.

Rejsek F. (2002). Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques. Série Sciences et technique de l'environnement. 360p.

Remenieras G. (1986). L'hydrologie de l'ingénieur. Ed. Eyrolles, 451 p.

Remili S. et Kerfouf A. (2013). Évaluation de la qualité physico-chimique et du niveau de contamination métallique (cd, pb, zn) des rejets d'eaux usées d'Oran et de Mostaganem (littoral Ouest Algérien). *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, volume VII

Rodier J. (1996). L'analyse De L'eau ; Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 8ème édition. Dunod. 1383 p.

Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H. et Rodi L. (2005). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.

Rodier J., Beuffr H., Bournaud M., Broutin J.P., Geoffray Ch., Kovacsik G., Laport J., Pattee E., Plissier M., Rodi L. et Vial J. (1984). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 7e édition. Ed. Dunod : 5 pp.

Sadat A.W., N'goran E.B.Z., Siaka S. et Parinet B. (2011). Intérêt de l'analyse multidimensionnelle pour l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un système lacustre tropical : cas des lacs de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* 38: 2573 – 2585.

Sakai H., Iiyama S. and Toko K. (2000). Evaluation of water quality and pollution using multichannel sensors. *Sensors and Actuators B* 66. 251–255

Stewart P. (1969). Quotient pluviométrique et dégradation de la biosphère *Bull.Soc.Hist.Nat.Afr.du Nord*; Alger, 59 :14.

Teixeira E.C., Sanchez J.C.D., Migliavacca D., Binotto R.B. and Fachel J.M.G. (1999). Environmental assessment: Study of metals in fluvial sediments in sites impacted by coal processing and steel industry activities. *Fuel* 79 (12): 1539 – 1546.

Thierrin J., Steffen P., Cornaz S., Vualaz F.D., Balderer W., Looser M., Zpbrit J. et Zumstein J. (2001). Guide pratique de l'échantillonnage des eaux souterraines. *Société Suisse D'Hydrogéologie*. 57p.

URBACO (2012). Étude du Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya de Guelma. PHASE - I – Tome I Évaluation territoriale et diagnostic. 125 p.

Vilain M. (1989). *La production végétale: la maîtrise de technique de la production.* ED. Lavoisier (ed.J. Bailliére). Vol 2. Paris- France. voisines.- Cartes et coupes Géologiques,

Walling D.E., Russell M.A. and Webb B.W. (2001). Controls on the nutrient content of suspended sediment transported by British rivers. *The Science of the Total Environment*, 266: 113 – 123.

Wenning R.J. and Erickson G.A. (1994). Interpretation and analysis of complex environmental data using chemometric methods. *Trends in Anal. Chem.* 13, 446-457.

Résumé :

L'Oued Seybouse est l'un des cours d'eau les plus importants de l'Algérie. Son réseau hydrographique est actuellement menacé par les activités humaines (rejets urbains et industriels, utilisation d'eau pour les besoins agricoles). L'eau de ce hydrosystème est cependant utilisée dans l'irrigation des champs avoisinants le lit de l'oued.

Nous proposons dans cette étude d'évaluer le degré de pollution (physico-chimique et microbiologique) de ce hydrosystème. Le suivi a été réalisé sur cinq points de prélèvement couvrant la Seybouse de son amont jusqu'à son estuaire et a duré un cycle annuel. Les paramètres physico-chimiques suivis sont la température, le pH, la conductivité électrique, la turbidité, les nitrites et nitrates, les ions ammonium, la matière organique, les résidus secs, le calcium, le magnésium et le potassium. Les paramètres microbiologiques mesurés se résument en la détermination de l'indice de contamination fécale, la recherche et l'identification des bactéries revivifiables, bactéries pathogènes et des levures.

Nos résultats nous montrent d'une manière générale que la conductivité électrique est assez importante durant la période d'étiage ($7500\mu\text{S}/\text{cm}$), une turbidité égale à 358,35 NTU et des teneurs moyennes des chlorures, sulfates, et potassium de 108,22 mg/l, 53,26 mg/l et 75,26 mg/l. De point de vue microbiologique, l'eau affiche une pollution bactériologique très nette, exprimée par de fortes concentrations en flore mésophile aérobie totale ($6,35 \log_{10}/\text{ml}$). Une contamination fécale (taux de coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux) sont très élevés, soient de l'ordre de $3,52 \log_{10}/100\text{ml}$, $3,41 \log_{10}/100\text{ml}$ et $2,71 \log_{10}/100\text{ml}$. Cette pollution fécale est principalement observée après la saison de pluies. De nombreux microorganismes pathogènes (bactéries et levures) ont été isolés, vérifiant que cette eau ne peut malheureusement pas être utilisée pour l'irrigation des cultures.

Mots clés: Seybouse, Oued, Pollution fécale, qualité de l'eau, physico-chimie, microbiologie.

Abstract

Oued Seybouse is one of the most important rivers of Algeria. Its hydrographic network is currently threatened by the human activities (urban and industrial wastes, use of water for the agricultural needs). The water of this hydrosystem is however to use in the irrigation of the neighboring fields the bed of the river.

We propose in this study to evaluate the degree of pollution (physicochemical and microbiological) of this hydro system. The follow-up was carried out on five sampling points covering Seybouse of its upstream to its estuary and lasted an annual cycle. The followed physicochemical parameters are the temperature, the pH, electric conductivity, turbidity, the nitrites and nitrates, the ions ammonium, the organic matter, the residues dry, calcium, magnesium and potassium. The measured microbiological parameters are summarized in the determination of the index of fecal contamination, the research and the identification of the revivifiables bacteria, pathogenic bacteria and of yeasts.

Our results generally show us that electric conductivity is rather important during the period of low water level ($7500\mu\text{S}/\text{cm}$), a turbidity equal to 358,35 NTU and average contents of the chlorides, sulphates, and potassium of 108,22 mg/l, 53,26 mg/l and 75,26 mg/l. From microbiological point of view, water posts a very clear bacteriological pollution, expressed by strong concentrations in total flora mesophyll aerobic ($6,35 \log_{10}/\text{ml}$). A fecal contamination (rates of Coliformes total, Coliformes fecal and Streptocoques fecal) are very high, are about $3,52 \log_{10}/100\text{ml}$, $3,41 \log_{10}/100\text{ml}$ and $2,71 \log_{10}/100\text{ml}$. This fecal pollution is mainly observed after the season of rains. Many pathogenic micro-organisms (bacteria and yeasts) have been isolated, checking that this water can unfortunately not be used for the irrigation of crops

Key words: Seybouse, River, fecal Pollution, water quality, physic chemistry, microbiology.

الملخص:

واد سيبوس واحد من أهم أنهار في الجزائر. شبكته الهيدرولوجية مهددة حالياً بفعل الأنشطة البشرية (التصريفات الصناعية والحضرية، استخدام المياه للأغراض الزراعية). رغم ذلك مازالت مياهه تستخدم في الري الحقول القريبة من حافة الوادي.

نقترح في هذه الدراسة تقييم مستوى التلوث (الكيميائي والميكروبيولوجي) لهذا النظام المائي. تمت هذه الدراسة على خمسة عينات مأخوذة من بداية الواد حتى الى غاية مصبه في البحر الابيض المتوسط خلال مدة عامين. العناصر الفيزيوكيميائية التي تمت دراستها هي درجة الحرارة والأس الهيدروجيني، الموصلية الكهربائية، التعكر، النترات النتريت، أيونات الأمونيوم، المواد العضوية، الكالسيوم، المغنيسيوم والبوتاسيوم. اما العناصر الميكروبيولوجية هي مؤشر التلوث بالبراز، والبحث والتعرف على البكتيريا قادرة على البقاء، والبكتيريا المسببة للأمراض والخمائر.

تظهر لنا النتائج بشكل عام أن الموصلية الكهربائية مهم جداً خلال فترة الصيف (7500)، درجة التعكر (358.35) اما نسبة أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم، والبوتاسيوم فهي بهذا الترتيب: 108.22 ملغ/ل، 53.26 ملغ/ل و 75.26 ملغ/ل. من الناحية الميكروبيولوجية، تعرف المياه تلوث البكتريولوجي واضح جداً، يظهر ذلك من خلال التركيز العالي للقلونيات البرازية و العقديات البرازية، وقد تم عزل العديد من البكتيريا الممرضة و الخمائر، من خلال هذه النتائج تم التحقق من عدم استخدام هذه المياه لري المنتوجات الزراعية.

الكلمات المفتاحية : سيبوس، واد، تلوث برازي، نوعية المياه، كيميائي، ميكروبيولوجي

ANNEXES

Tableau 7: Evaluation des températures mensuelles de la région d'étude
(Station de Guelma /Années 1994-2013).

	T (max.)	t (mini.)	Moyenne
Jan.	15,84	4,90	9,76
Fev.	16,38	4,58	10,05
Mar.	19,75	6,55	12,44
Avr.	21,98	8,64	14,97
Mai	27,11	11,96	19,52
Jui.	32,09	15,74	24,18
Juill.	36,33	18,64	27,23
Aou.	36,55	19,71	27,54
Sept.	31,34	17,24	23,53
Oct.	27,14	13,70	19,36
Nov.	21,08	9,33	14,49
Déc.	16,96	6,26	11,02

Tableau 13: Evaluation mensuelle des humidités relatives de la région d'étude
(Station de Guelma/1994-2013).

Mois	Humidité relative (%)
Jan.	76,91
Fev.	75,53
Mar.	73,88
Avr.	72,58
Mai	68,29
Jui.	60,59
Juill.	55,53
Aou.	56,51
Sept.	67,12
Oct.	70,26
Nov.	73,15
Déc.	75,23

Tableau 16 : Température moyenne mensuelle et précipitation moyenne mensuelle
(Station Guelma/1994-2013).

	Précipitation. (mm)	T (°C)
Jan.	98,85	9,76
Fév.	71,68	10,00
Mar.	64,65	12,52
Avr.	66,59	15,00
Mai	44,965	19,46
Jui.	15,29	24,07
Juill.	3,09	27,22
Aou.	16,02	27,47
Sept.	49,89	23,52
Oct.	41,21	19,51
Nov.	71,91	14,48
Déc.	74,495	10,97



Figure 98: Profil biochimique de la souche *Serratia odorifera*.



Figure 99: Profil biochimique de la souche *Burkholderia cepacia*.



Figure 100: Profil biochimique de la souche *Klebsiella oxytoca*.



Figure 101: Profil biochimique de la souche *Pseudomonas aeruginosa*.



Figure 102: Profil biochimique de la souche *Aeromonas hydrophila* gr. 1.



Figure 103: Profil biochimique de la souche *Stenotrophomonas maltophilia*



Figure 104: Profil biochimique de la souche *Aerococcus viridans* 1.



Figure 105: Profil biochimique de la souche *Enterococcus faecium*.



Figure 106: Profil biochimique de la souche *Aerococcus viridans 2*.



Figure 107: Profil biochimique de la souche *Staphylococcus hominis*.



Figure 108: Profil biochimique de la souche *Staphylococcus aureus*.



Figure 109: Profil biochimique de la souche *Kocuria varians /rosea*.

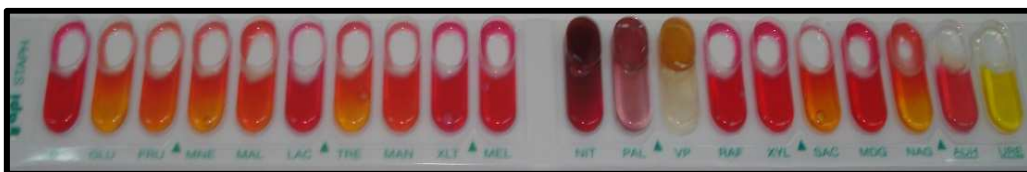


Figure 110: Profil biochimique de la souche *Staphylococcus hyicus*.

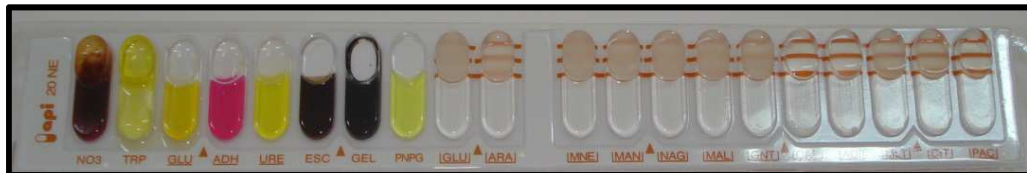


Figure 111: Profil biochimique de la souche *Aeromonas hydrophila/caviae*.



Qualité Physico-Chimique des Eaux de l'Oued Seybouse (Nord-Est de l'Algérie): Caractérisation et Analyse en Composantes Principales (Physico-chemical quality of the waters of the Oued Seybouse (North-eastern Algeria): Characterization and Principal Component Analysis)

A. Reggam^{1*}, H. Bouchelaghem², M. Houhamdi¹

¹Laboratoire Biologie, Eau et Environnement (*LBE*), Faculté SNV-STU, Université 8 Mai 1945 de Guelma, Algérie.

²Laboratoire de Recherche et Conservation des Zones Humides, Faculté SNV-STU, Université 8 Mai 1945 Guelma, Algérie.

Received 15 Nov 2014, Revised 25 Jan 2015, Accepted 25 Jan 2015

*Auteur correspondant. E-mail: asma24049@gmail.com; Tel: (+213699027901)

Abstract

Five stations (S1, S2, S3, S4 and S5) have been followed throughout an annual (year 2012) cycle to assess the physicochemical water quality of Oued Seybouse. Twelve parameters were measured (T °, pH, electrical conductivity, hardness, sulphate, ortho-phosphates, chlorides, dissolved oxygen, suspended solids, organic matter, and nitrogen compounds.) The last station (S5) located downstream of the river is the most polluted. The rate of sulphate, ortho-phosphates, chlorides, suspended solids and nitrogen compounds are the highest. This pollution is a consequence of the solid and liquid wild discharges that have a direct and significant impact on the quality of water throughout the river. A multivariate statistical study through PCA (principal component analysis) revealed that the levels of these parameters remain however low upstream the course of water (S1 and S2) compared to the downstream (S5). S3 and S4 located, in the middle of the river stations present a moderate pollution. Human anthropogenic actions (wastewater discharges, agricultural and industrial activities) without treatment in advance are the main cause of this generated pollution.

Keywords: Quality of water, physical chemistry, pollution, Oued Seybouse, Algeria

Résumé

Cinq stations (S1, S2, S3, S4 et S5) ont été suivies pendant tout un cycle annuel (année 2012) pour évaluer la qualité physico-chimique de l'eau de l'Oued Seybouse. Douze paramètres ont été mesurés (la T°, le pH, la conductivité électrique, la dureté totale, les sulfates, les ortho-phosphates, les chlorures, l'oxygène dissous, les matières en suspension, les matières organiques et les composés azotés. La dernière station (S5) située en aval de l'oued est la plus polluée. Les taux des sulfates, des ortho-phosphates, des chlorures, des matières en suspension et des composés azotés sont les plus élevés. Cette pollution est une conséquence des rejets sauvages solides et liquides qui ont un impact direct et important sur la qualité de l'eau tout au long de l'oued. Une étude statistique multi variée par le biais de l'ACP (Analyse en Composantes principales) a révélé que leurs teneurs de ces paramètres restent toutefois faibles en amont de ce cours d'eau (S1 et S2) par rapport à l'aval (S5). Les stations S3 et S4, situées au milieu de l'oued présentent une pollution modérée. Les actions anthropiques humaines (rejets d'eau usée, activités agricoles et industrielles) sans traitement au préalable sont la cause principale de cette pollution générée.

Mots-clés : Qualité de l'eau, physico-chimie, pollution, Oued Seybouse, Algérie

Introduction

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés et l'utilisation intensive des engrais chimiques en agriculture. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités [1;2]. De nombreux travaux se sont aussi rapportés sur l'étude des différents effets des rejets industriels et urbains sur l'évolution de la qualité des eaux de surface et la pollution des écosystèmes aquatiques continentaux [3-6].

Au niveau de l'Est de l'Algérie, les activités industrielles sont en expansion et leurs déchets sont rejetés directement dans les cours d'eau naturels modifications plus ou moins marquées sur les communautés vivantes [7], la faune aquatique peut. Ces actions affectent directement la qualité de l'eau et provoquent des témoignages de la qualité des eaux et peut servir ainsi comme indicateurs biologiques de la pollution [8]. L'influence anthropique sur l'un des grands oueds de l'Algérie orientale, l'Oued Seybouse, se manifeste par des activités diverses liées aux agglomérations installées tout le long de ce cours d'eau (trois wilayas : Guelma, El-Tarf et Annaba) et aux activités agricoles qui sont pratiquées sur l'ensemble du bassin versant ou directement dans les petites parcelles aux bordures de cet écosystème [9]. De plus, les eaux usées de l'ensemble des trois wilayas avec leurs communes sont déversées d'une façon précaire et sans traitement préalable dans l'oued. Ces rejets contiennent des concentrations importantes de micropolluants organiques, de nutriments et de métaux lourds toxiques et entraînent ainsi une dégradation considérable de la qualité des eaux de cet écosystème lotique [10]. Ainsi, l'eau de ce milieu connaît depuis plusieurs années une dégradation notable de ses qualités physico-chimique et biologique.

Dans cet objectif et pour mieux appréhender l'étude qualitative de l'eau de l'Oued Seybouse et sa dégradation, des échantillons d'eau ont été prélevés dans le lit de l'Oued depuis son amont jusqu'à son embouchure. Ces échantillons ont fait l'objet d'une caractérisation physico-chimique dont l'intérêt est de mettre le point sur les principaux acteurs et facteurs de dégradation de la qualité de l'eau de cet écosystème lotique. Les résultats escomptés visent l'étude des impacts environnementaux relatifs à la pollution des eaux liée aux facteurs.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Description du site

L'Oued Seybouse draine l'un des principaux bassins versants de l'Algérie. Ce bassin situé au Nord-Est de l'Algérie couvre une superficie totale d'environ 6471km² (Figure 1). C'est le bassin le plus vaste, après celui de la Medjerda, de la partie orientale de l'Afrique du Nord et il est subdivisé en six sous-bassins principaux [11-13]. Du point de vue importance des ressources hydriques et de sa forte anthropisation, les caractéristiques physiographiques et le climat humide et subhumide du bassin versant de la Seybouse (situé entre la confluence de l'Oued Charef et de l'Oued Bouhamdane), expliquent le fonctionnement hydrologique de ce cours d'eau. L'Oued Seybouse prend naissance de la commune de Medjez Amar, wilaya de Guelma (36°26.587''N, 007°18.740''E), à l'ouest de la ville de Guelma et coule sur 134.74km avant de se déverser dans la mer Méditerranée, près de la commune de Sidi Salem, wilaya d'Annaba (36°51.689''N, 007°46.066''E). Il traverse trois wilayas (Guelma, El-Tarf et Annaba) et reçoit en continue les rejets et les eaux usées des communes et des agglomérations du bassin versant et qui sont au nombre de 68 communes, soit 1.300.000 habitants [13]. Guelma et d'El-Tarf sont deux wilayas à vocation agricole avec une industrialisation faible (minoteries, production industrielle de lait et conserverie de concentrés de tomates) et Annaba, capital de l'acier, qui représente pôle industriel de l'Est algérien : *Mittal-Steel* spécialisée dans la sidérurgie, *Fertial* : industrie chimique spécialisée dans la production des insecticides et de produits phytosanitaires [14].

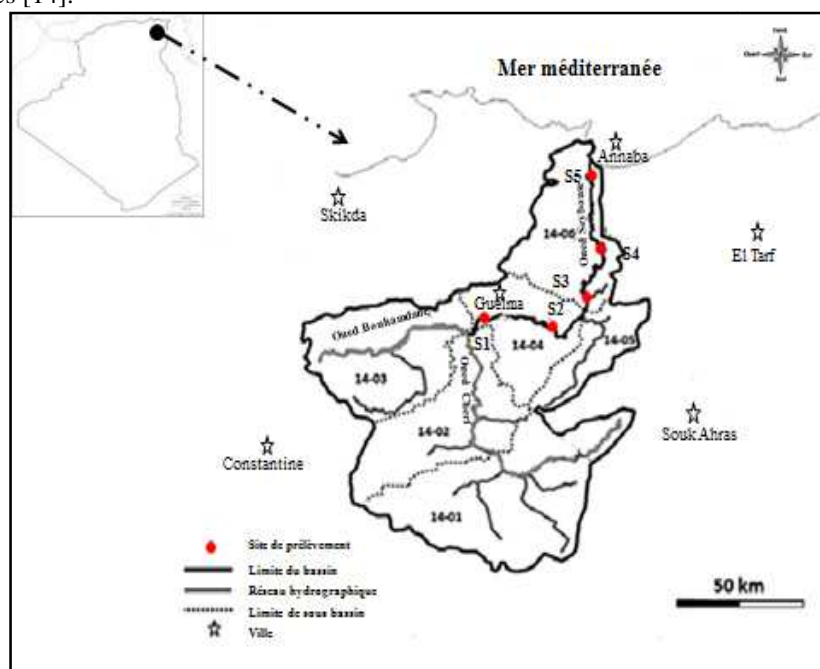


Figure 1: Bassin versant de la Seybouse et sites de prélèvements.

2.2. Echantillonnage

Au cours de l'année 2012, les prélèvements des échantillons d'eau de l'Oued Seybouse ont été réalisés dans des bouteilles en plastique propres d'une capacité de 1,5 litre à 2m des berges. Le remplissage des bouteilles a été fait à ras bord puis le bouchon vissé afin d'éviter tout échange gazeux avec l'atmosphère. Les échantillons d'eau ont été directement acheminés au laboratoire dans un délai ne dépassant pas 8h pour effectuer les analyses. Cinq stations ont été sélectionnées (Figure 1). Ils ont choisis en raison de leurs implantations accessibles pour les prélèvements, les traversées des agglomérations à forte densité populationnelles et certaines longeant les terres agricoles.

Les paramètres suivants ont été analysés, la T°C, le pH, la Conductivité électrique (CE), l'Oxygène dissous (OD), la Dureté totale (DT), les Sulfates (SO_4), les Ortho-phosphates (OP), les Chlorures (Cl), les Nitrates (NO_3), les Matières organiques (MO), l'Ammonium (NH_4) et les Matières en suspension (MES). Les paramètres suivants (la Température, le pH, la Conductivité électrique et l'Oxygène dissous) ont été mesurés directement *in situ* à l'aide d'un multi-paramètre (WTW multi 1971) portable adéquat. Les autres paramètres physico-chimiques ont été déterminés selon le protocole d'analyse de Rodier [15]. Ainsi la dureté totale de l'eau a été déterminée par titrage volumétrique à l'EDTA 0,2N et les concentrations en ions chlorures par argentométrie (dosage par les nitrates d'argent). Les autres indicateurs (paramètres) ont été dosés par spectrophotométrie. Des analyses statistiques uni-variée (Tests de corrélations) et multi-variée (Tests de similitude et Analyse en Composantes Principales) ont été réalisées sur ces données afin de déterminer les différentes corrélations existantes entre ces paramètres.

3. Résultats et Discussion

3.1 Caractéristiques physico-chimiques des eaux

Les indicateurs physico-chimiques de la qualité de l'eau sont souvent assujettis à des variations spatio-temporelles induites par les activités anthropiques qui modifient les caractéristiques de l'eau et ils affectent sa qualité [16]. Ainsi, les mesures de ces paramètres dans un écosystème lotique peuvent nous renseigner sur le degré de pollution de ce biotope.

Le pH est un facteur dépendant des conditions naturelles du milieu, telles la couverture végétale et la nature des roches et du substrat pédologique et des activités humaines telles la pollution [17;18]. Il diminue en présence des teneurs élevées en matières organiques et augmente en période d'étiage, lorsque l'évaporation est assez importante [19]. Dans notre région, les valeurs de ce potentiel hydrogène fluctuent entre 8.16 et 8.51 (Figure 2a) et dévoilent un léger gradient croissant de l'amont vers l'aval. De ce fait, le pH est légèrement neutre à modérément alcalin au niveau des stations S2 et S5.

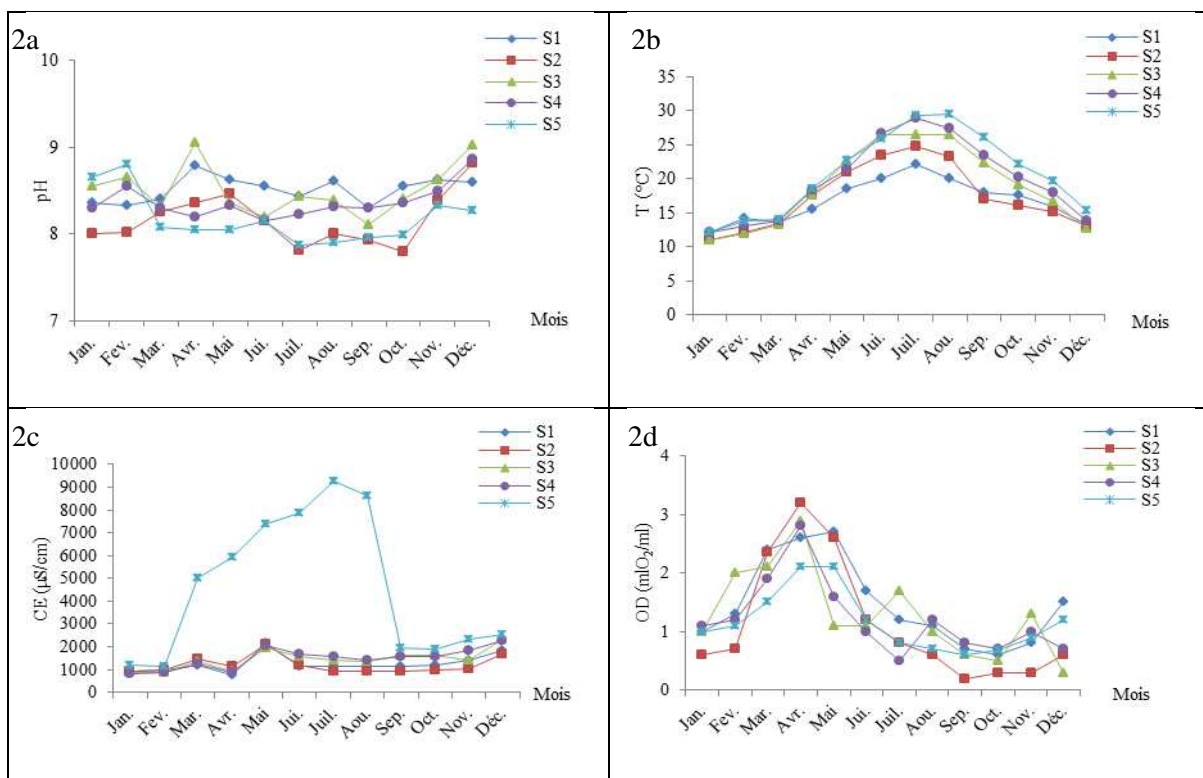


Figure 2: Variation spatio-temporelle du pH (2a), de la température (2b), de la conductivité électrique (2c) et de l'oxygène dissous (2d) au niveau de l'eau de l'Oued Seybouse.

La température de l'eau est fortement influencée par les conditions environnementales liées à la situation géographique de la localité, la géologie des terrains traversés, l'hydrologie de l'écosystème et surtout au climat régnant [15]. Ainsi, la température moyenne ne présente pas de grandes variations d'une station à l'autre. Le minimum enregistré est de 16.78°C (station S1) et le maximum est de 20.75°C (station S5). Ces valeurs fluctuent entre 11,01°C et 29,50°C (Figure 2b) et dévoilent un gradient légèrement plus croissant en amont qu'en aval. La température la plus élevée a été enregistrée durant la saison sèche et la plus faible pendant la saison des pluies, principalement durant le mois de janvier dans la station S3 (Figure 2b).

La conductivité électrique (CE) représente la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est proportionnelle à la minéralisation de l'eau, ainsi plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée [20]. Elle est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente [21]. Elle sert aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau [15]. Suites aux dosages effectués, avec des valeurs toujours supérieures à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, les eaux de la Seybouse sont considérées comme fortement minéralisées. Ces valeurs importantes semblent être la conséquence des apports de l'oued d'une part et d'autre part elles peuvent être le résultat des lessivages du sol. Nous constatons une augmentation des teneurs de la salinité de l'amont vers l'embouchure (Figure 2c). L'élévation de ces taux pendant la saison sèche est favorisée par l'étiage de l'Oued Seybouse et à l'entrée des eaux marines de la Méditerranée. Durant la saison des pluies, la baisse de ces teneurs en saison est reliée aux crues de l'oued.

La quantification de la concentration de l'oxygène dissous dans l'eau (OD) d'un hydro-système est un facteur assez important du fait qu'il participe à la majorité des processus chimiques et biologiques dans ces milieux aquatiques [15, 22]. L'évolution de l'oxygène dissous dans l'eau de l'Oued Seybouse traduit une dégradation plus ou moins nette de la qualité de ces eaux en aval de cet oued (Figure 2d). La teneur en oxygène continue de diminuer de l'amont vers l'aval et passe de 1,47 mg/l à 1,16mg/l. Ce déficit important en oxygène dissous est probablement lié aux fortes charges organiques générées par les effluents liquides de la commune de Sidi Salem (Annaba) chargées de fortes concentrations de substances polluantes.

Concernant les matières en suspension (MES), ces mesures affichent une grande variabilité entre les cinq stations (Figure 3a). Ces teneurs sont comprises entre 1,00 mg/l (S1) et 580 mg/l (S4). La forte charge exceptionnellement enregistrée pendant le mois d'avril est probablement le résultat d'une manifestation hydrologique brutale (crue), dont la charge en MES peut être attribuée à une intense érosion du bassin versant, suite à des pluies torrentielles qui ont occasionnées une augmentation de ces teneurs. Les concentrations les plus basses ont été enregistrées au niveau de la cinquième station. Plus en aval, une décantation importante est à relever le long du cours d'eau.

La dureté totale de l'eau (TH) est un paramètre rattachée directement à la quantité de calcium et de magnésium dans une eau [15]. Les eaux de l'oued Seybouse sont caractérisées par une dureté totale élevée notamment au niveau des stations S4 et S5 avec respectivement 68,17mg/l et 77.42mg/L. Ces valeurs élevées (>30°F) pourraient être expliquées par le rejet des eaux usées des différentes industries raccordées à ces deux rives cours d'eau et à la nature des roches sédimentaires traversées par l'eau et les ruissellements. La dureté varie entre 32,00mg/l (observé pendant le mois d'avril au niveau de la station S3) et 124,00 mg/l (observé pendant le mois de juillet au niveau de la station S4) (Figure 3b). Nous constatons une augmentation de la dureté de l'amont vers l'embouchure.

Les concentrations moyennes mensuelles des chlorures (Cl) au niveau des différentes stations exhibent l'existence d'un gradient croissant de l'amont vers l'aval. Les teneurs fluctuent entre 124,35mg/l au niveau de la station S4 (janvier) et 3038,80mg/l en aval de ce cours d'eau (juillet). Les teneurs des chlorures atteignent des valeurs plus importantes après la traversée de la commune de Sidi Salem, wilaya d'Annaba (Station S5) (Figure 3c). Ces variations sont probablement liées à la nature des terrains traversés. Nous notons aussi une augmentation des chlorures durant la saison sèche qui serait favorisée par l'étiage de l'oued et les baisses observées durant la période de pluies sont en relation avec les crues de l'oued.

Les teneurs en sulfates (SO_4^{2-}) de l'eau de l'Oued Seybouse exhibent des valeurs distinctes entre les stations étudiées, exposant des taux élevés en amont et en aval de cet écosystème lotique (Figure 3d). La dernière station (S5) présente la valeur la plus élevée (850,00 mg/l) notée pendant le mois de juillet. Elle est le résultat des rejets des eaux usées de la commune de Sidi Salem (wilaya d'Annaba) que le lit de l'oued accueille directement sans traitement préalable. La teneur la plus faible (de l'ordre de 50,00 mg/l) a été enregistrée pendant le mois d'avril (période de crue) dans la station S2.

La pollution azotée peut être estimée par le dosage des teneurs en nitrates et en ions ammonium. Les ions nitrates (NO_3^-) représentent la forme la plus soluble de l'azote, sa présence dans les eaux de surface est liée à

l'utilisation intensive des produits fertilisants (chimiques ou organique) [10,23,24]. Les teneurs en nitrates mesurées varient entre 2,34 mg/l (valeur minimale observée pendant le mois de septembre au niveau de la station S2) et 97,30mg/l (valeur maximale observée durant le mois d'avril au niveau de la même station) (Figure 4a). Elle est le résultat d'une contamination de l'eau.

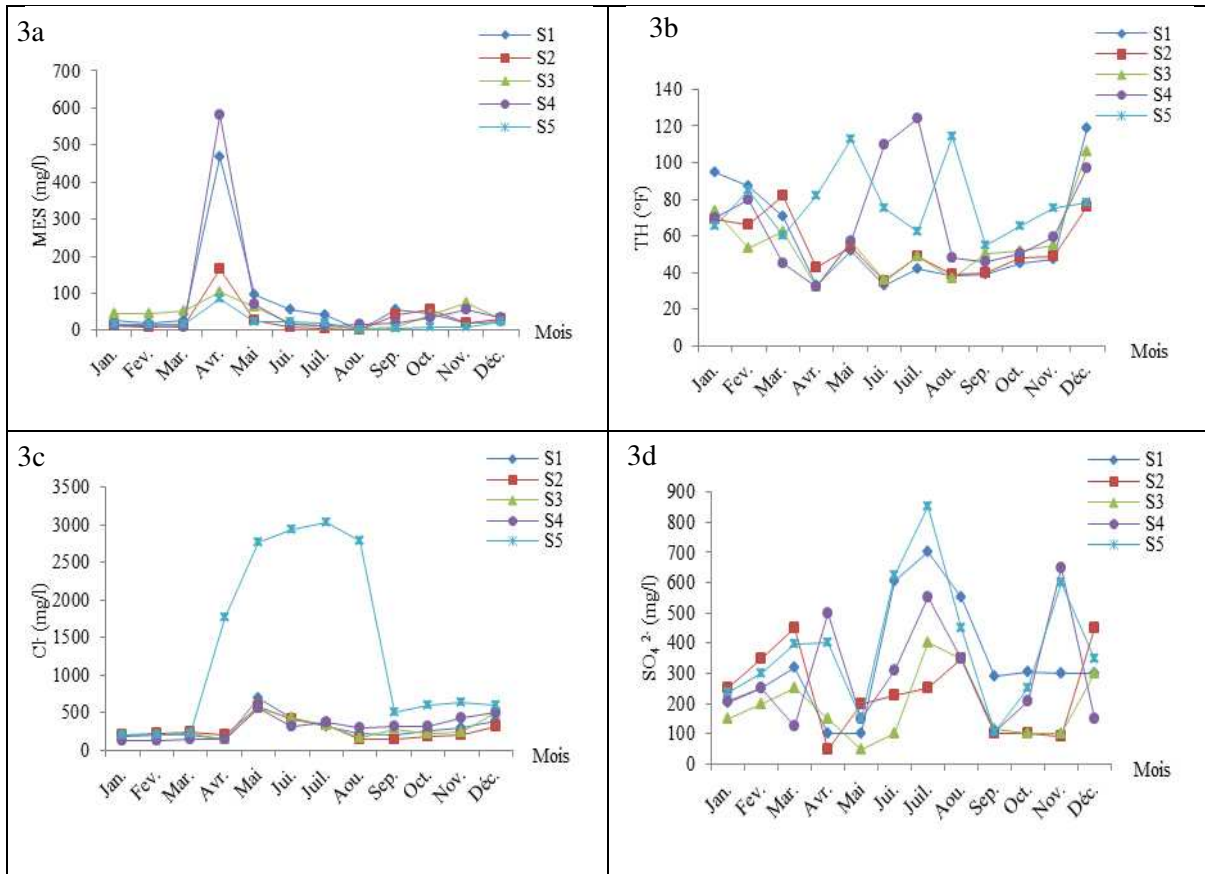


Figure 3: Variation spatio-temporelle de la matière en suspension (3a), de la dureté totale (3b), des chlorures (3c) et des sulfates (3d) au niveau de l'eau de l'Oued Seybouse.

Les activités agricoles et l'élevage intensif aux bordures de l'oued pourraient expliquer ces concentrations dans l'eau de cet oued.

L'ion ammonium est la principale forme de l'azote dans la nature [20,25]. Ils proviennent des conditions d'anaérobioses des écosystèmes [23]. Au niveau de l'Oued Seybouse, les teneurs en ions d'ammonium oscillent entre 0,12mg/l, valeur minimale enregistrée au niveau de la station (S4) en mois de décembre et 9,56mg/l, valeur maximale dosée au niveau de la station (S1) en mois d'avril (Figure 4b).

Le phosphore est l'un des nutriments les plus importants dans la nature. Il représente un élément biogène indispensable à la croissance des algues, des bactéries et des protozoaires [26]. Les teneurs élevées de cet élément dans les eaux de surface peuvent entraîner leur eutrophisation [27]. Les concentrations en ortho-phosphates exhibent des taux importants durant le mois de février et septembre au niveau des stations S3 et S5 et qui sont de l'ordre de 14,00 mg/l et 15,70 mg/l respectivement. Elles sont faibles au niveau des stations S2 et S4 (Figure 4c). Ces teneurs sont les conséquences des rejets d'eaux usées de nombreuses communes proches des stations (communes de Boudaroua et de Sidi Salem). L'élévation de ces teneurs pendant la période hivernale pourrait être liée à l'accentuation du lessivage des sols.

Les teneurs en matières organiques (MO) de l'eau de l'Oued Seybouse fluctuent entre 1,00mg/l (valeur minimale enregistrée durant le mois de décembre au niveau de la station S1) et 11,00mg/l (valeur maximale notée durant le mois de septembre au niveau de la même station) (Figure 4d). Tous les taux calculés des matières oxydables dépassent les valeurs signalées par la grille de qualité des eaux de surface estimée à 5mg O₂/l [21]. D'une manière générale, les taux enregistrés durant la période de pluies sont d'une part la conséquence directe des rejets des eaux usées domestiques des agglomérations limitrophes de l'oued et des

réseaux de collecte des effluents des établissements industriels et d'autre part, aux lessivages des sols. Durant la période estivale, l'abatement important du débit de l'oued ainsi que la prédominance des eaux usées pourraient être associés à l'origine de ces teneurs [28].

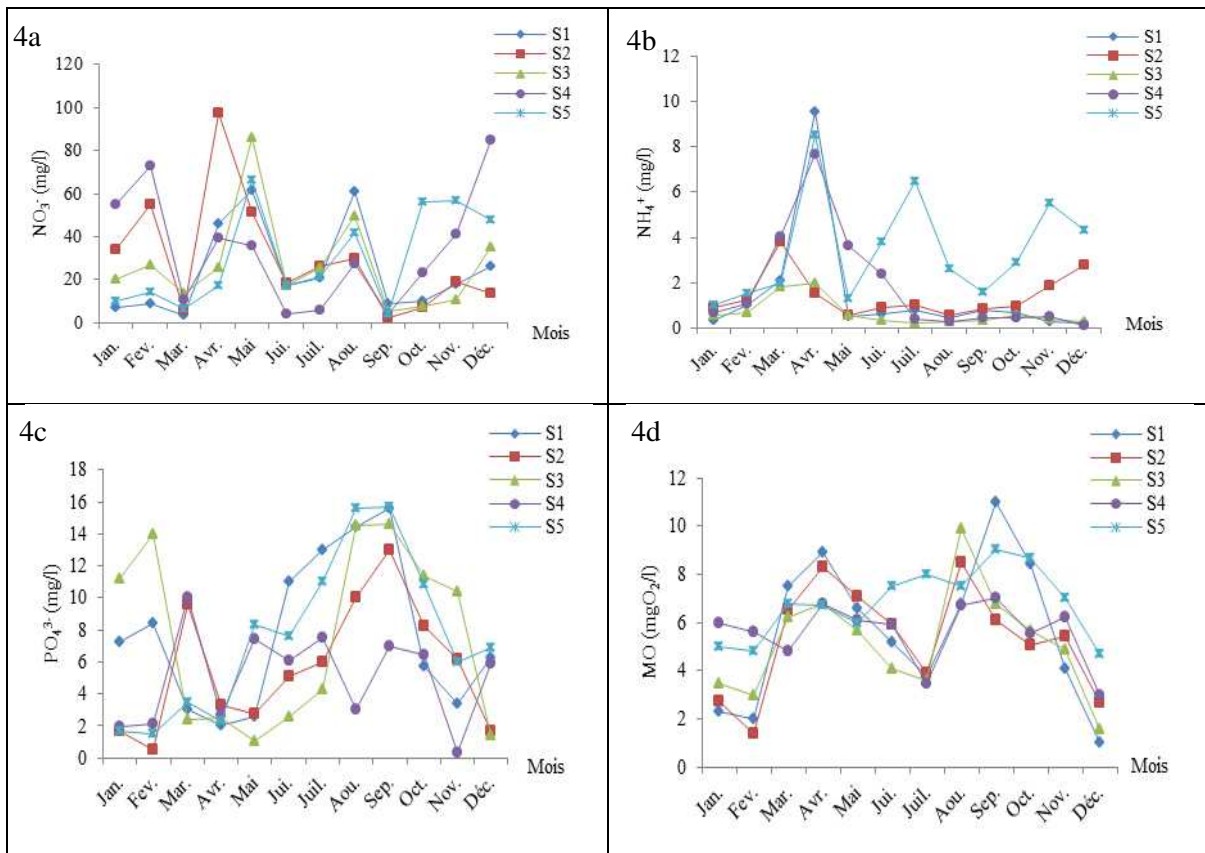


Figure 4: Variation spatio-temporelle des nitrates (4a), des ions ammonium (4b), des phosphates (4c) et de la matière organique (4d) au niveau de l'eau de l'Oued Seybouse.

3.2. Traitement statistiques des données

L'étude des corrélations linéaires bi-variées entre les paramètres étudiés nous renseigne sur la force des associations éventuelles entre eux [29]. La matrice de corrélation des douze paramètres mesurés durant la période d'étude (de janvier à décembre 2012) est indiquée dans le Tableau 1.

Tableau 1: Matrice de corrélation des différents physico-chimiques étudiés au niveau de l'Oued Seybouse (année 2012)

	CE	Cl ⁻	MES	MO	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	OD	pH	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	T°	TH
CE	1,00	1,00	-0,62	0,95	0,91	0,18	-0,37	-0,52	0,38	0,70	0,75	0,86
Cl ⁻		1,00	-0,63	0,95	0,92	0,15	-0,36	-0,54	0,39	0,72	0,71	0,84
MES			1,00	-0,40	-0,42	-0,10	0,65	0,68	-0,24	-0,01	-0,37	-0,20
MO				1,00	0,97	0,17	-0,24	-0,49	0,31	0,89	0,64	0,91
NH ₄ ⁺					1,00	0,35	-0,42	-0,65	0,10	0,87	0,65	0,92
NO ₃ ⁻						1,00	-0,79	-0,57	-0,82	0,06	0,61	0,47
OD							1,00	0,86	0,51	-0,01	-0,59	-0,40
pH								1,00	0,36	-0,31	-0,34	-0,41
PO ₄ ³⁻									1,00	0,24	-0,05	0,04
SO ₄ ²⁻										1,00	0,35	0,80
T°											1,00	0,83
TH												1,00

Les chiffres en gras indiquent les corrélations significatives.

Ainsi, Une forte association significative et positive est observée entre la Conductivité électrique et les ions chlorures ($r=1.00$, $p<0.05$). Il est à noter qu'une forte association non significative et positive est constatée entre la conductivité électrique et les ions sulfates ($r=0.70$, $p=0.18$) d'une part et entre la conductivité électrique et température de l'eau ($r=0.75$, $p=0.14$). La dureté de l'eau est aussi significativement corrélée avec les paramètres suivants : la matière organique ($r=0.91$, $p<0.05$) et l'ion ammonium ($r=0.92$, $p<0.05$). Une forte association non significative et positive est aussi observée entre la dureté totale de l'eau et les ions sulfates ($r=0.83$, $p=0.10$) et entre la dureté totale de l'eau et la conductivité électrique ($r=0.86$, $p=0.06$). Une corrélation significative est aussi à signaler entre les ions chlorures et la matière organique ($r=0.95$, $p<0.05$) et entre les mêmes ions avec les ions ammonium ($r=0.92$, $p<0.05$). Les ions sulfates présentent aussi une très forte corrélation significative avec la matière organique ($r=0.89$, $p<0.05$) alors qu'aucune corrélation n'est observée entre les éléments azotés (les ions nitrates et les ions ammonium). Enfin, une forte association significative et positive est aussi constatée entre les ions ammonium et la matière organique ($r=0.97$, $p<0.05$).

L'analyse multi-variée par le biais de l'ACP (Analyse en Composante Principale) réalisée sur un tableau à double entrée (12 variables et 5 stations) par le logiciel *STATISTICA* et exprimée jusqu'à trois facteurs et 81,31% de la variance ont été exprimés. La projection des variables sur le plan factoriel F1 et F2 exhibe deux pôles (Figure 5) : Le plan F1 affichant 57.53% de la variance, exprime un axe caractérisant la minéralisation des eaux par le lessivage des formations géologiques. Il est déterminé par la conductivité électrique, les chlorures, la matière organique, les ions ammonium, les sulfates, la température et la dureté de l'eau. Le plan factoriel F2 représentant uniquement 23.78% de l'information est considéré comme un axe caractérisant la pollution agricole et il est déterminé par les nitrates, l'oxygène dissous et les ortho-phosphates (Figure 5).

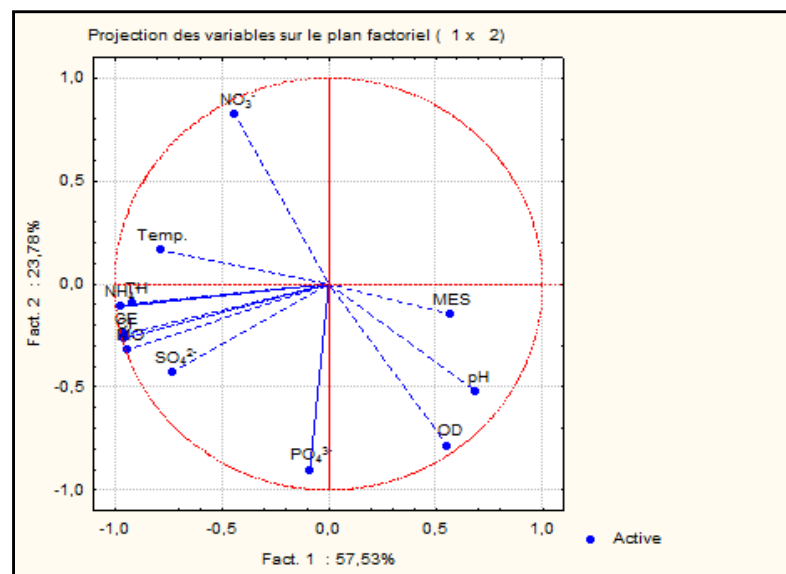


Figure 5: Représentation des variables mesurées sur le plan factoriel F1 et F2 de l'ACP.

La projection des stations de prélèvement sur le plan factoriel F1xF2, nous expose nous confirme l'existence de trois groupes plus ou moins distincts (Figure 6) : Le groupe de la minéralisation exprimée dans l'eau de la station S5, Le groupe à dominance des éléments indiquant une pollution urbaine et industrielle (stations S2 et S4) et le groupe des eaux riches en phosphates indiquant une pollution agricole, soit les stations S1 et S3.

L'étude des degrés de similitudes entre les différents paramètres mesurés nous expose les résultats de la classification des points de prélèvements en zones homogènes (Figure 7). A la lumière de ces résultats, de nombreuses corrélations très significatives ont été identifiées entre l'ensemble des variables mesurées et la contribution des ions phosphates est cependant assez négligeable par rapport à la mesure de tous les autres éléments qui présentent des corrélations plus ou moins solides entre eux.

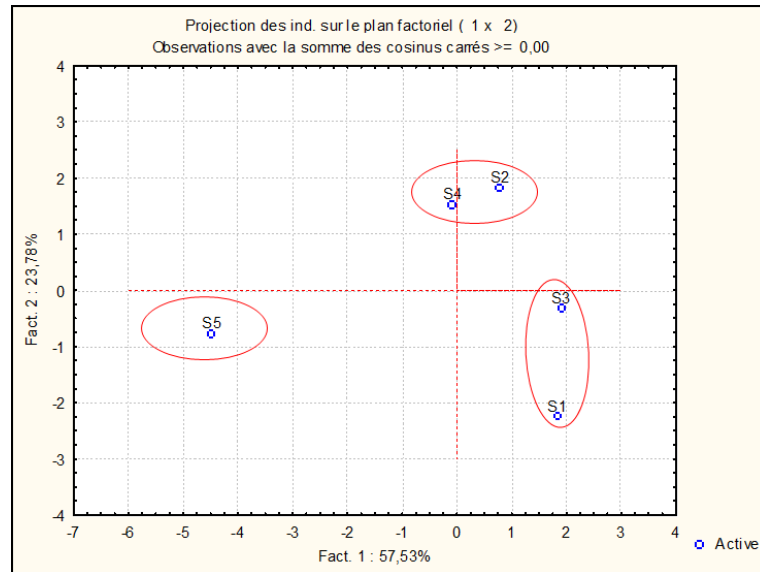


Figure 6: Représentation des cinq stations de prélèvement sur le plan factoriel F1 et F2 de l'ACP.

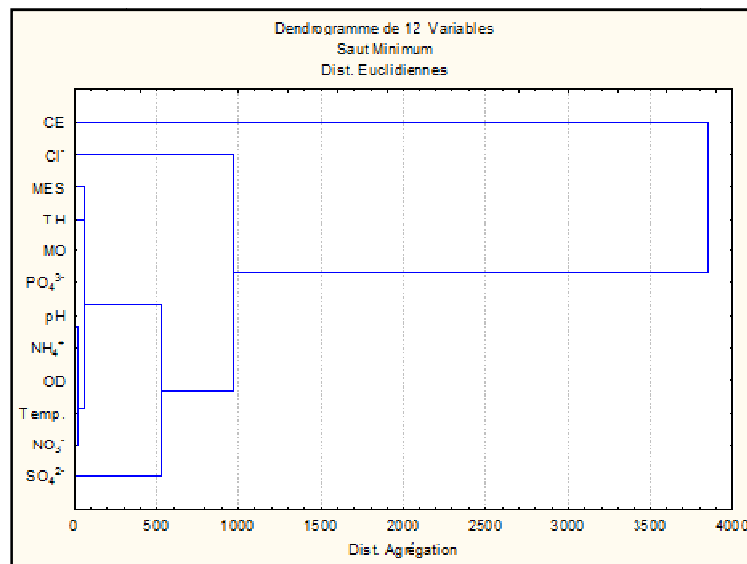


Figure 7: Dendrogramme visualisant les relations entre les variables physico-chimiques mesurés au niveau de l'Oued Seybouse.

Conclusion

Le suivi spatio-temporel de plusieurs paramètres physico-chimiques de l'eau de l'Oued Seybouse nous a fourni l'image d'une pollution relativement intense qui se traduit par une importante charge minérale et organique à l'aval de l'Oued. Comme en témoignent les teneurs et les concentrations élevées des chlorures (1358.78mg/l), de la dureté totale de l'eau (62.68NTU), des sulfates (290.52mg/l) et de la matière organique (5.70mgO₂/l) et les faibles teneurs d'oxygène dissous au niveau de toutes les stations sont la cause de la présence excessive de la matière en suspension dans l'eau de l'oued. D'une manière générale, les taux mesurés au niveau de ce cours d'eau évoluent de manière graduelle de l'amont vers l'aval et se traduisent par une importante charge minérale et organique. Ainsi, la cinquième station (l'embouchure de l'oued) est la plus affectée. Elle est tributaire de la quantité importante d'eau usée domestique et aux volumes élevés d'effluents industriels déversés en amont de cette station. La comparaison des moyennes au niveau des cinq stations étudiées nous a aussi permis de déceler l'existence d'un gradient généralement croissant de l'amont vers l'aval. Il est donc primordial de montrer que les deux indicateurs de la minéralisation de l'eau (la conductivité électrique et la dureté totale) évoluent de manière parallèle, sauf qu'au niveau de la dernière station (S5), nous enregistrons une élévation du premier paramètre. Cette hausse peut être expliquée par l'augmentation des concentrations en chlorures de l'eau.

Ces eaux ne peuvent pas donc être utilisées en maraîchage ni en irrigation tel qu'il est pratiqué actuellement. Nous insistons pour développer des moyens de lutte contre cette pollution de l'Oued Seybouse. Les meilleurs moyens restent la

sensibilisation des riverains du cours d'eau, ses utilisateurs et la population locale. Le traitement adéquat de tous ces rejets devient une opération impérative.

Remerciement - Nos vifs remerciements à toute l'équipe du laboratoire de l'Algérienne des Eaux de Hammam Debagh (Guelma) qui nous ont fourni gracieusement du matériel d'analyse pour mener à bien nos expérimentations sur les paramètres physico chimique.

Références

1. Rouabhia A., Baali F., Kherici N., Djabri L., *Sécheresse*, 15 (2004) 47-52.
2. Rouabhia A.E.K., Djabri L., *Larhyss Journal*, 08 (2010) 55-67.
3. Djabri L., Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologique, industrielles, agricoles et urbaines. Thèse de doctorat. De l'Université d'Annaba, (1996) 278.
4. Bennasser L., Fekhaoui M., Benoit-Guyoud J.L., Merlin G., *Water Research* 31 (4) (1997) 867 – 867.
5. Teixeira E.C., Sanchez J.C.D., Migliavacca D., Binotto R.B., Fachel J.M.G., *Fuel*, 7 (1999) 1539 – 1546.
6. Walling D.E., Russell M.A., Webb B.W., *The Science of the Total Environment*, 266 (1) (2001) 113 – 123.
7. Belhanachi A., Etude hydrologique et hydro chimique dans les bassins versants du Nord-Est Algérien "Bassin de la Seybouse, Kébir Est, Kébir Ouest et Saf Saf". Mémoire de Magister, Université d'Annaba, (2003).
8. Merzoug D., Khiari A., Aït Boughrouss A., Boutin C., *Hydroécologie Appliquée*, 17 (2010) 77-97.
9. Djabri L., Ferrah Y., Bouhsina S., Cazier F., Hani A., Djabri Y., Pulido Bosch A., Same H., *Etats de la qualité des eaux en Algérie : cas des cours d'eau en région méditerranéenne (Kébir est, Seybouse et Medjerda)*, (extrême est algérien). XII Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil Cherbourg, (2012).
10. Debieche T. H., Évolution 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, de l'univ. De Franche-Comté, (2002) 200.
11. Blayac J., Esquisse Géologique du Bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines. Cartes et coupes Géologiques, (1912) 491.
12. Ghachi A., Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie : le bassin de la Seybouse, Alger, O.P.U, (1986).
13. Agence de Bassin Hydrographique Constantinois- Seybouse-Mellegue (ABHCSM). *Le Bassin de la Seybouse*. Les Cahiers de l'Agence. Numéro 1. (1999).
14. Djabri L. Hani A., Messadi D., Mania J., Mudry J., *Tribune de l'eau* 54 (2001) 29-4.
15. Rodier J., Beuffr H., Bournaud M., Broutin J. P., Geoffray Ch., Kovacsik G., Laport J., Pattee E., Plissier M., Rodi L., Vial J., L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 7e édition. Ed. Dunod, (1984).
16. Karrass L., Chahlaoui A., *Biomatec Echo*, 03 (6) (2009) 6 – 17.
17. Dussart B., Limnologie : Etude des eaux continentales. Gauthier-Villars., ed., Paris, (1966).
18. Bermond R., Vuichard R., Les paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française, Paris, (1973) 179.
19. Meybeck M., Friedrich G., Thomas R., Chapman D., Rivers. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2^{ed}. E & FN Spon, London, (1996).
20. Derwich E., Benaabidate L., Zian A., Sadki O., Belghity D., *Larhyss Journal*, 08 (2010) 101-112.
21. Rejsek F., Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques. Série Sciences et technique de l'environnement, (2002) 360.
22. Brahimi A., Chafi A., *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (5) (2014) 1671-1682.
23. Chapman D., Kimstach V., Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, (1996).
24. Lgourna Z., Warner N., Bouchaou L., Boutaleb S., Tagma T., Hssaisoune M., Ettayfi N., Vengosh A., *Mor. J. Chem.* 2 N°5 (2014) 447-451
25. Chahboune M., Chahlaoui A., Zaid A., Mehanned S., Ben Moussa A., *Mor. J. Chem.* 2 N°5 (2014) 427-433.
26. El Oumlouki K., Moussadek R., Zouahri A., Dakak H., Chati M., El amrani M., *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (S2) (2014) 2365-2374.
27. Vilain M., *La production végétale: la maîtrise de technique de la production*. ED. Lavoisier (ed.J. Bailliére). Vol 2. Paris- France. voisines.- Cartes et coupes Géologiques, (1989) 491.
28. Guergazi S., Yahiaoui K., Amimeur D., Achour S., *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (S2) (2014) 2354-2358.
29. Benchaar C., Apport de l'analyse en composantes principales dans l'explication des mécanismes hydro chimiques des oueds Seybouse, Kébir Est et Kébir Ouest (Est Algérien). Mémoire de Magister. Université d'Annaba, (1999) 177.

(2015); <http://www.jmaterenvironsci.com>