

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : sciences de la terre et de l'univers

Filière : Sciences de la terre

Spécialité/Option: Hydrogéologie et Géothermie

Département: Science de la Nature et de la Vie et Science de la terre et de l'Univers

Thème :

**Bassin versant de la moyenne Seybouse
pollution des eaux de surface approche qualitative et cartographique**

Présenté par :

- ✓ MEKAOUI Abdel Hafidh
- ✓ BENNOUR Salah Eddine

Devant le jury composé de :

Président: M ^{me} DJERAB Muriel	M.C.B	Université de Guelma
Examineur : M ^{me} KACHI Nora	M.C.B	Université de Guelma
Encadreur : M ^{me} BENNACER Leila	M.A.A	Université de Guelma

Juin 2016

Remerciements

Tout d'abord, nous commençons par remercier le bon Dieu qui nous a dotés de la volonté, du courage et surtout de la patience pour produire ce travail et qui nous a aidés à faire face à toutes les difficultés rencontrées lors de son élaboration.

Nos sincères remerciements vont à nos parents qui ont sacrifié leur vie pour notre éducation et à nos professeurs qui ont sacrifié leur temps pour cette formation, durant nos études.

Nous exprimons notre reconnaissance à notre encadreur : **M^{me} BENNACER Leila**, pour leur encadrement tout le long de ce projet et pour leur aide, orientation et conseil très efficace.

Notre remerciements vont également à :

M^{me} Djerab Muriel, pour l'honneur qu'il m'a fait de présider le jury.

M^{me} Kachi Nora, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à remercier l'ensemble du corps professoral de notre Master « Hydrogéologie et Géothermie » qui nous a inculqué des connaissances théoriques et pratiques non négligeables dans le cadre de notre formation.

Enfin, nos remerciements vont à tous ceux qui ont participé, de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail.

À tous, Nous disons merci.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

Aux personnes les plus chères au monde à mes yeux et dans mon cœur, et sans leur soutien et leur générosité, je n'aurais pu atteindre mes objectifs,

- à ce qui ont témoigné tant de bienveillance depuis mon arrivée au monde et qui m'ont appris de suivre toujours le droit chemin,

- à ceux qui, durant toutes ces années ont fait mon existence, leur soutien et leurs conseils dont les mots me font d'ailleurs défaut pour exprimer à bien la gratitude que je leur dévoue, car ils méritent tout ce qu'il y a de plus beau,

À ma MÈRE et mon PÈRE.

À mes frères et ma sœur et leur enfant qui ont formé un entourage familial idéal. À toutes ma famille et mes amis.

À tous ceux qui m'aiment et ceux que j'aime.

BENNOUR Salah Eddine.

DÉDICACE

A :

- Mon père et ma mère...

- Mes frères et ma sœur...

- Toute ma famille...

- Mes chers enseignants...

- Tou(te)s mes ami(e)s, Et à toute la promotion 2015/2016

De l'hydrogéologie.

- Tous les gens que j'aime et qui m'aiment

Je dédie ce travail

ΜΕΚΑΛΟΥΙ Α. ΕΛΗΑΦΙΟΥ

الملخص

ان تلوث المياه هو مفهوم دائم التطور, أصبح يشكل في يومنا هذا خطرا حقيقيا يهدد البيئة ومن ثمة صحة الانسان.

بسبب المناخ الجيد والموقع الجغرافي المناسب الذي يتميز به مستجمع(حوض) المياه لوادي سييوس في ولاية قالمة, استغل هذا الأخير في مجالات ساهمت بشكل كبير في تدني نوعية المياه فيه, هذه المجالات هي : الزراعة, التوسع الحضري والصناعة.

من خلال نتائج التحاليل الفيزيوكيميائية المتحصل عليها وبعد تطرقنا لعدة خطوات لمعالجتها (رسم بياني-أداة احصائية و رسم خرائط) مكنتنا من أن نستنتج أن تركيز المعنوية لمياه وادي سييوس سببها جيولوجي و أيضا بشري. هذه المياه من نوعية كيميائية كلوري-كلسية.

انشاء خرائط التلوث أظهرت وجود نسب كبيرة من الفوسفات في مياه سييوس, الذي أدى الى اغناء هذا الأخير بالمغذيات نتيجة لأسباب عديدة للتلوث مثل صرف المياه المستعملة المنزلية و رشح أو غسيل الأراضي الفلاحية.

التلوث العضوي و/أو الغير عضوي المتمثل في القيم العالية ل DBO5 و DCO يعود الى صرف المياه المستعملة المنزلية, التلوث الناتج عن الفلاحة يتمثل في القيم العالية ل(الفوسفات و النترات) خاصة في أسفل وادي سييوس.

الكلمات المفتاحية : مستجمع(حوض) المياه, الفيزيوكيميائية, وادي سييوس, المعنوية, التلوث, المغذيات.

Résumé :

La pollution des eaux est une notion qui est en constante évolution. Elle constitue aujourd'hui une véritable menace pour l'environnement et bien sûr pour la santé de l'homme.

À cause de leur bonne caractéristique hydroclimatique et surtout de leur situation géographique, le bassin versant topographique de la moyenne Seybouse est sollicité par des domaines qui contribuent à la détérioration de leur eau : l'agriculture, l'urbanisation et l'industrie.

Les résultats des analyses physico-chimiques obtenus sont traités par différentes méthodes : diagramme, outil statistique et cartographie permettent de conclure que la minéralisation des eaux de la Seybouse est d'origine géologique et même anthropique, ces eaux ont du faciès Chloruré calcique.

L'établissement des cartes de pollution montre des teneurs excessives en *phosphates* dans l'oued Seybouse, ce qui conduit à une eutrophisation de ce milieu, ces fortes teneurs ont des origines multiples telles que les rejets des eaux usées domestiques et le lessivage des terres agricoles.

La pollution organique et/ou inorganique de ce cours d'eau, représenté par des valeurs élevées de la DBO5 et la DCO et s'expliquent par les rejets domestiques, la pollution d'origine agricole représentée par les fortes teneurs en nutriments (phosphates et nitrates) surtout en aval de la Seybouse.

Mots clés : Bassin versant, physico-chimiques, Oued Seybouse, Minéralisation, Pollution, Eutrophisation, Nutriments.

Abstract:

The water pollution is a notion which is constantly evolving. She it constitutes a real threat for the environment and of course for the health of the humans.

Because of their good hydroclimatic characteristic and especially of their geographical situation, the topographic watershed of average Seybouse is requested by domains which contribute to the deterioration of their water: the agriculture (farming), the urbanization and the industry.

The results of the physico-chemical analyses obtained are handled by various methods; diagram, statistical tool and mapping allow concluding that mineralization of waters of Seybouse is of even anthropogenic and geologic origin; these waters have of the Chlorinated calcic facies.

The establishment of the maps of pollution shows excessive contents in phosphates in the oued Seybouse, what leads drives to an eutrophication of this environment; these high contents have multiple origins such as the domestic wastewater disposals and the washing of farmlands.

The organic and/or inorganic pollution of this stream, represented by high values of the DBO5 and the DCO and are understandable by the domestic rejections, the pollution of agricultural origin represented by the strong contents in nutriments (phosphates and nitrates) especially downstream to Seybouse.

Keywords: Topographic watershed, physico-chemical, Oued Seybouse, Mineralization, Pollution, Eutrophication, Nutriments.

Liste des figures

Figure 1 : Types de cours d'eau (Centre d'information topographique, 2004.).....	6
Figure 2: Illustration photographique des principales formes de cours d'eau.....	8
Figure 3: Carte Situation géographique du bassin versant de la Seybouse et ses principaux sous bassins versants (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).....	39
Figure 4 : Carte de situation géographique de la zone d'étude (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).....	41
Figure 5: Détermination de la Surface et le Périmètre du Bassin Versant avec « ArcMap »	42
Figure 6: Détermination de la longueur de thalweg principal à partir de « ArcMap»	43
Figure 7: Carte hypsométrique du bassin versant de la moyenne Seybouse	45
Figure 8: Carte de classes des pentes du bassin versant de la moyenne Seybouse (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016)	46
Figure 9: profil en long de l'Oued Seybouse (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016)....	47
Figure 10: Carte du réseau hydrographique du bassin versant de la moyenne Seybouse (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016)	48
Figure 11 : Carte de situation géographique de la zone d'étude	49
Figure 12 : Carte de localisation de la station pluviométrique de Guelma.....	54
Figure 13 : Carte des précipitations annuelles du Nord-Est de l'Algérie – ANRH.....	55
Figure 14 : Pourcentage saisonniers des précipitations pour la période de 2002 à 2015. (BENNOUR S.E & MEKAOUI A.H, 2016)	57
Figure 15: Répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma (2002-2015).....	58
Figure 16: Précipitations moyennes annuelles à la station de Guelma (2002-2015)	59
Figure 17 : Répartition moyenne mensuelle interannuelle de la température à la station de Guelma (2002-2015).	60
Figure 18: Variations des températures mensuelles moyennes, minimales et maximales de la station de Guelma (2002-2015).....	61
Figure 19 : Variation de températures annuelles à la station de Guelma (2002-2015).....	62
Figure 20: Diagramme Pluvio-thermique de GAUSSEN de la région de Guelma.....	63
Figure 21 : Position de la station de l'ONM de Guelma sur le Climagramme d'EMBERGER.	65
Figure 22 : Représentation graphique des paramètres du bilan hydrique (2002-2015).....	67
Figure 23: Carte de la géologie de la zone d'étude.....	74
Figure 24 : Géométrie de l'aquifère.....	77
Figure 25: Carte d'inventaire des points de prélèvement (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).....	81
Figure 26 : prélèvement de l'échantillon au niveau de la 3 ^{ème} station.	81
Figure 27 : Mesure in situ.....	82
Figure 28: Conservation et transport des échantillons.	82
Figure 29 : Le spectrophotomètre.....	89
Figure 30 : Le réacteur de DCO.....	89
Figure 31: La DBO mètre (Labo d'hydrogéologie Constantine).	90

Figure 32: Spectrophotomètre DR 2000. Labo hydrogéologie Constantine	91
Figure 33: Représentation des faciès chimiques des eaux avec Diagramme de PIPER. .	95
Figure 34: Représentation des faciès chimiques des eaux avec Diagramme de STABLER.	97
Figure 35 : Carte des faciès chimique des eaux de la Seybouse (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).....	98
Figure 36: Représentation graphique de l'ACP selon les axes F1 et F2.....	103
Figure 37: Evolution de la température de l'eau et de l'air dans les cinq stations.	104
Figure 38: Evolution du pH dans les cinq stations.....	105
Figure 39 : Evolution spatiale de la Conductivité électrique dans les cinq stations.....	106
Figure 40 : Carte de l'évolution spatiale de l'O₂ dissous dans les cinq stations (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).	108
Figure 41 : Carte de Synthèse des éléments physiques	109
Figure 42: Variations spatiales des teneurs en calcium des eaux de l'Oued Seybouse..	111
Figure 43: Variations spatiales des teneurs en Magnésium des eaux de l'Oued Seybouse.	112
Figure 44: Variations spatiales des teneurs en Sodium des eaux de l'Oued Seybouse. .	113
Figure 45: Variations spatiales des teneurs en Potassium des eaux de l'Oued Seybouse	113
Figure 46 : Carte de synthèse des cations	114
Figure 47: Variations spatiales des teneurs en Chlorures des eaux de l'Oued Seybouse.	115
Figure 48: Variations spatiales des teneurs en Sulfates des eaux de l'Oued Seybouse..	116
Figure 49 : carte de la géologie de la région d'Héliopolis extrait de la carte géologique de Guelma par J-M Vila (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).	116
Figure 50: Variations spatiales des teneurs en Hydrogénocarbonates des eaux de l'Oued Seybouse.	117
Figure 51 : Carte de synthèse des anions	118
Figure 52: Carte de l'évolution spatiale de la DBO₅ des eaux de l'Oued Seybouse (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).	120
Figure 53: Carte de l'évolution spatiale de la DCO des eaux de l'Oued Seybouse (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).	122
Figure 54: Carte de l'évolution spatiale des teneurs en Nitrates dans les eaux de l'Oued Seybouse (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).	124
Figure 55: Cycle de l'Azote dans les rivières.	125
Figure 56: Carte de l'évolution spatiale des teneurs en phosphates dans les eaux de l'Oued Seybouse (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).	127
Figure 57 : carte de pollution globale des eaux des cinq stations	128
Figure 58: Classification des eaux de l'oued Seybouse a l'irrigation d'après le diagramme de Riverside (Avril 2016).....	130
Figure 59 : Classification des eaux d'oued Seybouse a l'irrigation d'après le diagramme de Wilcox (Avril 2016)	132

Liste des tableaux

Tableau 1: Classification des eaux selon la conductivité (Rodier, 2000).....	14
Tableau 2. Classification des eaux selon la dureté (Rodier, 2000)	16
Tableau 3 : caractéristiques géométrique du bassin versant de la moyenne Seybouse	42
Tableau 4 : Caractéristiques géographiques de la station météorologique de Guelma	53
Tableau 5: Evolution du coefficient pluviométrique (2002/2015).....	56
Tableau 6: Répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma	58
Tableau 7 : Les précipitations moyennes annuelles à la station de Guelma (2002 – 2015) ...	59
Tableau 8: Moyennes mensuelles de la température de l'air à la station de Guelma.....	60
Tableau 9: Valeurs des températures enregistrées à la station de Guelma. (2002-2015)	61
Tableau 10: Moyenne annuelle des températures de l'air à la station de Guelma (2002-2015).....	62
Tableau 11: Récapitulation des données de la température à la station de Guelma.	63
Tableau 12: Bilan hydrique selon Thornthwaite dans la station de Guelma.	67
Tableau 13 : Les différentes composantes du bilan hydrique	69
Tableau 14: Balance ionique des éléments majeurs de chaque échantillon.....	94
Tableau 15: Faciès chimiques des eaux selon la méthode de STABLER.....	96
Tableau 16: Valeurs propres (ACP des eaux de surface de la moyenne Seybouse).....	99
Tableau 17: Tableau de la matrice de corrélation (ACP des eaux de surface de la moyenne Seybouse).	100
Tableau 18: Corrélations entre les variables actives avec les facteurs :	102
Tableau 19 : Résultats des paramètres mesurés in situ de chaque échantillon.	104
Tableau 20: des résultats des analyses pour les éléments minéraux majeurs.....	110
Tableau 21 : Résultats des paramètres révélateurs de la pollution.	119
Tableau 22: Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R (M. Louvier, 1976- B.R.G.M).....	131

Liste des abréviations

ABH : Agence des Bassins Hydrographiques

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

SIG : Système d'Information Géographique

DBO : La demande biochimique en oxygène

DCO : La demande chimique en oxygène

DEM : Digital Elevation Model

DHW : Direction de l'Hydraulique de Wilaya

DPAT : la direction de la Planification et de l'Aménagement du territoire

ETP : Evapotranspiration Potentielle

ETR : Evapotranspiration Réelle

Hab. : Habitants

INCT : Institut National de Cartographie et de Télédétection

ONM : Office National de la météorologie

RFU : Réserve Facilement Utilisable

RGPH : Recensement général de la Population et de l'Habitat

ERI : les eaux résiduaires industrielles

Table des matières

TABLE DES MATIERES

Remerciements	
Dédicaces	
Résumés	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Abréviations	
Introduction générale.....	1
<i>Chapitre I</i>	<i>Etude bibliographique de la pollution</i>
Introduction	4
1. Définition des cours d'eau	4
1.1 Autres définitions :	4
1.2. Différents types de cours d'eau :	5
1.3 Les éléments de cours d'eau	6
1.4 Rôle et importance des cours d'eau	7
2. La qualité des cours d'eau	8
3 La pollution des eaux de surfaces	9
4 Définition de la pollution	9
4.1 Les avertissements caractéristiques de la pollution.....	9
4.2 Les eaux de surface.....	10
5 Les paramètres de la qualité d'eau	12
5.1. Paramètres organoleptiques	12
5.2. Paramètres physico-chimiques	13
5.3. Les paramètres organiques.....	16
5.4. Les paramètres indésirables	17
5.5 Les paramètres toxiques	17
6 L'origine de pollution des eaux de surface.....	19
6.1 Origine urbaine.....	19
6.2 Origine naturelle.....	19
6.3 Origine humaine	20
7. Classification des polluants	22
7.2 Matière soluble ou insoluble	23
7.3 Matière toxique ou non	23
7.4 Matière inerte ou vivant.....	23
8 Types des polluants	23
8.1 Pollution physique	23
8.2 Pollution chimique	24
8.3 Pollution organique	26
8.4 La pollution microbiologique	27

9	Mesure de pollution.....	27
9.1	Analyse physique	27
9.2	Analyses chimiques.....	30
10.	Les impacts de la pollution de l'eau (sur l'eau)	34
10.1	Une diminution de la teneur en oxygène dissous	34
10.2	La présence des produits toxiques	34
10.3	Une prolifération d'algues	34
10.4	Une modification physique du milieu récepteur	34
10.5	La présence des bactéries ou de virus dangereux.....	35
11	Les impacts de la pollution de l'eau sur la santé humaine (les maladies hydriques)	35
12	La protection de l'eau et lutte contre la pollution	35
	Conclusion.....	36

Chapitre II

Cadre général

	Introduction	37
1.	Description du bassin versant de la Seybouse	37
1.1	Situation géographique:	37
1.2	Les sous bassins de la Seybouse :	38
2.	Description du bassin versant de la moyenne Seybouse.....	39
2.1.	Situation géographique de la zone d'étude :	40
2.2.	Caractéristiques morpho métriques générales du bassin	42
2.2.1.	Surface (A), Périmètre (P) et longueur de thalweg principal (L) :	42
2.2.2.	Forme du Bassin	43
2.3.	Aperçu géomorphologique.....	44
2.4.	Le réseau hydrographique:.....	47
2.5.	Aspects socio-économiques	50
2.5.1.	Population	50
2.5.2.	Les activités	50
2.5.2.1.	Industrielles	50
2.5.2.2.	Agricoles.....	51
2.5.2.3.	Tourisme	51
2.5.3.	Végétations	52
2.5.4.	Pédologie	52
2.5.5.	Sismicité.....	52
3.	Climatologie.....	52
	Introduction	52

3.1	Analyse des paramètres climatiques	53
3.1.1	La pluviométrie	55
3.1.1.1	Coefficient pluviométrique (CP).....	55
3.1.1.2	Répartition saisonnière des précipitations.....	57
3.1.1.3	Répartition moyennes mensuelles des précipitations	57
3.1.1.4	Répartition moyennes annuelles des pluies	58
3.1.2	Evolution des Températures	60
3.1.2.1	Répartition des températures moyennes mensuelles interannuelles.....	60
3.1.2.2	Variations des températures mensuelles moyennes, minimales et maximales.....	61
3.1.2.3	Répartition des températures moyennes annuelles (2002-2015)	62
3.2	Diagramme Pluvio-thermique de GAUSSEN	63
3.3	Climagramme d'EMBERGER.....	64
3.4	Calcul des paramètres du bilan hydrologique	65
3.4.1	L'évapotranspiration	66
3.4.1.1	L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	66
3.4.1.2	L'évapotranspiration réelle (ETR) (Thornthwaite)	66
3.4.2	Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU)	66
3.5	Etablissement du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite.....	67
3.5.1	Interprétation du Bilan hydrique	67
3.6	Ruissellement	68
3.7	Infiltration	68
4.	Géologie et Hydrogéologie.....	69
	Introduction	69
4.1	Cadre géologique de la moyenne Seybouse.	69
4.1.1	Stratigraphie.	69
4.1.1.1	Trias	69
4.1.1.2	Néritique	70
4.1.1.2.1	Jurassique.....	70
4.1.1.2.2	Crétacé.....	70
4.1.1.3	Domaine des nappes.....	70
4.1.1.3.1	La nappe Numidienne.	70
4.1.1.3.2	Domaine des flyschs.....	70
4.1.1.3.3	Nappe ultra tellienne.	71

4.1.1.3.4	Nappe Tellienne.....	72
4.1.1.4	Le Mio-Pliocène.....	72
4.1.1.5	Le Quaternaire.....	72
4.1.1.5.1	Le Quaternaire ancien.....	72
4.1.1.5.2	Le Quaternaire actuel.....	73
4.2	Reconstitution paléogéographique.....	75
4.3	Schéma structural.....	75
4.3.1	Phase Préabonienne.....	75
4.3.2	Phase tangentielle Tortonienne.....	75
4.3.3	La néo-tectonique post-tortonienne.....	75
4.4	La tectonique.....	76
4.5	Hydrogéologie.....	76
4.5.1	Nappe de Guelma.....	76
4.5.2	Les grands ensembles hydrogéologiques.....	77
Conclusion.....		78
Chapitre III		Matériels et méthodes
1.	Méthodes et stratégie de travail.....	80
1.1.	Échantillonnage et modes de prélèvements.....	80
1.2.	Mesures <i>in situ</i> et transport.....	82
1.3.	Analyse physico-chimique au laboratoire.....	83
A.	Les éléments majeurs.....	83
B.	les éléments indicateurs de pollution.....	88
Chapitre IV		Hydrochimie
Introduction.....		93
1.	Qualité des données.....	93
1.1	Analyse des balances ioniques – contrôle de la cohérence des résultats.....	93
2.	Détermination des faciès chimiques.....	94
2.1	Représentation graphique des faciès hydrochimiques.....	94
2.1.1	Classification de Piper.....	95
2.1.2	Formule caractéristique de STABLER.....	96
3.	Analyses en composante principale (ACP).....	99
3.1	Valeurs propres.....	99
3.2	Matrice de corrélation.....	100
3.3	Interprétations de l'ACP.....	101

3.3.1	Corrélation variables/facteurs	101
3.3.2	Cercle F1-F2, Plan F1-F2.....	102
4.	Résultat et discussion.....	104
4.1	Paramètres physico-chimiques.....	104
4.1.1	Mesure in situ	104
4.1.1.1	Température de l'eau	104
4.1.1.2	Potentiel hydrogène (pH)	105
4.1.1.3	Conductivité électrique (CE)	106
4.1.1.4	Oxygène dissous	107
4.1.2	Éléments minéraux majeurs.....	110
	Tableau 20: des résultats des analyses pour les éléments minéraux majeurs	110
1.1.1.1	Cations	110
1.1.1.1.1	Calcium (Ca ²⁺).....	110
1.1.1.1.2	Magnésium (Mg ²⁺)	111
1.1.1.1.3	Sodium (Na ⁺).....	112
1.1.1.1.4	Potassium (K ⁺)	113
1.1.1.2	Anions	115
1.1.1.2.1	Chlorures (Cl ⁻)	115
1.1.1.2.2	Sulfates (SO ₄ ²⁻)	115
1.1.1.2.3	Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	117
1.1.2	Paramètres de pollution.....	119
1.1.2.1	Demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	119
1.1.2.2	Demande chimique en oxygène (DCO).....	121
1.1.2.3	Nitrates (NO ₃ ⁻)	123
1.1.2.4	Phosphates (PO ₄ ⁻²)	126
2.	Aptitude des eaux d'oued Seybouse à l'irrigation	129
2.1	Risque de sodicité et de salinité	129
2.1.1	Diagramme de Riverside :	129
2.1.2	Diagramme de WILCOX :	131
	Conclusion.....	132
	Conclusion générale et recommandations.....	134
	Références Bibliographiques	
	Annexes	

Introduction générale

« On a créé de l'eau toute chose vivante » (Coran).

L'eau est une richesse naturelle essentielle pour l'homme et la terre; sans l'eau, la terre ne serait qu'une planète morte, et aucune vie humaine, biologique, ou animale n'existerait.

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Ces derniers ont produit une modification chimique de l'eau en la rendant impropre aux usages souhaités.

Force est donc de recourir, tant pour l'eau potable que pour l'eau industrielle, aux eaux de surface, eaux des rivières et des lacs. Ces dernières, encore relativement propres à un temps pas très loin, sont malheureusement exposées de plus en plus à la pollution, sous la forme de rejets d'effluents industriels ou domestiques, et deviennent progressivement impropres à tout usages, sans un traitement préalable pouvant être compliqué et souvent onéreux.

En Algérie, les ressources en eau constituent l'une des principales richesses sur lesquelles repose la réussite du développement économique et social. Ce développement appelle par ailleurs, un accroissement considérable des disponibilités en eau pour répondre aussi bien aux besoins de la population que pour satisfaire ceux de l'activité économique.

En outre, il convient de noter que l'augmentation de la consommation d'eau constitue l'un des indices significatifs de l'amélioration des conditions de vie.

L'Algérie se caractérise par un climat semi-aride, voire même aride, ce qui engendre des ressources en eaux limitées et non réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, ou bien de leur quantité ou de leur qualité.

La pollution des eaux de surface continue de poser un problème sérieux pour l'homme et son environnement. Avec les changements climatiques et le développement industriel et agricole, le contrôle et la surveillance de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines devraient susciter un intérêt particulier. Elles doivent avoir comme objectifs majeurs la préservation de la santé de la population et le dépistage de tous les types de pollution pouvant nuire à la santé humaine.

La problématique de l'eau se traduit en termes de qualité et quantité des ressources renouvelable au moment où l'activité humaine se développe et se diversifie, induisant des

besoins de plus en plus croissants : ceci constitue l'un des enjeux majeurs du développement durable.

Cette Problématique se retrouve naturellement au niveau de la région de Guelma, et particulièrement au niveau du bassin versant de la moyenne Seybouse qui constitue notre zone d'étude, et pour bien comprendre ce problème, on a essayé de répondre ces questions :

- 1- Quel est la qualité ainsi que les caractéristiques physicochimiques des eaux de surface de la moyenne Seybouse ?
- 2- Quel est l'origine et le degré de la pollution dans notre région d'étude ?

Le bassin versant de la moyenne Seybouse offre d'importantes ressources superficielles en eau dont l'exploitation a permis de développer une multitude d'activités économiques. Cependant, l'augmentation des installations industrielles, le développement du secteur agricole et l'extension des zones urbaines provoquent une dégradation rapide de la qualité des eaux du sous bassin qui se définit par le phénomène de pollution.

Pour réduire cette pollution, il devient impératif de connaître la qualité des eaux de bassin, ce qui permet de bien caractériser la qualité de ses eaux : ceci est l'objet de la présente étude, qui constitue le couronnement de notre cursus universitaire.

Ce mémoire de Master 2 a été conçu par le Département SNV et STU de l'université de Guelma, afin d'exposer les éléments de la problématique de l'eau dans cette région : il est structuré en quatre chapitres et contient des illustrations adaptées à l'objet de l'étude afin de visualiser les résultats.

But de l'étude

Cette étude est une contribution à la détermination des caractéristiques physico chimiques des eaux de surface de la moyenne Seybouse d'une part et à l'évolution du chimisme et la pollution dans l'espace d'autre part.

A travers les analyses effectuées et les cartes établies, nous avons essayé d'évaluer la quantité de charge polluante au droit des stations d'étude du bassin de la moyenne Seybouse.

Méthodologie:

Par cette étude et afin d'arriver à notre objectif, nous avons développé quatre chapitres:

- Le premier chapitre est un aperçu théorique, consacré à une étude bibliographique sur les différentes natures de la pollution que peut subir un cours d'eau, leur origine et les principaux paramètres caractérisant sa qualité.
- Le deuxième chapitre traite le cadre naturel général de la région d'étude suivi par une description des caractéristiques du bassin de la moyenne Seybouse tel que la géologie, la climatologie, les caractéristiques géomorphologiques, les aspects socio-économiques, la

végétation, la pédologie et la sismicité, et pour bien étudier ces aspects on a utilisé le SIG (système d'information géographique) à travers plusieurs logiciels de cartographie le ArcGIS 10.3.1, le MAPINFO PRO15.0 et le Global Mapper 16.

Ainsi que l'utilisation d'un fichier DEM (Digital Elevation Model) pour le traitement de l'image satellitaire de notre région d'étude, aussi les cartes topographiques de Azzaba-Est, Guelma-Est, Souk Ahras-Ouest, Dréan-Ouest (1/50.000), les cartes géologiques de Guelma (J-M Vila), et la Mahouna (M. Daresté de la Chavanne) à l'échelle de (1/50000).

- Le troisième chapitre, décrit les différentes méthodes et le matériel utilisés : il reprend les résultats des analyses effectuées dans le laboratoire.
- Le quatrième chapitre de ce mémoire est consacré à l'hydrochimie, objectif de notre mémoire.

Pour cela, on a exploité deux logiciels :

- le logiciel Diagramme a été utilisé pour le traitement des analyses et la détermination du faciès;
- et l'XLSTAT a été utilisé pour étudier statistiquement le chimisme des eaux et la corrélation entre les éléments physico-chimiques pour définir leurs origines.

A travers les cartes de pollution établies, on a pu mettre en évidence la qualité des eaux d'Oued Seybouse et son aptitude à l'irrigation.

A la fin, une conclusion générale et des recommandations que nous pouvons envisager.

Introduction

L'eau dont nous disposons dans la nature n'est pas directement utilisable pour la consommation humaine ni pour l'industrie car elle n'est pas suffisamment pure ; lors de sa circulation à la surface de la terre, elle s'infiltré dans le sol, se pollue et se charge en matières organiques et minérales en suspension ou en solution.

La pollution de l'eau en terme générale désigne plusieurs formes d'agressions contre l'intégrité de l'écosystème aquatique, principalement causées par les activités humaines en milieu urbain, industriel ou agricole. L'activité humaine qu'elle soit industrielle, urbaine ou agricole, produit quantité de substances polluantes de toute nature : pollutions animales, pollution liées à la présence de métaux, fertilisants, pesticides ou encore à la présence de bactéries, de virus et autres champignons.... ,Ces polluants sont émises dans l'atmosphère, évacués dans les eaux usées ou épandus sur les sols et la plupart finissent par rejoindre les milieux aquatiques.

Notre étude s'articule sur la qualité et la pollution des eaux de surface du bassin versant de la moyenne Seybouse.

1. Définition des cours d'eau

Un cours d'eau est un chenal naturel d'eau dite courante, même si le courant y est très lent.

Un fleuve est un grand cours d'eau qui se jette, généralement, dans un océan ou une mer. Le grand bassin hydrographique d'un fleuve comprend une hiérarchie de bassin versant ceux de ses affluents, etc. Chaque bassin versant est séparé des autres par des lignes de partage des eaux.

Notons qu'un plan d'eau possède aussi un bassin versant, celui délimité par les cours d'eau qui y aboutissent.

1.1 Autres définitions :

De nombreux termes sont utilisés pour désigner les structures dans lesquelles l'eau s'écoule. Les principaux termes et les définitions que le dictionnaire Larousse en donne sont:

1.1.1. Cours d'eau :

Tout chenal dans lequel s'écoule un flux d'eau continu ou temporaire. Il est un terme général pour désigner un fleuve, une rivière, un ruisseau, un torrent, un oued.

1.1.2. Canal :

Un chenal artificiel creusé par l'homme et utilisé soit pour la navigation ou le flottage, soit pour l'irrigation ou l'assèchement de certaines régions. Les canaux suivent en général de longues lignes droites.

1.2. Différents types de cours d'eau :

Un cours d'eau peut porter divers noms en lien avec ses dimensions, et certaines autres caractéristiques physiques (**Figure 1**) (Centre d'information topographique, 2004).

Il existe un grand nombre de mots pour désigner les différents types de cours d'eau.

1.2.1. Ruisseau :

Petit cours d'eau, faible largeur et de longueur limitée, alimenté par des sources d'eau naturelles, souvent affluent d'un étang, d'un lac ou d'une rivière. Les ruisseaux se trouvent à la tête des bassins versants.

1.2.2. Rivière :

Cours d'eau moyennement important, à écoulement continu ou intermittent, suivant un tracé défini et se jetant dans un autre cours d'eau, un lac, une mer. Abondant, et particulièrement celui qui se jette dans un fleuve.

1.2.3. Fleuve :

Cours d'eau important, long et au débit élevé, comptant de nombreux affluents et se jetant dans la mer.

1.2.4. Oued :

Terme d'origine arabe désigne un cours d'eau temporaire dans les régions arides ou semi-arides. Son écoulement dépend des précipitations et il peut rester à sec pendant de très longues périodes.

1.2.5. Torrent :

Cours d'eau au débit rapide et régulier, situé sur une pente plus ou moins prononcée. Les torrents se trouvent sur des terrains accidentés ou en montagne. Ce terme est utilisé principalement pour désigner les cours d'eau de montagne avec un lit rocheux et encaissé.

1.2.6. Fossé :

Fosse creusé en long dans le sol servant à l'écoulement des eaux, à la séparation des terrains (ex. fossé de voie publique ou privé, fossé mitoyen, fossé de drainage).

1.2.7. Émissaire :

Canal d'évacuation des eaux de drainage.

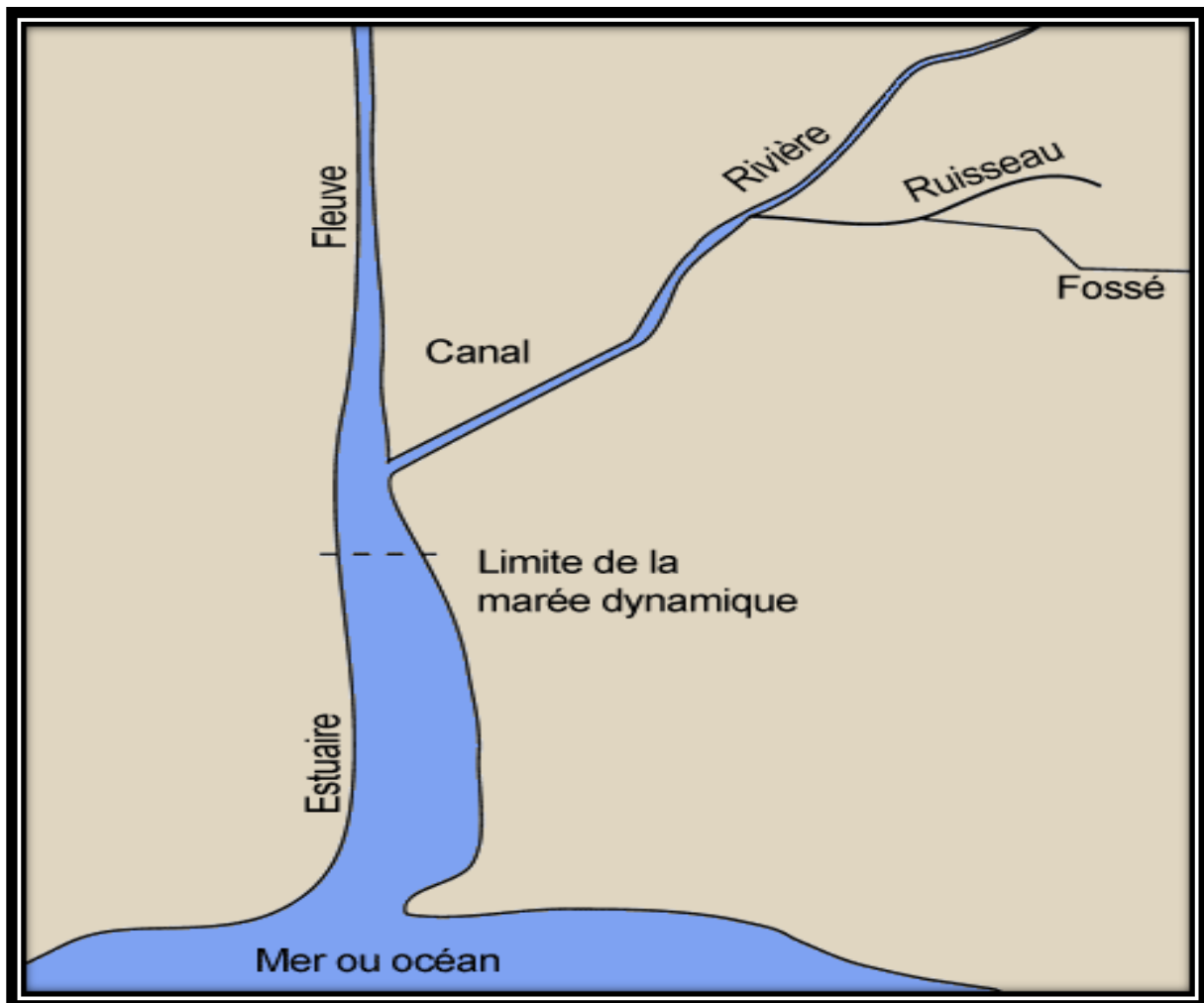


Figure 1 : Types de cours d'eau (Centre d'information topographique, 2004.)

1.3 Les éléments de cours d'eau

1.3.1 Aval amont

L'amont (vers la montagne) est la partie la plus élevée du cours d'eau du point de vue de l'observateur et l'aval (vers la vallée) est la partie la plus basse.

1.3.2 Rives gauche et droite

La rive gauche et la rive droite d'un cours d'eau sont identifiées par un observateur se déplaçant dans le sens de l'écoulement de l'eau, de l'amont vers l'aval.

1.3.3 Lit du cours d'eau

Lit : désigne tout l'espace occupé, en permanence ou temporairement, par un cours d'eau. On distingue :

Le lit mineur : lit du cours d'eau en écoulement normal,

Le lit majeur : lit qu'occupe le cours d'eau lors des crues, incluant inondées.

1.3.4 Profil

En fonction de l'altitude relevée en différents points du cours d'eau (notamment à sa source et à son embouchure) et des distances qui séparent ces différents points, il est possible de représenter le profil du fleuve. Ce tracé permet de représenter la pente du fleuve et les ruptures de dénivellation.

1.3.5 Les différentes formes des cours d'eaux

Outre la forme des réseaux hydrographiques, les cours d'eau eux-mêmes peuvent présenter diverses formes le long de leur parcours (**Gagnon, H., 1974**). Les principales formes sont illustrées dans la **Figure 2**.

1.4 Rôle et importance des cours d'eau

Outre l'importance socio-économique et culturelle associée à la pêche sportive, les cours d'eau ont une grande valeur d'un point de vue écologique. Ils contribuent grandement à la production forestière et recueillent l'eau des précipitations. Les cours d'eau constituent l'habitat de la faune aquatique et sont tout aussi essentiels pour la faune terrestre et ailée qui s'y abreuvent et en dépendent (castor, rat, musqué, loutre, vison, etc.). Une attitude responsable et respectueuse de l'environnement suggère de ne pas détourner, creuser, empiéter, abaisser ou rehausser un lac ou un cours d'eau. Les cours d'eau assurent à l'homme différents usages :

- l'alimentation en eau des collectivités et l'industrie.
- La navigation et le transport de matériaux flottants (voies navigables et flottables).
- L'irrigation des cultures et l'abreuvement du bétail.
- La production d'énergie (moulin hydroélectricité).
- La pêche et la pisciculture.
- La baignade, les activités nautiques.

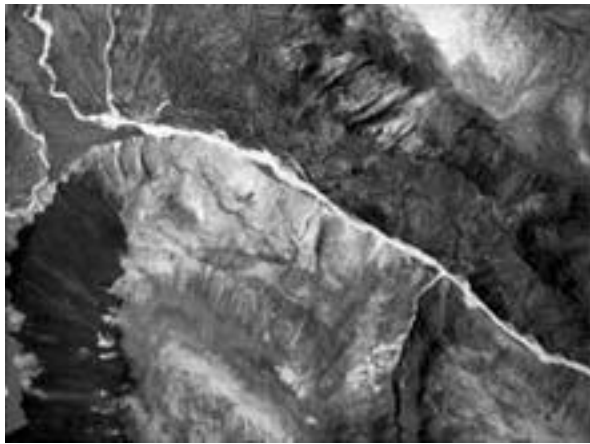
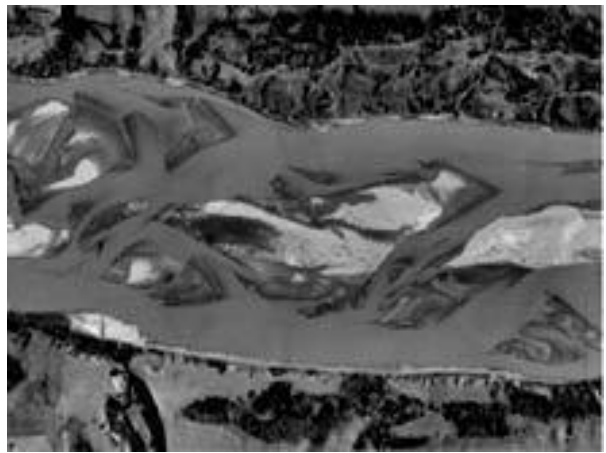
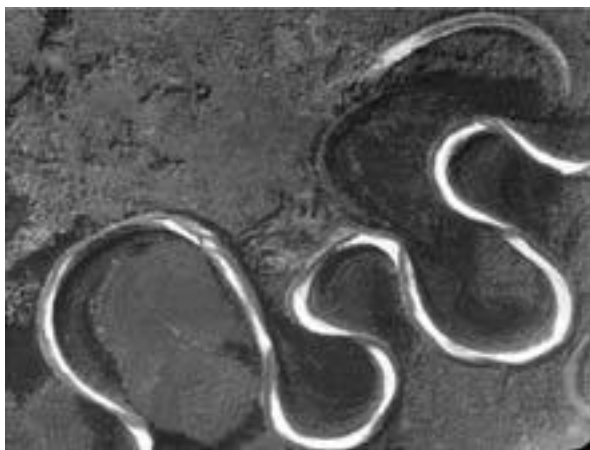
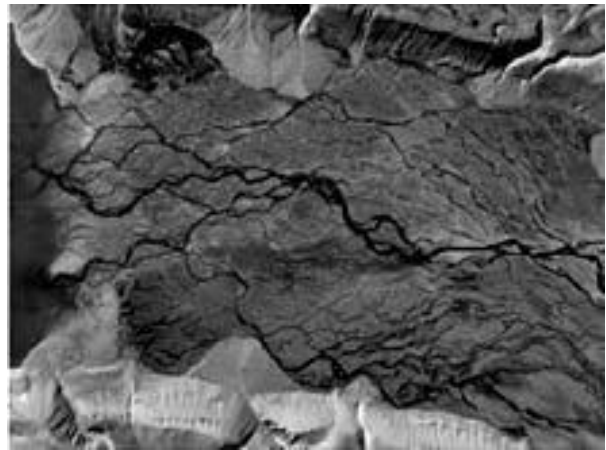
**Rectiligne****Divisé****Sinueux****En tresse****À méandres****Anastomosé**

Figure 2: Illustration photographique des principales formes de cours d'eau
(Gagnon, H., 1974)

2. La qualité des cours d'eau

La pollution des eaux peut être définie comme une dégradation de celle-ci par les éléments qu'elle a accumulés de son utilisation. Ces éléments indésirables proviennent des excréments chimiques, des rejets provenant d'industries divers, du lessivage des terrains traversés.

3 La pollution des eaux de surfaces

4 Définition de la pollution

Sous le terme générale pollution sont regroupés à l'heure actuelle, les effets nocifs qui résultant de l'action de facteurs «altérage» qu'on qualifie de pollution, quelle que soit la nature de ceux-ci. Ces polluants sont tous des sous-produits organiques et inorganiques des activités humaines: ils ont existé depuis des siècles, mais leur nocivité ne s'est exercée qu'à partir du moment où leur production massive a excédé les capacités de destruction et de recyclage des organismes décomposeurs présents dans tout écosystème, et surtout depuis que certains d'entre eux se sont révélés résistants à l'action de ces organismes.

Plusieurs définitions ont été attribuées au concept de la pollution. En 1961, l'OMS a donné la définition relative à la pollution des eaux douces «Un cours d'eau est considéré comme étant pollué si la composition ou l'état de ses eaux sont directement ou indirectement modifiés du fait de l'activité de l'homme dans une mesure telle que celle -ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir à leur état naturel, ou certaines d'entre elles».

Cette définition inclut à pied d'égalité aussi bien les modifications des propriétés physiques, chimiques biologiques que thermiques des eaux réceptrices et susceptibles de contribuer à leur dégradation, et par la même occasion à leur possibilité d'utilisation : alimentation des agglomérations urbaines, activités agricoles et industrielles, pêche, navigation, agrément de la population (OMS 1966).

Cela dit, le terme pollution peut être défini comme suit : « C'est une modification défavorable du milieu naturel qui apparait en totalité ou en partie comme un sous critère de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico -chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et autres produits biologique. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature »

4.1 Les avertissements caractéristiques de la pollution

4.1.1 Les avertissements physiques

Les avertissements physiques de la pollution sont les particules en suspension, les pellicules flottantes d'huiles et de substances similaires, les dépôts de particules de graisses. On reconnaît les eaux polluées par la turbidité, la température, l'odeur, la saveur, le Ph, la teneur en oxygène dissous (Beaudry 1984)

4.1.2 Les Avertissements chimiques

Les avertissements chimiques de la pollution sont la valeur de la demande biochimique en oxygène (DBO), la valeur de la demande chimique en oxygène (DCO) substance radioactives (Beaudry, 1984).

4.1.3 Les avertissements microbiologiques

Les avertissements microbiologiques sont le fait d'une eutrophisation caractérisée par un «*bloom* » aussi bien planctonique que les plantes et animaux supérieurs. (Beaudry, 1984).

4.2 Les eaux de surface

4.2.1 Définition des eaux de surface

Les eaux de surface englobent toutes les eaux des rivières et des lacs, ces dernières sont entretenues par les précipitations, mais non sans que ces eaux aient parcouru champs et bois ou se soient infiltrées dans les couches superficielles du sol pour atteindre les nappes phréatiques, lors de fortes pluies ou à la fonte de neige. Le ruissèlement de surface conditionne fortement la nature des contaminants naturels de ces eaux de surface, notamment en qui concerne les matières en suspension. Les eaux souterraines émergentes, d'autre part, assurent les débits de base des cours d'eau et leur caractère physico-chimique.

On trouve donc inévitablement dans les eaux de surface une gamme étendue de solutés. Comprenant les gaz de l'atmosphère, des cations divers, dont les plus abondants sont le calcium, le magnésium, le sodium, des anions tels que les sulfates, le chlorure, le carbonate hydrogène, ainsi que d'autres ions en quantité mineure ou en traces. Viennent s'y ajouter des matières colloïdales ou organiques, y compris les matières uniques responsables de la coloration de l'eau.

Les eaux de surface sont, de plus, des milieux propices à la vie, d'où la présence d'algues, protozoaires, bactéries, etc.

4.2.2 Caractéristique de la pollution des eaux de surface

4.2.2.1 Introduction

La pollution des eaux de surface est due à plusieurs facteurs dont l'activité industrielle, l'activité agricole, le déversement des effluents domestiques et industriels.

L'eau dont nous disposons dans la nature n'est pas directement utilisable pour la consommation humaine ni pour l'industrie car elle n'est pas suffisamment pure ; lors de sa

circulation à la surface de la terre, elle s'infiltré dans le sol ou se mélange à celle des précipitations, se pollue et se charge en matières organiques et minérales en suspension ou en solution.

4.2.2.2 Composition des eaux de surface

L'eau pure n'existe pas dans la nature, les eaux brutes contiennent toujours de nombreuses substances naturelles provenant de l'activité humaine. Les substances présentes dans l'eau peuvent être classées, selon deux modes différents :

- **Composition chimique**

- a- **Les matières minérales**

Ce sont essentiellement des composés ioniques (anions et cations), qui proviennent des eaux ayant circulé largement sur des roches ; ces dernières vont voir leur teneur augmentée variant du milligramme par litre (mg/l) au gramme (g/l) pour les eaux les plus salées, et à moyenne concentration (du microgramme ou milligramme par litre) et d'autres éléments ne sont présents qu'à l'état de trace (de 0,1 à 100 microgramme par litre).

- b- **Les matières organiques**

Ce sont des matières composées du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote (les acides carboxyliques et hydrates de carbone) ; elles sont caractérisées par l'oxydabilité en permanganate de potassium.

- **Composition physique**

- a- **Les matières dissoutes**

Ce sont des particules minérales ou organiques qui ont des dimensions inférieures à 10^{-3} μm . Ces matières non homogènes sont faiblement polarisées ou ionisées. Elles proviennent des roches rencontrées par l'eau au cours de sa circulation.

- b- **Les matières en suspension (MES) :**

Ce sont des particules solides dont la densité est supérieure à celle de l'eau, leur nature peut être minérale ou organique ; elles sont insolubles et visibles à l'œil nu. Elles contribuent à la turbidité de l'eau, la densité des substances organiques.

Leur présence est due au ruissellement des eaux qui arrachent aux terrains traversés des particules des roches (MES minérale).

Les MES organiques proviennent de la dégradation et de la décomposition des végétaux, des animaux, de bactéries.

Les matières en suspension sont à l'origine d'une dégradation de la qualité biologique des cours d'eau par :

- la production de sédiments et le colmatage des habitats au fond des cours d'eau.
- le transfert de substances polluantes associées aux particules.
- constitution d'une réserve de pollution potentielle dans les sédiments.
- le colmatage des branchies des poissons.
- leur effet obscurcissant (formation d'un écran empêchant la lumière de pénétrer normalement), les MES présentes dans les rivières, diminuent la photosynthèse qui contribue à l'aération de l'eau. Les organismes vivants peuvent alors manquer d'oxygène.

Les matières Colloïdales sont intermédiaire entre l'état dissous et la suspension, dont les particules solides sont invisibles à l'œil nu, de taille comprise entre 0,1 et 1 à 2 microns.

Les matières colloïdales sont en générale les argiles, les poussières atmosphériques et la silice ; elles peuvent être estimées en première approche, par la turbidité si non par la couleur de l'eau. (Brémaude ; 2006).

5 Les paramètres de la qualité d'eau

- Paramètres organoleptiques.
- Paramètres physico-chimiques.
- Paramètres organiques.
- Paramètres indésirables.
- Paramètres toxiques.

5.1. Paramètres organoleptiques

- **La couleur :**

La couleur de l'eau peut provenir de substances minérales comme le fer ou le manganèse et ou de substances organiques. La couleur est très préjudiciable pour l'esthétique.

- **L'Odeur :**

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un Signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Dans l'eau, diverses molécules sont responsables des odeurs. Elles proviennent essentiellement de la dégradation des composés azotés ou soufrés : amines, Ammoniaque. Mais la molécule qui pose le plus de problème est généralement l'hydrogène sulfuré (H₂S), qui possède une odeur caractéristique d'œuf pourri.

- **Le goût :**

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation, par certaines Substances solubles des bourgeons gustatifs.

Le goût est évalué par dilution. Avec une eau sans goût (eau de référence), cette mesure dépend de la finesse du gustatif de l'opérateur. La dégustation est effectuée en commençant par les dilutions les plus grandes jusqu'à l'apparition du goût.

- **La turbidité :**

La turbidité de l'eau vient de la présence de diverses matières en suspension telles qu'argiles, limon, matière organique et minérale en fines particules, plancton. Les matières en suspension sont définies comme étant l'ensemble du matériel particulaire entraîné passivement dans l'eau (vivant ou détritique, minérale ou organique). La turbidité correspond à la propriété optique de l'eau qui fait que la lumière incidente est diffusée ou absorbée.

Il s'agit d'un paramètre dont la signification dépend de la technique de mesure utilisée. Plusieurs mesures optiques rendent compte de la turbidité.

5.2. Paramètres physico-chimiques

- **Le pH :**

Le pH (potentiel hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimètre.

Le pH joue un rôle primordial à la fois dans :

- Les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité) ;
- Les processus biologiques dont certains exigent des limites très étroites de pH.
- L'efficacité de certains traitements (coagulation, adoucissent, contrôle de la corrosion, chloration).
- Les mécanismes de la coagulation.
- La température

Il est important de connaître la température d'une eau puisque les équilibres physiques et chimiques en solution aqueuse en dépendent : la solubilité des sels et surtout des gaz, la dissociation des sels dissous et par là même la conductivité électrique, le pH.

L'eau distribuée ne doit pas dépasser 25°C ; au-delà, les risques de contaminations bactériennes et virales augmentent (Rodier, 2000).

- **La conductivité :**

La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. Cette notion est inversement proportionnelle à celle de résistivité électrique. L'unité de mesure communément utilisée est le Siemens (S/m) exprimé souvent en micro siemens/cm (S/cm) ou milli siemens (S/cm) à une température de 20 °C.

La conductivité est directement proportionnelle à la quantité de solides (les sels minéraux) dissous dans l'eau.

Tableau 1: Classification des eaux selon la conductivité (Rodier, 2000).

Eau Pure	5500 $\mu\text{S/cm}$
Eau Distillé	0,5 $\mu\text{S/cm}$
Eau Courante	500 à 800 $\mu\text{S/cm}$
Max. pour l'eau potable	1055 $\mu\text{S/cm}$
Eau de Mer	56 mS/cm
Eau Saumure	100 mS/cm

- **Les Sulfates (SO₄⁻)**

Les sulfates (SO₄) peuvent être trouvés dans presque toutes les eaux naturelles. L'origine de la plupart des composés sulfatés est l'oxydation des minerais de sulfites, la présence de schistes, ou de déchets industriels.

Le sulfate est un des éléments majeurs des composés dissouts dans l'eau de pluie. Des concentrations importantes en sulfate dans l'eau que nous utilisons peuvent avoir un effet laxatif important combiné avec le calcium et le magnésium, les deux composés majeurs de la dureté de l'eau les normes de l'OMS suggérant un maximum de 250 mg/L en sulfates dans l'eau destinée à la consommation humaine.

- **Le Sodium (Na⁺)**

Le sodium se retrouve dans tous les types d'eaux, souterraines et de surface, à des teneurs variables. C'est un élément vital pour notre organisme : un adulte doit en absorber environ 3 g par jour. Les concentrations moyennes dans l'eau sont inférieures à 22 mg/l, à l'exception des eaux issues du traitement de la nappe du Lutétien qui sont voisines de la référence de qualité (200 mg/l). Aucune norme ne limite la concentration en sodium (ou en potassium) dans les eaux.

- **le potassium (K⁺)**

Le potassium joue un rôle dans la transmission de l'influx nerveux chez l'homme. Sa concentration moyenne varie de 2,6 à 7,7 mg/l, en fonction des ressources utilisées. Le

potassium, est rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieures à 20 mg/L. Il ne présente aucun inconvénient particulier, Il n'y a plus de valeur réglementaire pour ce paramètre.

- **Le Calcium (Ca²⁺)**

C'est un alcalin très répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Ses sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles. Leur teneur dans l'eau, qui peut varier de 1 à 150 mg/L est directement liée à la nature géologique des terrains traversés. Les sels de calcium sont obtenus en majorité lors de l'attaque des roches calcaires par l'anhydride carbonique dissous (CO₂) ; il constitue l'élément économique dominant des eaux superficielles. Le calcium est l'élément principal de la dureté de l'eau.

- **Le Magnésium (Mg²⁺)**

C'est élément très répandu dans la nature. Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle, font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes. La plupart des eaux naturelles présentent des teneurs comprise entre 5 à 10 mg/l, cette concentration est en relation directe avec la nature géologique des terrains traversés. Le magnésium dans l'eau provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes de la mise en solution de magnésium sous forme de carbonate (Mg CO₃) et de bicarbonate (Mg²⁺ HCO₃). Le magnésium contribue à la dureté de l'eau, source en être l'élément essentiel, en effet le rapport magnésium/calcium et en général inférieur à 1.

- **Le Résidu sec**

La détermination du résidu sec sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau, c'est le résidu total. Ce sont les solides dissous et les solides en suspension qui restent après évaporation à 105°C. Pour les total des solides dissous, il n'existe pas de normes en Algérie, mais selon les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, l'optimum doit être en dessous de 1000 mg/l (OMS, 2006).

- **L'oxygène dissout**

C'est la quantité d'oxygène, exprimée en mg/l, présent dans l'eau saturée d'air ; *un litre d'eau* à 20°C et sous la pression normale contient 9,1 mg/l d'oxygène. Les directives concernant l'eau destinée à la consommation préconisent que les niveaux d'oxygène dissous soient maintenus aussi près que possible de la saturation.

- **La dureté**

La dureté d'une eau est sa concentration en ions calcium (Ca²⁺) et magnésium (Mg²⁺).

- La dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium.

- La dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de Magnésium.

Elle se mesure en degrés français (°F) : 1 °F équivaut à 4 mg d'ions calcium ou 2,4 mg d'ions magnésium par litre.

Généralement, on distingue la dureté permanente et la dureté temporaire, la somme des deux étant la dureté totale.

Selon les régions et les sources, l'eau est dite très douce, douce, moyennement dure, dure ou très dure.

Tableau 2. Classification des eaux selon la dureté (Rodier, 2000)

TH (°F)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 4	+ 40
Eau	Très douce	Eau douce	Plutôt dure	dure	très dure

5.3. Les paramètres organiques

- **La demande biologique d'Oxygène (DBO)**

La DBO ou demande biologique en dioxygène est la quantité de dioxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour utiliser les substances qu'elle contient.

Il s'agit donc d'une consommation potentielle de dioxygène par voie biologique. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau naturelle polluée ou d'une eau résiduaire.

Il est utilisable :

- soit pour quantifier la charge polluante organique de l'eau
- soit pour évaluer l'impact d'un rejet sur le milieu naturel (toute matière organique biodégradable rejetée va entraîner une consommation d'O₂ au cours des procédés d'auto épuration).

La DBO est mesurée au bout de 5 jours (DBO₅), à 20 °C (température favorable à l'activité des microorganismes consommateurs d'O₂).

- **La demande chimique en Oxygène (DCO)**

La DCO ou demande chimique en Oxygène correspond à la teneur de l'ensemble des matières organiques que celles-ci aient un caractère biodégradable ou non. Elle s'exprime par la quantité d'O₂ fournie par le bichromate de potassium et nécessaire à l'oxydation des substances organiques (protéines, glucides, lipides...) présentes dans les eaux résiduaires. Donc en un mot, c'est la demande chimique en oxygène mesurée en g/litre qui exprime la quantité totale d'oxygène nécessaire pour oxyder en présence de permanganate, les substances contenues dans l'eau notamment les éléments chimiques. On a toujours un DCO > DBO car les

bactéries ne permettent pas d'oxyder les éléments organiques et chimiques les plus stables (Rodier ; 2009).

5.4. Les paramètres indésirables

Les substances indésirables contenues dans l'eau destinée à la consommation ne présentent aucun danger pour la santé humaine, mais dépassant un certain seuil, elles peuvent provoquer des désagréments surtout organoleptique, tel que le fer et le manganèse.

- **Le fer**

Le fer peut se rencontrer dans l'eau sous différentes formes ; le fer est l'élément indispensable dans la nutrition humaine et sa teneur dans l'eau de besoin n'est en générale l'unité surtout pour des raisons esthétiques économiques.

Les colmatages, qui à surtout été observé dans le cas de vieillissement des puits. Sans oublier de parler des caractéristiques organoleptiques du goût même de l'odeur provoqué par développement des bactéries ferrugineuses sans oublier l'augmentation de turbidité (jaune-marron du $\text{Fe}(\text{OH})_3$, c'est un composé de l'hémoglobine).

- **le manganèse**

Il est généralement associé au fer quoique en quantité plus faible ; c'est le Mn^{2+} qui est soluble dans les eaux naturelles bien que le manganèse présente de nombreux autres états d'oxydation.

On dose le plus souvent le manganèse totale sous forme de permanganate (MnO_4^-), cet oxydant énergétique qui est parfois utilisé en traitement de l'eau pour oxyder les matières organiques (la teneur souhaitable est $\leq 0.01 \text{ mg/L}$).

- **les matières en suspension**

Les MES sont constituées de toutes les particules organiques ou minérales véhiculées par les eaux. Elles peuvent être composées de particules de sable, de terre et de sédiments arrachées par l'érosion, de divers débris apportés par les eaux usées ou les eaux pluviales très riches en MES, d'êtres vivants planctoniques (notamment les algues).

- **Le Fluor**

Le risque du fluor n'est pas exclus dans les eaux, si les concentrations ne dépassent pas 2 mg/l et restent bien inférieures au seuil réglementaire (limite de qualité de 1,5 mg/l).

5.5 Les paramètres toxiques

- **Les nitrates**

Les nitrates sont naturellement présents dans les eaux souterraines à des concentrations généralement inférieures à 10 milligrammes par litre, suite à la décomposition de la matière

végétale et animale. Des teneurs plus élevées de nitrates dans l'eau résultent essentiellement des activités humaines.

L'épandage d'engrais azotés synthétiques ou organiques (fumiers, lisiers ou boues d'épuration) favorise l'apparition de nitrates dans l'eau.

De même, des pollutions diffuses (installations septiques déficientes, puits perdants, fuites dans le réseau d'égouttage) peuvent aussi être une source de nitrates dans l'eau.

Les teneurs en nitrates des eaux se voient augmenter à cause des effluent industriels et ou agricoles urbains, les défections humaines ou animales et les produits des déchets humains, mais la dose la plus importante est issue de l'utilisation des engrais et des rejets des eaux usées. L'OMS préconise une valeur indicatrice de 50mg/l qui ne doit pas être dépassée.

- **Les nitrites**

Les nitrites sont répandues dans le sol, les eaux et dans les plantes mais à des quantités relativement faibles ; dans les eaux de surface leur teneur n'excède rarement 1mg/l.

Une eau contenant des nitrites est considérée comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détermination de la qualité micro- biologique.

La valeur indicatrice des Nitrites par l'OMS est de 0.1 mg/l. Les nitrites oxydent l'hémoglobine dont le rôle dans l'organisme est le transport de l'oxygène O₂, en méthémoglobine. Il y a méthémoglobinémie quand le taux de la méthémoglobine atteint 10% de l'hémoglobine.

Elle devient mortelle dès que le taux est supérieur à 20%. En milieu acide (pH = 1 à 5 ; pH stomacal normal) les nitrites réagissent avec les amines primaires, secondaires et tertiaires généralement d'origine alimentaire pour donner des nitrosamines réputées cancérigènes. Les nitrates sont utilisés comme indicateurs de pollution. Ils jouent le rôle de fertilisant pour les plantes qui assimilent l'azote sous la forme NO₃. Associés aux phosphates, les nitrates favorisent la croissance parfois exagérée de la flore aquatique, pouvant ainsi entraîner une eutrophisation dans les cours d'eau Les Nitrates, nitrites et phosphates sont les éléments nourriciers des algues perturbant indirectement la présence d'oxygène qui est consommée par ces derniers. Les nitrites par leur forme réduite sont plus dangereux que les nitrates.

- **L'azote ammoniacal (NH₄⁺)**

L'ion d'azote ammoniacal se présente sous la forme toxique NH₄⁺. Sa présence dans les eaux traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique NH₄⁺, l'azote ammoniacal se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation.

L'azote ammoniacal des eaux superficielles peut avoir pour origine :

- La matière végétale dans les cours d'eau ;

- La matière organique animale ou humaine ;
- Les rejets industriels ;
- Les engrais.

Sa présence est rapprochée des autres éléments azotés identifiés dans l'eau ; l'oxydation biologique de l'ammoniaque peut développer des zones aérobie dans certaines parties des réseaux de distribution, provoquant la corrosion des conduites.

L'ammoniaque présente l'inconvénient de nécessiter une augmentation de la consommation en chlore lors de la désinfection.

- **Le phosphore**

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension à l'état minéral ou organique.

Les ions phosphates PO_4^{-3} contenus dans les eaux de surface ou des nappes peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière organique, lessivage des minéraux). La Communauté Européenne préconise comme teneur du phosphore dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 0,4 mg/L est une concentration maximale admissible de 1 mg/l exprimée en P_2O_5 . (La teneur en phosphate est $> 0,2$ mg/l). Le phosphate favorisant la prolifération des algues qui conduisent à l'eutrophisation des lacs, et des cours d'eau.

- **Les métaux lourds**

Parmi les paramètres toxiques : les métaux lourds (plomb, mercure, arsenic, cuivre, zinc et le cadmium). (Beaudry, 1984).

6 L'origine de pollution des eaux de surface

6.1 Origine urbaine

La pollution urbaine comprend les rejets domestiques solides et liquides et les déchets industriels non raccordés (Lavoisier, 1994).

Le développement des villes augmente les eaux utilisées et leur rejets, et contribue à modifier fortement le cycle de l'eau, à créer des zones de déséquilibres pour les réseaux en quantité et à provoquer une forte perturbation de la qualité des eaux (Lavoisier, 1994)

6.2 Origine naturelle

Certaines substances naturellement présentes dans l'environnement entraînent parfois des problèmes de contamination de l'eau. Des composés inorganiques comme le baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures

peuvent contaminer l'eau. L'eau souterraine est particulièrement vulnérable lorsqu'il y a présence de métaux dans les formations géologiques environnantes.

6.3 Origine humaine

Est appelée pollution anthropique cette pollution se résume en trois types d'activités :

6.3.1 Les activités domestiques

La pollution domestique de nos eaux usées urbaines (mélange d'eau vannes et d'eaux ménagères) est essentiellement constituée de matières organiques biodégradables certes, mais grande consommatrices d'oxygène, de germes pathogènes (cause d'épidémies) et de produits chimiques (lessives détergents riche en phosphates) à l'origine des phénomènes d'eutrophisation.

Par nos lavabos, nos éviers, nos salles de bains et nos WC passe chaque jour une pollution proportionnelle au nombre d'habitants. Il ne faut pas oublier par ailleurs, la pollution générée par les eaux pluviales en particulier en périodes orageuses.

L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles) puis en ruissèlement sur les toits et les chaussées des villes, de produits divers (huiles de vidange, carburants, métaux lourds, etc.).

En définitive, il faut considérer que si l'on veut éviter, sous l'effet des rejets polluants de dégrader gravement l'environnement, il est nécessaire de préserver le mieux possible notre patrimoine naturel, constitué par nos ressources en eau.

6.3.2 Les activités agricoles

Les pollutions d'origine agricole surviennent quand les cultures sont traitées en excès. Ainsi, les engrais et les pesticides (herbicides, insecticides et fongicides) représentent une menace pour la qualité des eaux s'ils sont appliqués en période de fort lessivage des sols.

Ils ne profitent pas alors aux cultures mais sont directement infiltrés (pollution diffuse) dans les sols (vers les nappes souterraines) ou évacués, par ruissellement vers les cours d'eau.

Les fumiers (excréments des animaux et litière de paille) représentent une deuxième source de pollution de l'eau d'origine agricole. Ainsi, s'ils sont lessivés par une pluie, ils peuvent être amenés à contaminer les eaux superficielles et souterraines.

Utilisation des engrais en agriculture :

La modernisation de l'agriculture et son intensification ont été généralement accompagnées d'une utilisation abusive et non rationnelle des engrais azotés. Il est admis qu'une fertilisation minérale se solde par un accroissement des rendements mais les doses

élevées appliquées. Donc généralement supérieures aux besoins réels des cultures, génèrent des excès d'azote qui peuvent entraver la production agricole par plusieurs mécanismes et polluer l'environnement.

Utilisation des pesticides en agriculture :

Les pesticides sont utilisés en agriculture pour protéger les cultures et les récoltes contre leurs ennemis afin d'augmenter les rendements. Le lessivage de ces produits phytosanitaires utilisés en agriculture entraîne la contamination des eaux par des substances toxiques (pesticide). On estime que 0.5 à 1% des produits phytosanitaires rejoignent les cours d'eau (Ministère de l'Environnement, 2001).

6.3.3 Les activités industrielles

Les activités industrielles rejettent un nombre de substances qui vont polluer nos rivières et nos nappes, parfois d'une manière intensive que l'on n'en connaît pas les effets à long terme. Selon l'activité industrielle, on va donc retrouver des pollutions aussi diverses que :

– Des matières organiques et des graisses :

C'est les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...). Ils provoquent une consommation d'oxygènes dissous de ces eaux, entraînant la mort des poissons par asphyxie et le développement (dépôts de matières organiques au fonds des rivières) de fermentation anaérobie (putréfaction) génératrices de nuisances olfactives.

– Des Hydrocarbures :

La pollution par les hydrocarbures résulte de plusieurs activités liées à l'extraction du pétrole, à son transport et en aval à l'utilisation de produits finis (carburants et lubrifiants), ainsi qu'aux rejets effectués par les navires (marées noires).

– Des Métaux lourds :

La présence des métaux lourds dans l'eau, l'atmosphère et par conséquent la chaîne alimentaire est le cas le plus intéressant parmi les problèmes posés à la pollution.

Par ordre décroissant de toxicité spécifique ; les métaux sont classés comme suit : Hg < Cr < Ti < Cu < Co < Ni < Pb < Zn.

Les métaux lourds sont susceptibles d'être métabolisés et concentrés par les organismes vivants et mis en circulation dans la chaîne alimentaire où leur toxicité augmente. L'irréversibilité de cette pollution est préoccupante du fait qu'il est impossible de les récupérer, une fois dissipés dans la nature.

– **Des Eaux chaudes :**

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries...) ; ont une température de l'ordre de (70 à 80) C°. Elle diminue jusqu'à (40 à 45) C° lorsqu'elle contacte les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène.

Tout changement de température cause des effets significatifs sur la survie des organismes aquatiques. Un abaissement important de température ralentit la plupart des réactions chimiques vitales voire les arrête.

Au contraire, des augmentations de température peuvent tuer certaines espèces, mais également favoriser le développement d'autres organismes causant ainsi un déséquilibre écologique.

– **Des Matières radioactives :**

C'est celle occasionnée par une éventuelle radioactivité artificielle des rejets qui trouvent leur source dans l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ses formes (installations et centrales d'exploitation de mine d'uranium, traitement des déchets radioactifs).

Les éléments radioactifs s'incorporent dans les molécules des organismes vivants. Plus on s'élève dans la chaîne alimentaire, plus les organismes sont sensibles aux rayonnements.

7. Classification des polluants

Si l'on cherche à classer les matières polluantes, c'est pour essayer de s'y retrouver et de bien choisir les procédés qui permettront les éliminer. La nature des matières polluantes de l'eau dépend bien sûr, de l'origine de l'eau usée. On les classe en fonction des caractéristiques décrites ci-dessous.

7.1 Matière organique ou minérale

- **Matière organique** : c'est la matière qui est principalement issue de la matière vivante (végétaux, animaux ...) et de l'industrie chimique parfois. Sa composition est structurée autour du carbone. On y trouve des sucres, des protéines, des acides organique (lactique, acétique...), des acides gras, des macromolécules comme l'amidon, la cellulose.....
- **Matière minérale** : c'est la matière qui n'est pas organique c'est-à-dire qu'elle ne contient généralement pas de carbone. Ces matières minérales sont les sels, toutes les matières structurées autour du silicium,....

On y retrouve les métaux lourds, l'ammoniac, les nitrates, les phosphates..., et le gaz carbonique (le CO₂).

7.2 Matière soluble ou insoluble

Cette matière organique ou minérale peut être sous forme soluble ou insoluble.

- **Matière soluble** : elle est dissoute dans l'eau et se trouve donc souvent sous forme d'unité chimique simple, la molécule, ou de macromolécules comme les protéines, les colloïdes...qui « flottent » dans l'eau mais que l'on ne voit pas.
- **Matière insoluble** : c'est un agrégat de matière qui se retrouve sous forme particulaire. Les particules solides peuvent, soit flotter, soit tomber en fonction de leurs densité.

7.3 Matière toxique ou non

Parmi les différentes matières présentes dans des eaux polluées, certaines ont une toxicité élevée pour le monde vivant. C'est à dire qu'à très faible concentration, elles ont un impact important sur l'équilibre du milieu naturel. Par exemple, le cyanure en très faible quantité peut avoir un effet dévastateur sur un écosystème. C'est le cas aussi de métaux lourds comme le cadmium, le mercure par exemple qui, présent en très faible quantité, modifient fortement l'équilibre des écosystèmes.

7.4 Matière inerte ou vivant

Les eaux polluées contiennent des matières organiques ou/et minérales qui n'ont donc les caractéristiques du « vivant » et que l'on peut qualifier de « matières inertes ». Mais on y trouve aussi, très souvent, des micro-organismes (des bactéries par exemple), qui sont de la matière vivante. Ces micro-organismes se développent dès que l'eau est souillée. Ils peuvent être pathogènes (donner des maladies) ou pas.

8 Types des polluants

Quelque soit l'origine de la pollution, on peut distinguer, généralement, 4 catégories ou classe de polluants : pollution physique, pollution chimique, organique et microbiologique.

8.1 Pollution physique

La pollution physique représente les éléments solides entraînés par l'eau. Ils se subdivisent en plusieurs catégories selon leur nature et leur dimension.

8.1.1 Les éléments grossiers

Leur dimension est suffisamment grande pour être retenue par de simples grilles.

Dans les eaux de surface, ces éléments sont général : les brindilles, les feuilles, les arbres....etc.

8.1.2 Les sables

Les sables sont des particules minérales d'une certaine dimension. Ils sont généralement à basse de silice ou de composition minérale équivalente. Leur masse spécifique est de 2,5 à 2,6 g/cm³, ce qui permet leur élimination par simple décantation.

8.1.3 Les matières en suspension (MES)

L'eau véhicule de fines particules de matières solides en suspension (MES) décelables pondéralement par centrifugation, filtration ou même par spectrophotométrie (Arrignon, 1998). Suivant leur densité et les caractéristiques du milieu récepteur, ces MES se déposent plus ou moins loin en aval, produisant une pollution mécanique et augmentant la turbidité des eaux.

La teneur des eaux en matières en suspension est très variable selon les cours d'eau et est fonction de la nature des terrains traversées, de la saison, des travaux et des rejets (Rodier, 1996). Elle est également le fait de l'érosion accélérée des sols à la suite de déboisement, de surcharge de pâturages ou mauvaises pratiques culturels.

La nature et la concentration des matières en suspension jouent un rôle prépondérant dans la formation de la couleur des eaux avec une diminution de leur transparence.

L'énergie lumineuse disponible pour la photosynthèse peut ainsi se trouver considérablement réduite avec des modifications quantitatives et qualitatives importantes du peuplement végétal (Leynaud & Verrel, 1980).

L'asphyxie des poissons par colmatage des branchies est souvent la conséquence d'une teneur élevée en MES (Rodier, 1996 ; Arrignon, 1998), de même que le colmatage des sédiments de fond avec asphyxie des organismes benthiques et des œufs des poissons frayant sous les graviers (Tuffery, 1980).

8.2 Pollution chimique

8.2.1 Eléments chimiques minéraux

Les sels minéraux présents naturellement dans l'eau en faible quantité, les sels minéraux (chlorures ou sulfates de calcium, de magnésium de sodium ou de potassium) peuvent voir leur concentration s'élever à la suite de rejets industriels. Cela peut nuire à la santé et à la biologie aquatique.

- **Les chlorures** : en plus de l'agressivité et de la minéralisation qu'ils confèrent à ces eaux, des taux élevés modifient la saveur de l'eau et contribuent aux dépôts de sels néfastes pour l'agriculture.
- **Les sulfates (SO₄²⁻)** : en plus inconvénients qui caractérisent les chlorures, les sulfates participent aux métabolismes des bactéries contenues dans l'eau, les bactéries sulfato-réductrice transforment les sulfates en sulfures avec dégagement de gaz sulfureux (œufs pourris) créant des désagréments à l'environnement.
- **Les nitrates (NO₃⁻)** : les nitrates sont présents naturellement dans les eaux, les apports excessifs ou mal maîtrisés d'engrais azotés provoquent une augmentation des nitrates dans les ressources. Les nitrates se transforment en nitrite dans l'estomac. Ces nitrites peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine du sang en méthémoglobine, impropre à fixer l'oxygène.

8.2.2 La pollution métallique

La pollution métallique peut être due à différents métaux comme l'aluminium, l'arsenic, le chrome, le cobalt, le cuivre, le manganèse, le molybdène, le nickel, le zinc...ou encore à des métaux lourds comme le cadmium, le mercure ou le plomb, plus toxiques que les précédents. De multiples activités humaines en sont responsables. Avec les métaux lourds (plomb, mercure, cadmium, chrome...), ils forment une famille de polluants très dangereux : absorbés par des plantes ou des petits animaux, ils s'accumulent et se concentrent tout au long de la chaîne alimentaire, au sommet de laquelle se trouve l'homme.

- **Les métaux lourds toxiques**

Les métaux lourds, qui parviennent dans les eaux, font partie des polluants de l'eau, les métaux lourds existent sous formes dissoute et en suspension ainsi que sous une forme difficilement soluble dans les sédiments.

1) Mercure

Le mercure est présent sous deux formes : le mercure minéral, utilisé au niveau des thermomètres, peintures, des matières plastiques et dans les papeteries ; puis mercure organique utilisé dans les industries pharmaceutiques, chimiques et dans la fabrication des fongicides (Rail, 1989), C'est un poison cumulatif qui provoque une intoxication chronique.

2) Cadmium

Le cadmium naturel est présent à l'état de traces, il provient aussi des résidus de placage électronique et des engrais chimiques (Hunt et Fawell, 1988). C'est un poison cumulatif, très

toxique induisant des atteintes rénales digestives et hypertension artérielle. Il provoque aussi des altérations osseuses se manifestant par des déformations du squelette.

3) Plomb

La présence du plomb dans l'eau douce signale généralement une contamination qui provient des déchets métallurgique ou des poisons industriels reformant du plomb tel que l'arséniate de plomb. Toutefois, le plomb peut aussi apparaître dans l'eau comme résultant de dissolution de certaines roches, de la corrosion des canalisations, des industries chimiques et des eaux de ruissellement (Kemmer, 1984).

Le plomb est considéré comme un poison cumulatif responsable de saturnisme c'est-à-dire atteinte neurophysiologique, trouble rénaux, cardiovasculaires et hématopoïétiques (Gaujous, 1995).

4) Chrome

Il provient généralement des résidus de galvanoplastie, des tanneries, des raffineries et de l'industrie de textile (Kemmer, 1984). Il est toxique surtout sous forme de Cr VI (chromate), il passe sous forme de Cr III (sels chromiques) en milieu naturel. Le Cr VI est mutagène et cancérigène (Gaujous, 1995).

8.3 Pollution organique

C'est les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...). Ils provoquent une consommation d'oxygène dissous de ces eaux.

En entraînant la mort des poissons par asphyxie et le développement (dépôts de matières organiques au fond des rivières) de fermentation anaérobie (putréfaction) génératrices de nuisances olfactives.

8.3.1 Les matières fertilisantes

La présence d'azote et de phosphore en quantité excessive dans les cours d'eau entraîne la prolifération d'algues qui diminuent la luminosité et surtout consomment l'oxygène dissous dans l'eau (phénomène d'eutrophisation). Cette pollution est produite par les eaux usées urbaines, certains effluents industriels, et le ruissellement des eaux chargées d'engrais apportés en excès aux cultures.

- **Charge en phosphore** : La pollution causée par les phosphates est 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 ou de réservoirs de retenue. (Gaujous, 1997)

- **Charge en azote** : l'azote présent dans l'eau peut être organique ou minérale. Le plus souvent, l'azote organique ne se trouve qu'à faible concentration dans l'eau. Quant à l'azote minérale (ammoniacale, nitrates, nitrites), elle constitue la majeure partie de l'azote totale. Les nitrites sont essentiellement d'origine industrielle : traitement de surface, colorants, etc. Quant aux nitrates, ils proviennent de la minéralisation de matière organique, des engrais azotés, des résidus animaux, des eaux usées domestiques et des stations d'épuration. (Gaujous, 1995).

8.4 La pollution microbiologique

L'eau peut contenir des microorganismes pathogènes (virus, bactéries, parasites) , qui sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau (industrie, utilisation domestique.....).

- **Les virus** : il s'agit d'un très vaste ensemble dont l'importance en pathologie humaine ne cesse de croître alors que s'estompe la menace bactérienne historique. De nombreux virus (virus de l'hépatite A, les entérovirus dont le virus de la polio) sont responsables de gastro-entérites aiguës.
- **Les bactéries** : Ce sont des agents des grandes épidémies historiques liées à l'eau comme le choléra, la fièvre typhoïde, etc. Ces deux espèces de bactéries entériques constituent toujours un gros problème de santé publique dans les pays en voie de développement. Elles sont généralement infectieuses uniquement pour l'homme. Mais dans les pays industrialisés, les bactéries pathogènes fécales transmissibles par l'eau sont moins virulentes que par le passé et non propres à l'homme.

9 Mesure de pollution

Les paramètres mesurés pour caractériser une eau sont :

9.1 Analyse physique

9.1.1 Les matières en suspension

Ce paramètre exprimé en mg/l correspond à la pollution insoluble particulaire, c'est-à-dire la totalité des particules solides véhiculées par les ERI.

Il est mesuré par pesée après filtration ou centrifugation et séchage à 105°C. Les procédés de séparation par filtration font appel, soit à des disques en fibres de verre, soit à des couches d'amiante ; la méthode par centrifugation est plus particulièrement réservée au cas où les

méthodes par filtration ne sont pas applicables par suite d'un risque élevé de colmatage des filtres.

9.1.2 La température

La température de l'eau affecte sa densité et sa viscosité (densité maximale à 4° C), la solubilité des gaz, celle de l'oxygène en particulier qui baisse quand la température de l'eau croît (Arrignon, 1998). On note par ailleurs qu'une augmentation de la température accélère considérablement la vitesse de la réaction chimique et biochimique. Ces dernières consomment de l'oxygène, d'où une aggravation des pollutions organiques par temps chaud ou par réchauffement artificiel des eaux (Rodier, 1996 ; Arrignon, 1998).

La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou de pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

9.1.3 Les paramètres organoleptiques

Il s'agit de la saveur, de la couleur, de l'odeur et de la transparence de l'eau. Ils n'ont pas de signification sanitaire mais, par leur dégradation, ils peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution.

1) Turbidité :

La turbidité est la mesure de l'aspect trouble de l'eau. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matière en suspension (MES), comme les argiles, les limons et les micro-organismes. Une faible part peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale.

La turbidité résulte de la diffusion de la lumière qui est ainsi déviée dans toutes les directions. Ce sont des particules en suspension dans l'eau qui diffusent la lumière. Leur origine peut être extrêmement variable : érosion des roches, entraînement des matières minérale ou organique du sol, déversement d'eaux usées domestique ou industrielles riches en matières en suspension grossières.

La turbidité est mesurée par trois unités qui sont équivalentes : Unité J.T.U (Jackson Turbidity Unit) = Unité F.T.U (Formazine Turbidity Unit) = Unité N.T.U (Néphélométric Turbidity Unit).

La mesure de la turbidité, très utile pour les contrôles d'un traitement, ne donne pas d'indications sur la nature, la concentration et la taille des particules en suspension qui en sont responsables. Cette turbidité doit être éliminée pour améliorer l'aspect esthétique de l'eau de

consommation mais aussi pour permettre une désinfection efficace et éviter les dépôts dans l'usine ou dans le réseau. En effet, les MES peuvent servir de support aux microorganismes qui seront ainsi partiellement protégés de l'action des désinfectants et qui pourront ensuite se développer et entraîner des problèmes sanitaires.

2) La couleur :

Les eaux naturelles sont toujours plus ou moins colorées. Leur couleur varie du jaune paille à peine perceptible au brun rougeâtre, selon la nature et la concentration des matières colorantes. Ces matières sont le plus souvent d'origine naturelle et proviennent de la dégradation de matière végétale. Le degré de couleur dépend non seulement de la concentration en matières colorantes, mais aussi du pH et de la turbidité.

La mesure de la couleur d'une eau naturelle se fait par comparaison avec une échelle artificielle de couleur. La substance de référence choisie est le chloroplatine de potassium (K₂PtCl₆) dans une solution de chlorure de Cobalt (CoCl₂). L'unité de couleur est le Hazen correspondant à un mg/l de platine sous forme de (K₂PtCl₆). On appelle aussi unité platino-cobalt ou unité de couleur varie (Ucv). Pour une eau potable, le degré de couleur maximale est de 15 Ucv.

3) Gout et odeur :

L'odeur peut être définie comme étant l'ensemble des sensations perçues par olfaction en flairant certaines substances volatiles.

Le goût es défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçues quand l'aliment ou la boisson est dans la bouche.

Ces deux paramètre sont regroupés et font appel aux mêmes types de traitement (adsorption, oxydation, filtration...). La saveur et l'odeur anormales sont causées par la présence dans l'eau des matières organiques dissoutes provenant de la décomposition des matières organiques végétales, de résidus agricoles, de rejets urbains ou industriels et les métabolites de certains microorganismes vivant dans l'eau comme certaines algues ou champignons microscopiques, et aussi certains sels minéraux donnent des goûts particuliers à l'eau.

Dans le cas d'une eau potable, l'apparition ou le changement de goûts et de l'odeur peuvent être signe d'activité microbienne et de lacune dans le traitement ou de contamination dans le réseau de distribution. Par ailleurs, une eau traitée peut avoir un goût plus prononcé qu'une eau non potable du fait du chlore résiduel.

9.2 Analyses chimiques

9.2.1 Le pH (Potentiel Hydrogène)

Le pH correspond, pour une solution diluée, à la concentration d'ions d'hydrogène. Il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau. Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés. Dans le domaine de l'eau, le pH joue un rôle primordial à la fois dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité), les processus biologiques dont certains exigent des limites très étroites des pH ; l'efficacité de certain traitement (coagulation, adoucissement, contrôle de la corrosion, chloration). La détermination du pH est donc la mesure que l'on doit effectuer le plus fréquemment. Pour mesurer le pH, on utilise un pH mètre.

Le pH d'une eau naturelle est lié à la condition édaphique (Leynaud & Verrel, 1980) et varie habituellement entre 7,2 et 7,6 (Rodier, 1996, Arrignon, 1998).

propose pour quelques groupes d'organismes aquatiques une de tolérance au pH.

- $\text{pH} < 5,0$: limite inférieure pour la survie de la plupart des espèces,
- $6,0 < \text{pH} < 7,2$: zone optimale pour la reproduction de la plupart des espèces,
- $7,5 < \text{pH} < 8,5$: zone optimale pour la productivité du plancton,
- $\text{pH} > 8,5$: destruction de certaines algues,
- $\text{pH} > 9$: seuil létal de nombreuses espèces (Salmonidés notamment).

9.2.2 Conductivité électrique

La conductivité, caractéristique physico-chimique de l'eau liée à la concentration des substances dissoutes et à leur nature. Les matières organiques et colloïdes ne présentent qu'une faible conductivité. Elle varie avec la température. La conductivité exprimée en micro-siemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$) par centimètre est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm^2 de surface séparée l'une de l'autre d'1 cm (Arrignon, 1998). Elle permet d'évaluer approximativement mais très rapidement la minéralisation globale de l'eau (Rodier, 1996) comme suit :

- $\text{Cond.} < 100 \mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation faible,
- $100 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{Cond.} < 200 \mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation faible,
- $200 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{Cond.} < 300 \mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation moyenne,
- $333 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{Cond.} < 666 \mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation moyenne accentuée,
- $666 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{Cond.} < 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation importante,
- $\text{Cond.} > 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation excessive.

Une conductivité électrique supérieure à 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fait considérer une eau comme inutilisable dans les zones irriguées (Arrignon, 1998).

9.2.3 L'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène (H) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}) Et hydroxyde (OH^-). Autrement dit, on est amené à considérer deux types d'alcalinité qui correspondent, encor une fois à deux bornes de pH :

- **Alcalinité au virage du rouge de méthyle** : elle correspond à l'alcalinité totale au pH de 4,5, ce qui revient à déterminer les ions HCO_3^- , CO_3^{2-} et de OH^- . Cette alcalinité se nomme également titre alcalimétrique complet TAC.
- **Alcalinité au point de virage de la phénolphtaléine (alcalinité composite)** : elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié CO_3^{2-} . Cette alcalinité composite est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égale à 8,3. L'alcalinité composite se nomme également titre alcalimétrique (TA).

9.2.4 La dureté

La dureté ou titre hydrométrique correspond essentiellement à la présence des sels de calcium et de magnésium. Elle est directement liée à la nature des terrains traversés. Ils proviennent des roches calcaires ou dolomitiques. Dans une eau naturelle, on peut distinguer différents types de dureté :

- Dureté totale : somme des concentrations en calcium et magnésium ;
- Dureté calcique : concentration globale en calcium ;
- Dureté magnésienne : concentration globale en magnésium

Les ions calcium et les ions magnésium sont positifs, donc dans l'eau, ils peuvent se lier à d'autres ions négatifs ; de ce fait, on peut diviser la dureté en deux catégories :

- Dureté permanente ou non carbonatée : dureté qui persiste après ébullition de l'eau et qui correspond uniquement aux sels de calcium et de magnésium solubles à chaud, sous formes de chlorures et de sulfates, car les hydrogénocarbonates sont décomposés et précipitent sous forme de carbonate de calcium.
- Dureté carbonatée ou temporaire : dureté qui correspond aux sels de calcium sous forme d'hydrogénocarbonates, et qui est la différence entre la dureté totale et la dureté permanente.

La pollution peut aussi, dans une certaine mesure augmenter la dureté de l'eau ; c'est le cas dans certaines régions où le chlorure de calcium CaCl_2 est utilisé massivement pour faire fondre la neige. La dureté calcique et la dureté magnésienne peuvent s'exprimer en mg/l de Ca et en mg/l de Mg.

Ces diverses teneurs ne peuvent évidemment pas être additionnées et pour calculer la dureté totale, on doit exprimer la concentration de chaque ion participant dans une unité commune.

La dureté s'exprime généralement en degré Français ou en milliéquivalents/l :

$1^\circ\text{F} = 5 \text{ meq/l}$; $1^\circ\text{F} = 4 \text{ mg/l de Ca}$ ou $2,43 \text{ mg/l de Mg}$ ou $10 \text{ mg/l de CaCO}_3$

9.2.5 Oxygène dissous

La teneur en oxygène dissous peut être utilisée comme critères de qualité des eaux de surface. Sa solubilité dans l'eau est liée à certains facteurs. Ainsi, l'augmentation de la température de l'eau entraîne une baisse de la solubilité de l'oxygène dissous, celle-ci augmentant avec les pressions atmosphériques croissantes (Rodier, 1996 ; Arrignon, 1998).

L'oxygène de l'eau provient de son contact avec l'air, sa dissolution étant facilitée par le brassage. Elle a également une origine biologique par la fonction chlorophyllienne exercée par les végétaux du périphyton, les algues planctoniques, ainsi que les phanérogames aquatiques dans les zones littorales des plans d'eau (Arrignon, 1998). Parmi les causes de variation de sa teneur, on peut citer la présence des matières organiques oxydables, des organismes, des germes aérobies, des graisses, des hydrocarbures, des détergents, ainsi que la perturbation des échanges atmosphériques à l'interface air-eau (Rodier, 1996). Selon la législation française, l'eau n'est probante que si elle contient au moins 5 mg/l d'oxygène dissous (Billen et al. 1999).

9.2.6 La demande chimique en oxygène (DCO)

C'est une mesure de toutes les matières organiques (ou presque) contenues dans les eaux naturelles ou usées, qu'elles soient biodégradables ou non biodégradables.

L'oxydation est effectuée ici dans des conditions énergiques, par voie chimique. Elle se fait sous l'action d'un oxydant puissant (bichromate de potassium), en milieu acide fort (H_2SO_4) et au reflux pendant deux heures.

La DCO constitue donc un paramètre important. C'est un test rapide, très utile pour la surveillance des eaux usées et des rejets industriels (surtout ceux à caractère toxique qui se prêtent mal aux mesures de DCO) ; exprimée, elle aussi en mg/l d'oxygène, elle diffère de celle de la DBO5. Elle est généralement supérieure, surtout pour les eaux usées domestiques, mais il y a souvent un rapport à peu près constant entre les deux (de l'ordre de 1,5 à 2).

9.2.7 La demande biochimique en oxygène (DBO5)

L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation d'oxygène, le milieu exerce donc une certaine demande biochimique d'oxygène. La mesure de cette DBO permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables et donc, dans une certaine mesure, sa qualité ou son degré de pollution. La dégradation complète des matières organiques peut être relativement longue (plusieurs semaines). D'autre part, l'oxydation des dérivés ammoniacaux et des nitrites en nitrates (nitrification) absorbe également de l'oxygène.

Cette nitrification, dans les eaux naturelles, ne débute qu'au bout d'une dizaine de jours. Pour ces deux raisons, on mesure le DBO en 5 jours, ou DBO5, c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée ; pendant ce laps de temps, pour l'oxydation partielle des matières organiques biodégradables sous l'action des microorganismes.

Le rapport DCO/DBO5 est l'indice de la biodégradabilité d'une eau. Pour qu'une pollution soit dégradable le rapport est inférieur à 2,5.

La moyenne pondérée de la DCO et la DBO mesurée après décantation pendant 2h suivant la formule : $(DCO+2DBO5)/3$ correspond aux matières existantes MOX.

9.2.8 Carbone total organique COT

Détermine des propriétés variable du carbone organique dissous et particulaire, du carbone organique provenant de substances volatils et du carbone minérale dissous. Sa mesure est réalisée par un analyseur de CO₂ à infrarouge après combustion catalytique à haute température de l'échantillon.

9.2.9 Azote total NT

Exprimé en mg/l, ce paramètre devient de plus en plus important. Sa valeur globale dans les ERI recouvre toutes les formes déjà citées. C'est la somme d'azote des formes réduites (organique et ammoniacal) est appelé azote de KJELDAL et l'azote des formes oxydées (NO₂⁻, NO₃⁻).

9.2.10 Phosphore total PT

Le phosphore se trouve dans les ERI sous formes :

- D'ortho phosphate, soluble PO₄H⁻²
- De poly phosphate qui à tendance à s'hydrolyser en ortho phosphate.
- De phosphore non dissous.

La somme de ces diverses formes constitue le phosphore total, dont chaque forme peut être mesurée indépendamment des autres par spectrométrie.

10. Les impacts de la pollution de l'eau (sur l'eau)

Les pollutions des eaux de surface se manifestent principalement par plusieurs impacts :

10.1 Une diminution de la teneur en oxygène dissous

- Les matières organiques essentielles à la vie aquatique en tant que nourriture peuvent devenir un élément perturbateur quand leur quantité est trop importante. En effet, elles vont être dégradées par des bactéries et consommer naturellement de l'oxygène dissous des rivières, privant ainsi les organismes aquatiques.
- Parmi les substances qui entraînent une importante consommation d'oxygène, notons en particulier les sous-produits rejetés par l'industrie laitière, le sang rejeté par l'industrie de la viande, les déchets contenus dans les eaux usées domestiques.

10.2 La présence des produits toxiques

Rejetées sous différentes formes, ces substances provoquent des effets qui peuvent être de deux formes :

- Effet immédiat ou court terme à un effet toxique brutal et donc à la mort rapide de différents organismes.
- Effet différé ou à long terme, par accumulation au cours du temps, des substances chez certains organismes.

La plus part des produits toxiques proviennent de l'industrie chimique, de l'industrie des métaux, de l'activité agricole et des décharges de déchets, domestiques ou industriels. (Agence de l'eau 2005)

10.3 Une prolifération d'algues

Bien que la présence d'algues dans les milieux aquatiques soit bénéfique pour la production d'oxygène dissous, celles-ci peuvent proliférer et devenir extrêmement gênantes en démarrant le processus d'eutrophisation.

- Les algues se nourrissent de matières minérales : phosphore sous forme phosphate, ainsi qu'azote (ammonium, nitrate et azote gazeux), Carbone (gaz carbonique) et d'autres éléments minéraux.

10.4 Une modification physique du milieu récepteur

Le milieu peut être perturbé par des apports aux effets divers :

- Augmentation de la turbidité de l'eau (ex : lavage de matériaux de sablière ou de carrière)
- Modification de la salinité (ex : eaux d'exhaure des mines de sel)
- Augmentation de la salinité (ex : eaux de refroidissement des centrales nucléaires).

10.5 La présence des bactéries ou de virus dangereux

-Les foyers domestiques, les hôpitaux, les élevages et certaines industries agroalimentaires rejettent des germes susceptibles de présenter un danger pour la santé.

-L'ensemble des éléments perturbateurs décrits ci-dessus parviennent au milieu naturel de deux façons différentes :

- Par rejets bien localisés (villes et industries) à l'extrémité d'un réseau d'égout ;
- Par les rejets diffus (lessivage des sols agricoles, des aires d'infiltration dans les élevages, décharges...).

11 Les impacts de la pollution de l'eau sur la santé humaine (les maladies hydriques)

Les maladies à transmission hydrique (appelées également maladies des mains sales ou maladies des canalisations) constituent un groupe de maladies à allure épidémique, dont la symptomatologie est le plus souvent digestive (diarrhées, vomissement) et dont la nature et la propagation sont liées à divers facteurs, comme la mauvaise qualité de l'eau, le manque d'hygiène et la pauvreté.

Les maladies liées à l'eau sont :

- Les diarrhées aiguës et les dysenteries
- La fièvre typhoïde
- La poliomyélite
- La leptospirose
- Le choléra

12 La protection de l'eau et lutte contre la pollution

L'eau est un bien rare et précieux, sa préservation est l'affaire de chacun d'entre nous.

- Il suffit de quelques changements minimes dans nos habitudes quotidiennes pour lutter à la fois contre le gaspillage et la pollution qui menacent l'eau.
- Pour une protection de l'eau avant d'être polluée, nous devons :
 - Choisir les produits de lavage les moins polluants et la quantité utilisée.
 - Eviter de rejeter les détruits dans les rivières ;

- Faire vérifier que les eaux usées de la maison passent soit par une installation d'assainissement individuel soit par des égouts qui aboutissent à la station d'épuration.

- Lorsque l'eau est polluée, il faut :

- Utiliser des moyens de réduction des rejets ;
- Enseigner les règles d'hygiène de base ;
- Promouvoir le traitement de l'eau et sa conservation dans de bonnes conditions à domicile ;

Les variations sont conditionnées par l'état de saturation du bassin versant, par les types de dynamique érosive de chaque saison et de chaque période d'érosion ainsi que par les variations du débit et de la concentration durant les périodes de crues, et la dégradation de la qualité de l'eau des eaux de surface.

Conclusion

L'homme intervient sur les cours d'eau depuis des siècles, pour s'en protéger et les utiliser ; mais depuis près de deux siècles, l'homme déverse dans les cours d'eau des substances qui dégradent sa qualité.

La pollution représente un sérieux problème pour l'environnement à cause des ces rejets. Donc l'activité humaine est responsable de l'introduction de divers polluants dans l'environnement et plus particulièrement dans le milieu aquatique.

Pour connaître la qualité des eaux, il faut mesurer certain paramètres qui permettent d'identifier le degré de pollution et pouvoir envisager les mesures de protection adéquates.

Introduction

Nous débutons ce chapitre par la description du contexte géographique général du sous bassin versant de la moyenne Seybouse, qui constitue l'objet de notre étude.

Nous avons utilisé pour la digitalisation de la zone d'étude et le réseau hydrographique les données disponibles, à savoir :

Une Carte topographique, reconstituée à partir de l'assemblage des feuilles : Azzaba-Est, Guelma-Est, Souk Ahras-Ouest, Dréan-Ouest (INCT– 1/50.000).

Ensuite, nous rappelons les aspects économiques et sociaux de la zone d'étude, avant d'évoquer la pédologie, la végétation et la sismicité.

Nous avons traité certains aspects climatologiques (pluviométrie, Températures, Evapotranspiration) à partir des données provenant de la station de BELKHEIR relatives à la période 2002-2015.

Nous avons estimé le ruissellement et l'infiltration afin d'établir le bilan hydrique de la zone d'étude.

Enfin nous terminerons ce chapitre par un rappel des aspects géologiques et hydrogéologiques.

1. Description du bassin versant de la Seybouse

Le bassin versant de la Seybouse est parmi les plus grands bassins de l'Algérie, il est situé au Nord- Est de l'Algérie et fait partie de l'ensemble géologique du tell algérien nord oriental.

1.1 Situation géographique:

Le Bassin versant de la Seybouse se situe au nord-est de l'Algérie et couvre 6.471 Km², ce qui en fait le troisième bassin en termes de superficie après l'Oued KEBIR El RHUMEL et l'Oued MELLEGUE (pour sa partie algérienne).

La Seybouse, Oued méditerranéen, naît dans les hautes plaines semi-arides, sur le revers méridional de l'atlas Tellien (ANRH 2003).

Le bassin versant de la Seybouse englobe sept wilayas de l'Est algérien (**Figure 3**) :

- La wilaya de Guelma en totalité
- Et partiellement les wilayas de : Annaba, El-Taref, Oum El Baouaghi, Skikda, Souk Ahras et Constantine.

Il englobe 68 commune dont 30 sont entièrement incluses, la population est estimée à plus de 1.259.000 habitants en 2008.

Il s'étend vers le sud sur une distance de 160 Km, jusqu'aux confins de l'atlas saharien, il atteint une largeur maximale de 120 Km au niveau de djebel Ouahch (Source de l'Oued Semendou à l'Ouest jusqu'à Oued El Kebir à l'Est).

1.2 Les sous bassins de la Seybouse :

Le bassin versant de la Seybouse se compose de six sous bassins principaux (**Figure 3**):

- Charef amont (14-01), Charef aval (14-02), Bouhamdane (14-03), qui représentent la haute Seybouse.
 - La moyenne Seybouse dit aussi Guelma (14-04), qui représente notre zone d'étude.
 - Mellah (14-05)
 - Maritime (14-06) appelé aussi la basse Seybouse.
- **Le sous bassin de Charef amont** se compose essentiellement de la plaine de Sedrata et de la plaine de Tamlouka, ce dernier est drainé par l'Oued Melah qui prend ses sources dans le Djebel Amar. La plaine de Sedrata représente la plus grande partie de ce sous bassin.
 - **Le sous bassin de Charef aval** de type "gouttière" ou de nombreux petits Oueds orientés Est –Ouest, dans son ensemble est orienté à l'Oued de Charef, une série d'Oueds dans les deux rives droite et gauche, sur la rive droite, ce sont l'Oued Nil, l'Oued Sept, l'Oued Chenior, sur la rive gauche, ce sont l'Oued Medjez Bgar, l'Oued Anouna, l'Oued Mgaisba.
 - **Le sous bassin Oued Bouhamdane** : l'Oued Zenati et l'Oued Sabath forment par leur jonction l'Oued Bouhamdane, qui se jette dans la Seybouse à Medjez Amar, il est l'affluent le plus important après le Charef, entre Medjez Amar et Bordj Sabath la chaîne numidique a obligé le Bouhamdane à prendre la même direction.
 - **Le sous bassin moyenne Seybouse** : à Medjez Amar, la Seybouse considérablement accrue par l'union du Bouhamdane et du Charef, débouche dans le vaste bassin de Guelma; l'Oued suit l'axe de ce dernier orienté Ouest –Est et le traverse dans toute sa longueur sur environ 25 Km, durant ce parcours la Seybouse a tracé de nombreux méandres.
 - **Le sous bassin Mellah** : d'orientation Sud-ouest/Nord-Est et en forme de couloir, le sous bassin du Mellah est topographiquement très hétérogène. Le cours principal est formé par la réunion de l'Oued Sfa, l'Oued Cham et de l'Oued Ghanem.
 - **Le sous bassin Maritime**: Le cours d'eau de la Seybouse prend sa voie entre Bouchegouf et Dréan dans une direction Sud-Nord, où il reçoit Oued Ressoul, qui est un affluent très dynamique, qui draine la région humide d'Ain Berda.

L'Oued Seybouse continue sa route vers la mer, en formant des méandres et des bras morts, qui

redeviennent fonctionnel lors des grandes crues.

La structure du bassin présente des ensembles naturels de fortes variétés avec des régions très hétérogènes ce qui justifie ses dimensions: 6.471 Km².

Figure 3: Carte Situation géographique du bassin versant de la Seybouse et ses principaux sous bassins versants (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).

2. Description du bassin versant de la moyenne Seybouse

Notre étude concerne le bassin versant de la moyenne Seybouse. Elle expose ses caractéristiques physiques et Climatiques qui régissent son cycle hydrologique.

Le bassin versant est un cadre naturel du fonctionnement régional du cycle de l'eau, un espace naturel délimité permettant une étude hydrologique précise et complète, une étude du

fonctionnement à travers les flux du cycle de l'eau.

2.1. Situation géographique de la zone d'étude :

La zone d'étude est située au Nord Est Algérien entre les latitudes 36°14' et 36°35' Nord et longitudes 7°16' et 7°44' Est ; elle fait partie de l'ensemble géologique du tell algérien nord oriental. Elle est une partie intégrante du bassin versant de l'Oued Seybouse, Elle occupe la partie centrale de la wilaya de Guelma et couvre une superficie de l'ordre de **818.154 Km²**, (**Figure 4**), elle est limitée :

- Au Nord-Ouest par les monts de Djebel Debagh (1059m).
- Au Nord par Djebel el Houara (834m) et Béni Ahmed, Djebel Es Sebaa (619m),
- Au Nord-Est par les forets des Béni Mezline (843m).
- Au Sud par Djebel Ras el Ma (1261m), Djebel Nguib (1130m),
- Au Sud-ouest par Djebel Mesmassa (1319m) et les monts de Mahouna qui culminent à (1403m) d'altitude.
- A l'est par Koudiat Bir el Anani (475m) et Koudiat el Guataya (737m).
- A l'Ouest par Koudiat Bouchoucha (744m) et Dj Arara (715m). (**Figure 4**)

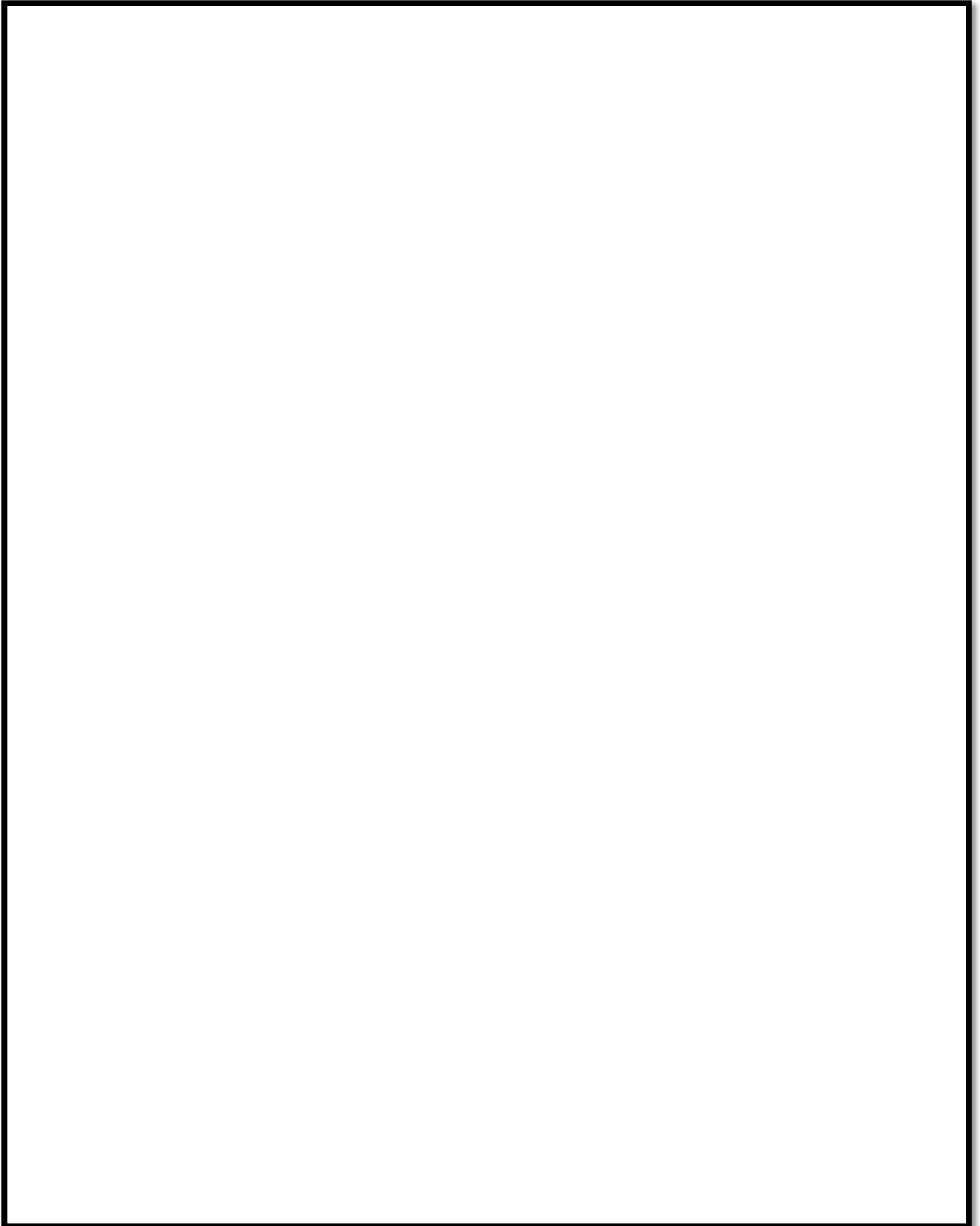


Figure 4 : Carte de situation géographique de la zone d'étude (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016)

2.2. Caractéristiques morpho métriques générales du bassin

Les différents paramètres morpho métriques du bassin (surface, longueur, forme, pente, etc....) interviennent, et souvent de façon combinée, dans les modalités du ruissellement. Les grandeurs spécifiques du bassin peuvent être obtenues grâce au planimétrage et au curvimétrage, dans cette étude, elles ont été déterminées par le logiciel ArcGIS 10.3.1.

2.2.1. Surface (A), Périmètre (P) et longueur de thalweg principal (L) :

Les caractéristiques géométriques de bassin versant de la moyenne Seybouse sont calculées avec « ArcMap », les résultats sont mentionnés sur le tableau et les **figures (5 et 6)** ci-dessous :

Tableau 3 : caractéristiques géométrique du bassin versant de la moyenne Seybouse (selon BENNOUR S.E & MEKAOUI A.H, 2016)

Surface(A)	Périmètre(P)	Longueur du thalweg principal (L)
818.154 Km ²	139.757 Km	55.301 Km

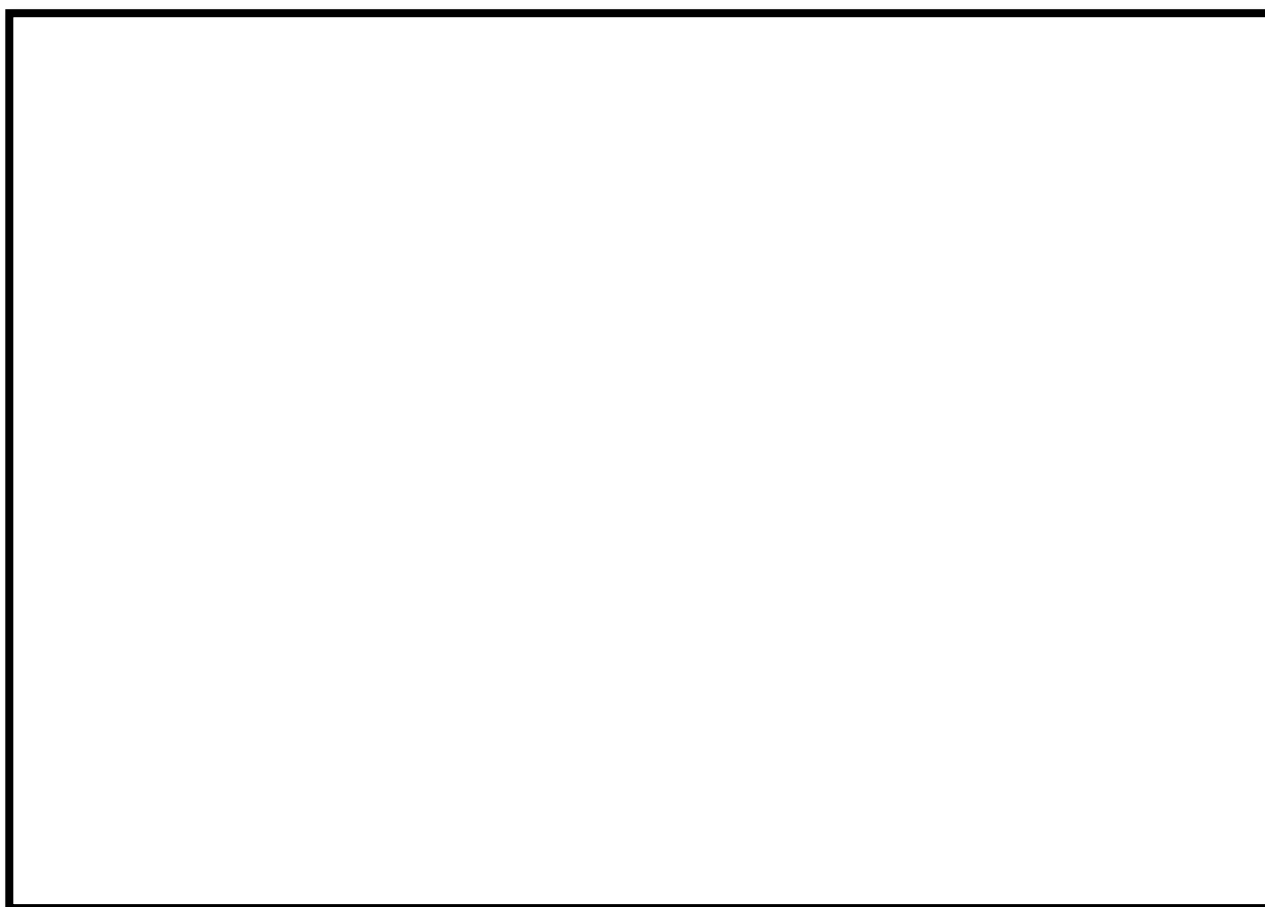


Figure 5: Détermination de la Surface et le Périmètre du Bassin Versant avec « ArcMap »

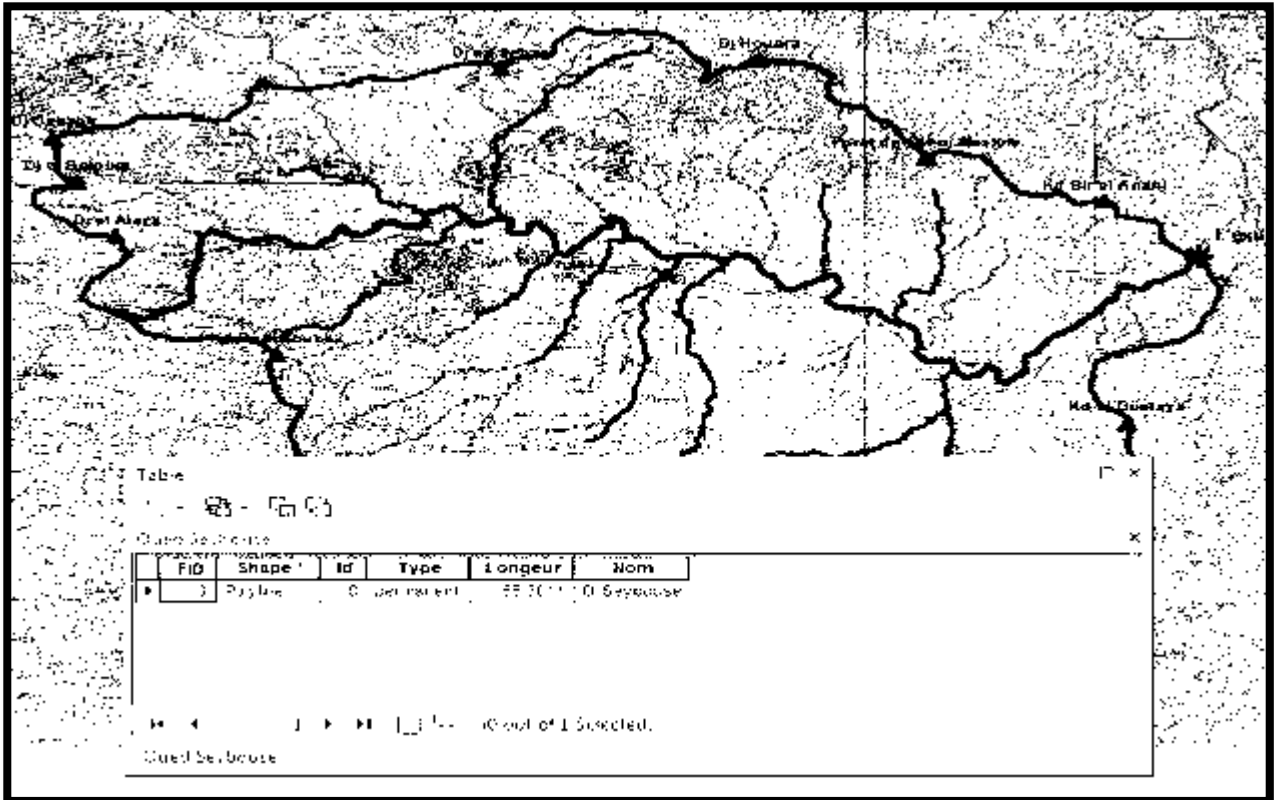


Figure 6: Détermination de la longueur de thalweg principal à partir de « ArcMap» (BENNOUR S.E & MEKAOUI A.H, 2016)

2.2.2. Forme du Bassin

La forme du Bassin a une influence certaine sur l'écoulement, elle détermine dans une certaine mesure, l'allure de l'hydrogramme de crue : un bassin très allongé ne réagira pas, toutes choses égales d'ailleurs, de la même manière qu'un bassin de forme très ramassée (M. Roche, 1963).

La forme du Bassin Versant peut être aussi traduite par l'indice de compacité de GRAVELIUS (K_G) qui est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface.

Si A est la surface du bassin en Km^2 et P son périmètre en Km , le coefficient K_G est égal à :

$$K_G = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi * A}} \approx 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Le coefficient K_G est supérieur à 1 et d'autant plus voisin de cette valeur que le bassin est compact.

Si $K_G > 1.12$, le Bassin Versant est allongé ; Si $K_G < 1.12$ alors le Bassin Versant est de forme carrée ; Si $K_G = 1.12$ le Bassin Versant est de forme compacte.

Pour le Bassin de la moyenne Seybouse K_G est égal à : $0,28 * \frac{139,757}{\sqrt{818,154}} = 1,368 \Rightarrow$ c'est un bassin allongé.

2.3. Aperçu géomorphologique

L'orographie de la région d'étude est formée en ligne générale de reliefs montagneux et collinaires constituant l'extrémité orientale de la chaîne des monts du bassin de la haute Seybouse et au nord par la chaîne numidienne du sous-bassin de la moyenne Seybouse.

Ces deux contreforts sont traversés par des vallées profondes où courent les affluents droits et gauches de la Seybouse ce qui leur donne un caractère torrentiel. Parmi les reliefs les plus élevés de la région d'étude sont Djebel Mahouna (1403m), Djebel Mesmassa (1319m), Djebel Ras el Ma (1261m), Djebel Nguib (1130m), les monts de Djebel Debagh (1059m) et Djebel Houara (834m) (voir **figure 7**).

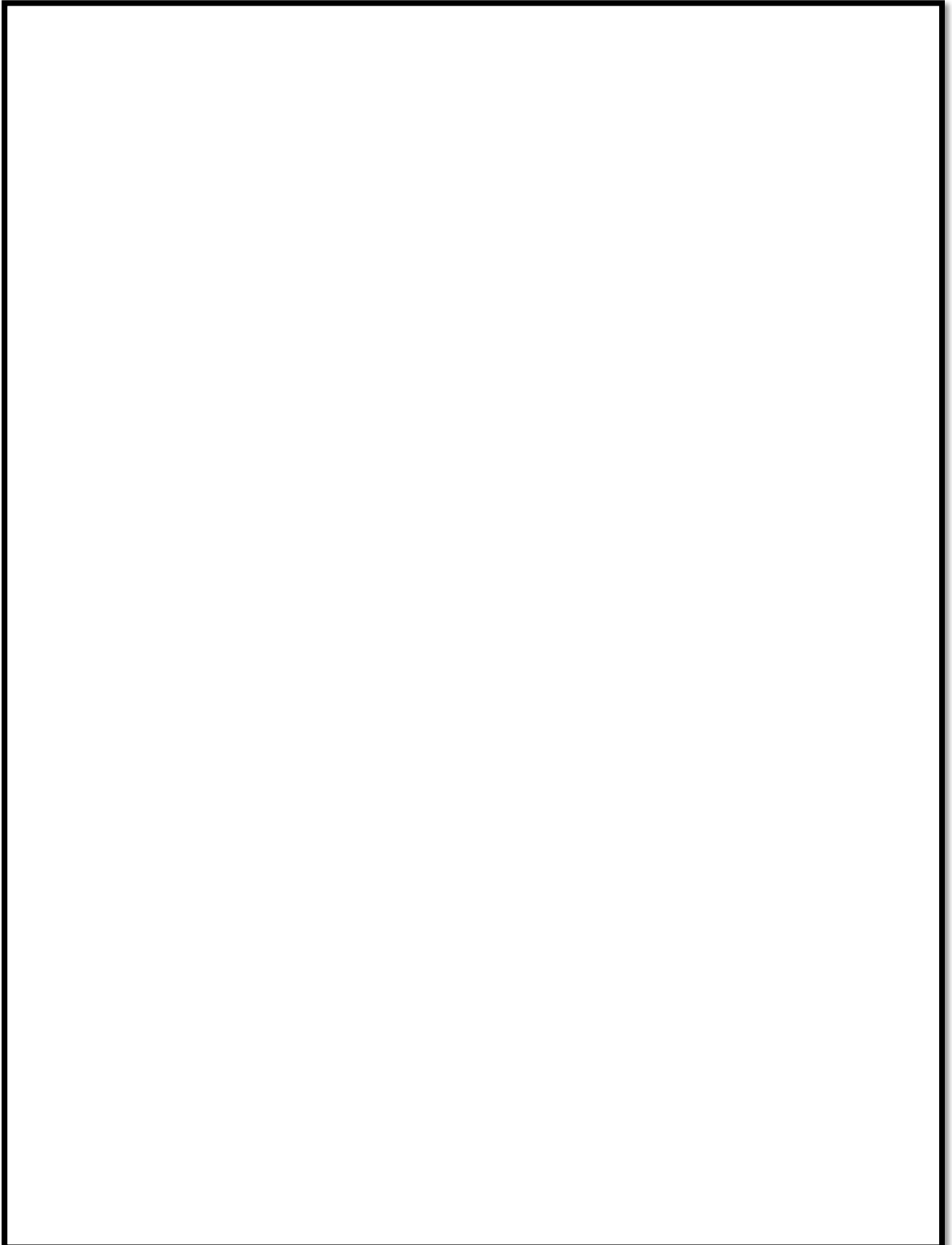
C'est dans le cycle d'érosion que s'inscrit la région de Guelma qui présente toutes les caractéristiques morphologiques d'une région où les eaux ont été le principal agent modificateur.

La tranche d'altitude la plus fréquente dans notre bassin s'étale entre 200 et 400 m, elle occupe 41% de la superficie totale avec une pente de 0-15°.

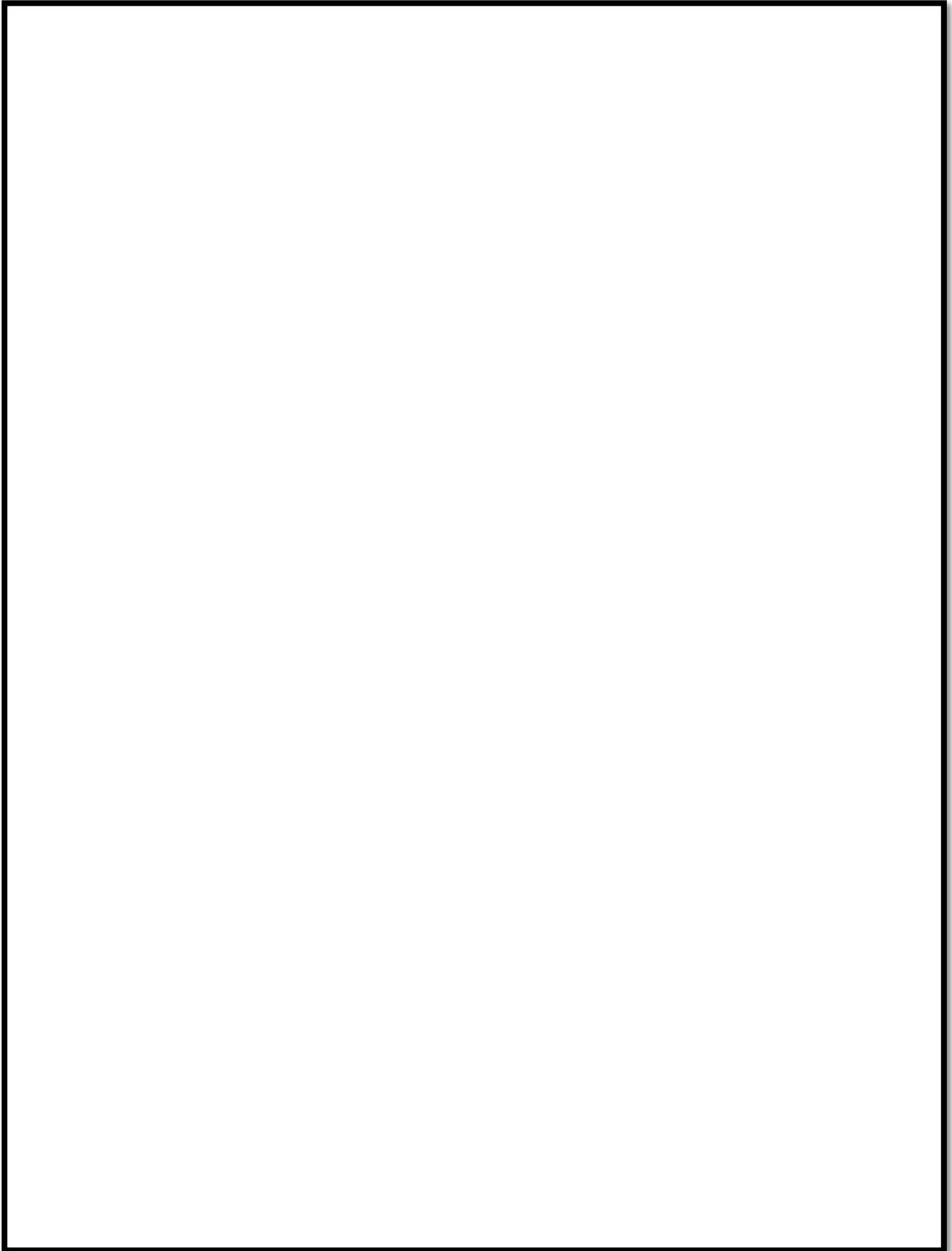
La tranche la moins fréquentée s'étale entre 1000-1403 m, qui représente 3.8% de la superficie totale avec une pente de 20 à 30°, cette tranche représente la zone de montagnes (**Figure 7 et 8**).

La plaine creusée par la Seybouse offre des pentes généralement peu accentuées entre 0 et 5°, plus douces pour les versants exposés au nord. Son fond est plat et présente une faible pente longitudinale et transversale, Elle est surmontée d'un ensemble de terrasses emboîtées les unes aux autres qui s'élèvent à des altitudes diverses.

Les reliefs qui surplombent immédiatement la plaine sont dans leur ensemble de pente moyenne à sommets arrondis à l'exception des affleurements calcaires qui donnent lieu, étant donné leur plus grande résistance à l'érosion, à des pentes plus raides et escarpées (Bechiri, 2011).



**Figure 7: Carte hypsométrique du bassin versant de la moyenne Seybouse
(MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016)**



**Figure 8: Carte de classes des pentes du bassin versant de la moyenne Seybouse
(MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016)**

2.4. Le réseau hydrographique:

Le réseau hydrographique de notre zone d'étude est constitué par le seul cours d'eau important, qui est l'Oued Seybouse. Il prend naissance dans les plaines semi-arides et résulte de la confluence de deux Oueds qui sont le Charef et Bouhamdane au niveau de Medjez Ammar et se termine à Bouriachi Youcef (point de confluence O.Seybouse et O.Mellah), après un parcours d'environ **56 Km**. Il franchit alors le vaste bassin et le traverse de toute sa longueur en direction nettement Ouest-Est, avec une pente relativement faible 0.17° (0.29%) et un dénivelé qui égale à 159.95m entre l'amont et l'aval (**Figure 9**).

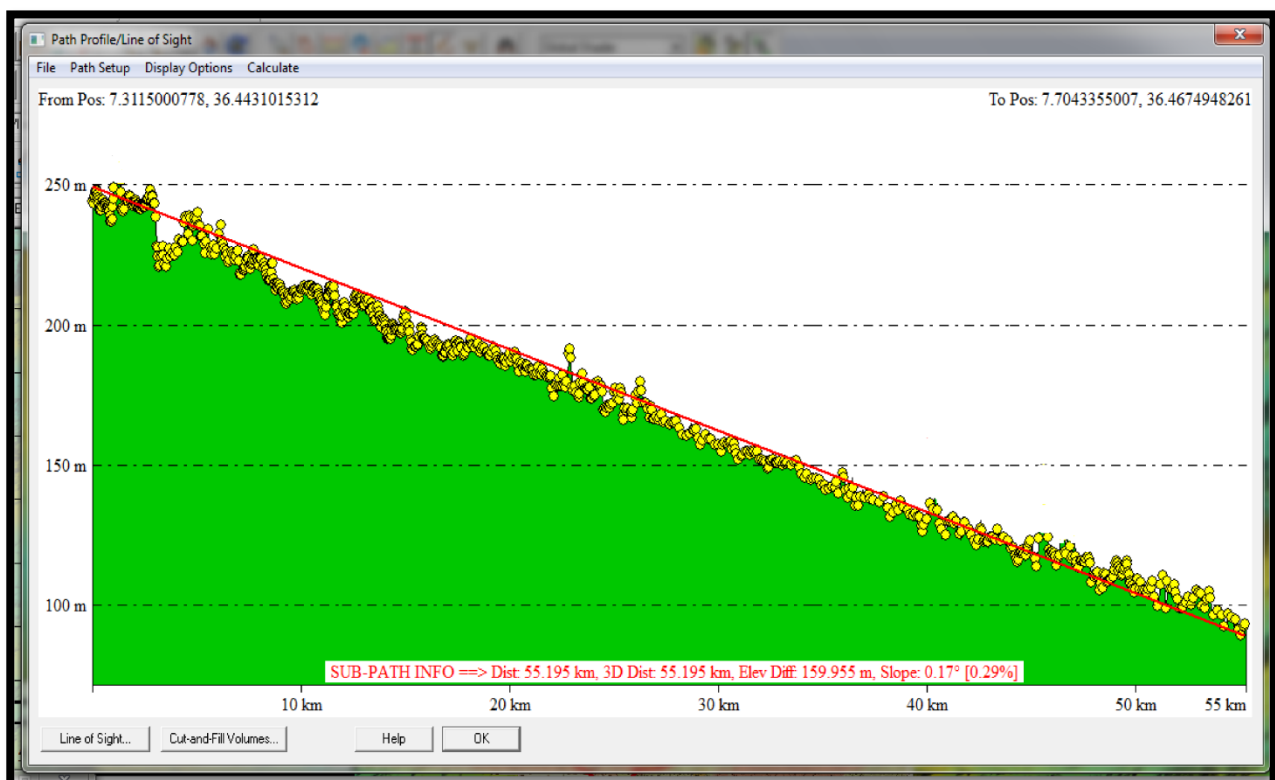
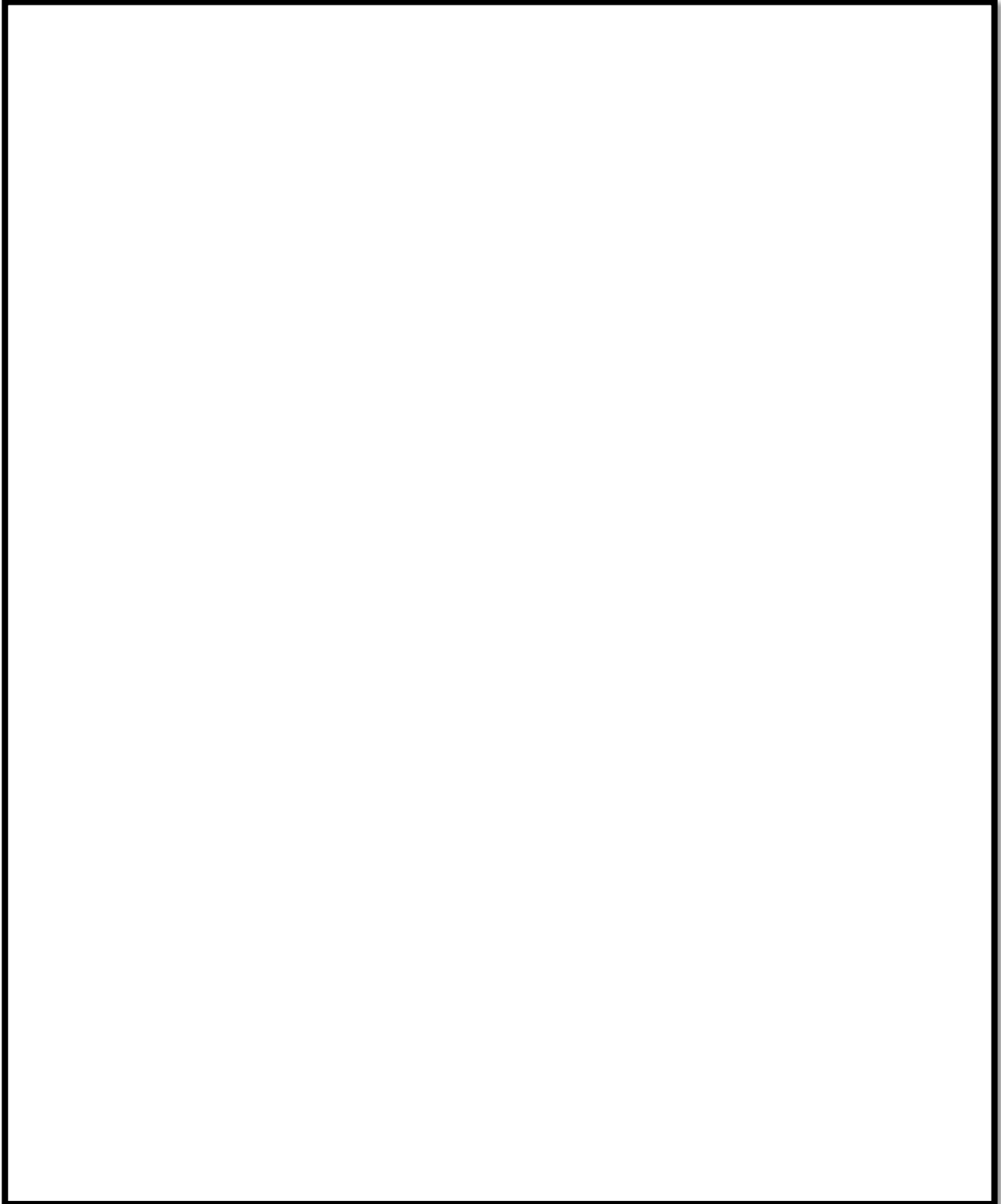


Figure 9: profil en long de l'Oued Seybouse (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016)

Il est considéré comme un collecteur des eaux de ruissellement qui affluent sur ses deux rives :

- Sur la rive droite, la Seybouse reçoit l'Oued Skhoun, qui passe au pied de la ville de Guelma, l'Oued Maïz avec une longueur de 10.16 Km, qui forme limite entre cette commune et Belkheir, puis l'Oued Zimba (à Belkheir) et l'Oued Bou Sorra (à Boumahra Ahmed) de 16.32 Km descendant du versant oriental du massif de la Mahouna, puis en aval a coté de Nador il reçoit Oued Helia (**Figure10**).
- Sur la rive gauche, La Seybouse reçoit Oued En Nchem qui traverse la commune d'El Fedjouj et Oued Garrafa qui traverse les communes de Guelaat Bousbaa et d'Héliopolis.

- **En rive droite:** l'important morcellement des calcaires et le recouvrement alluvionnaire du bassin de Guelma font que ce bassin versant présente une perméabilité importante.
- **En rive gauche:** le bassin est constitué par des formations imperméables (argiles gréseuses, marnes et marno-calcaire très compactes).



**Figure 10: Carte du réseau hydrographique du bassin versant de la moyenne Seybouse
(MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016)**

Figure 11 : Carte de situation géographique de la zone d'étude

2.5. Aspects socio-économiques

2.5.1. Population

La willaya de Guelma dont la zone d'étude en fait partie occupe 0.17 % de la superficie de l'Algérie avec 34 Communes réparties sur 10 Dairas. Le recensement de la population Guelmoise en 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 et 2013 était respectivement de 482 430, 494 097, 500 007, 506 007, 512 079 à 518 224 hab.

L'agglomération Chef-lieu de la willaya est peuplée de 126.753 habitants en 2011, avec une projection de la population de 132.020 en 2015 (RGPH 2008-2015) le taux d'accroissement annuel moyen de 1998 à 2008 est de 1,2 avec une densité moyenne de la population de 136 hab./Km².

2.5.2. Les activités

La richesse de la région se présente dans les activités suivantes :

2.5.2.1. Industrielles

L'industrie dans la willaya de Guelma est à ne pas négliger, c'est une wilaya qui abrite plusieurs unités industrielles dont les plus importantes sont (*KACHIN*):

- La raffinerie de sucre avec deux Forages propres: forage Boumahra : Débit = 60 m³/h égale à 16,66 l/s de 42 m de profondeur et le forage Belkheir: Débit = 35 m³/h égale à 9, 72 l/s de 39 m de profondeur.
- La Sonacome, complexe de Fabrication des cycles et cyclomoteurs (CYCMA) avec un Forage propre : Débit = 50 m³/h égale à 13,88 l/s.
- La Conserverie de tomate Zimba avec un Forage propre : Débit = 28.8 m³/h égale à 8 l/s.
- La Conserverie de tomate du Sud avec un forage propre : Débit = 18 m³/h égale à 5 l/s.
- L'Unité de fabrication des pâtes Benamor, avec un Forage propre: Débit=3.6 m³/h (1 l/s).
- Limonaderie de Fendjel, avec un Forage propre : Débit = 14.4 m³/h égale à 4 l/s.

Sur le plan minier, la région de Guelma représente une source de richesse non négligeable pour l'activité industrielle dans l'Algérie, qui s'appuie sur un réseau routier bien développé d'une longueur de 1562.20 Km dont 266.20 Km de route nationale.

L'activité minière est quasi inexistante, malgré les gisements disponibles : des argiles pour la fabrication des briques et des tuiles, des carrières comme celles de roches pour agrégats, du Kaolin du djebel Debagh, de marbres de Mahouna.

On dénombre quelques carrières pour l'extraction d'agrégats destinés au BTP et aux routes, ainsi qu'une unité de traitement du marbre implantée à Boumahra Ahmed, qui rejette ses eaux usées chargées de poudre de marbre dans la Seybouse [Point de prélèvement N° 03].

2.5.2.2. Agricoles

La wilaya de Guelma est caractérisée par un climat sub-humide avec une précipitation moyenne de 600 mm/an et par conséquent le développement d'une forte activité agricole.

La surface agricole utile (SAU) s'élève à 187.338 ha, soit 50,81 % de la superficie totale de la Wilaya et 70,80 % de l'agricole totale (ANDL, 2013).

Les aires agricoles sont localisées essentiellement dans la plaine alluviale. La région d'étude bénéficie d'une grande fertilité grâce notamment à la Seybouse, un grand barrage qui assure un vaste périmètre d'irrigation et un important nombre de retenues.

Ses productions agricoles sont depuis longtemps la fierté de cette région.

La wilaya de Guelma est une zone à polyculture avec une prédominance des céréales (45%), de l'arboriculture (16%), et des cultures maraîchères (14%) à côté de l'élevage de volailles et bétails.

2.5.2.3. Tourisme

Les potentialités touristiques principales de la wilaya sont les sources thermales dont les plus importantes sont Hammam Debagh, Hammam Ouled Ali, Hammam N'bails, Hammam Belhachani, et Hammam Guerfa (commune d'Aïn Larbi).

Ces sources sont peu aménagées et ne sont fréquentées que par les populations locales, exceptées Hammam Debagh et Hammam Ouled Ali (Bouchahrine) qui sont de véritables stations thermales dotées de toutes les commodités touristiques : Hôtels, Restaurant, salles d'eau, piscines, salles de conférences et salles de soins spécialisés.

Ces stations sont réputées pour le traitement des maladies rhumatismales, gynécologiques et dermiques.

En outre, la wilaya dispose de sites touristiques et monuments archéologique d'importance, comme le Théâtre romain qui abrite le musée antique à Guelma, la Grande Cascade de Hammam Debagh, le lac souterrain de Bir Osmane à Ain Hessainia, les Grottes de Taya à Bouhamdane ou la Nécropole de Satha, à Roknia, qui contient à elle seule, plus de Dolmens que dans toute la France réunie (source : le livre bleu), sans oublier le site romain de Thybillis (Sellaoua Announa) qui conserve les vestiges impressionnants de la cité romaine comme la grande place, le portique d'entrée ou les lieux de culte anciens.

Les Sites naturels sont aussi nombreux : forêt récréative de la Mahouna, quelque peu aménagée, Forêt de Béni Salah à Bouchegouf, forêts de Houara, Debagh, Roknia, Bouhachana, Bordj Sabath, El Ancel (Oued Zenati), Nechmaya, etc. qui demeurent vierges jusqu'à présent.

2.5.3. Végétations

La wilaya de Guelma s'étendant sur une superficie de 3.686,84 Km² ; elle est dotée d'une importante couverture végétale qui occupe une superficie de 107.704 hectares avec un pourcentage de 28% de la superficie de la wilaya (DPAT, 2008).

La région est boisée surtout en altitude avec des belles et vastes forêts comme celles de djebel Mahouna et Béni-Salah à Bouchegouf constitués essentiellement par le Chêne liège et le Chêne vert, qui représentent l'essence dominante qui constitue des forêts naturels, associé à des reboisements récents, on y trouve aussi les Oliviers, l'Eucalyptus, Cyprès, Chêne Zen et le Pin d'Alep, avec une richesse faunique varie en oiseaux, Mammifères, Insectes et Reptiles.

2.5.4. Pédologie

Il est mentionné dans la plaine alluviale de Guelma quatre catégories de sols:

- minéraux bruts : dans les plus importants sont d'apport alluvial qui occupe le lit majeur de l'Oued Seybouse ainsi que les affluents, formant la basse terrasse.
- Peu évolués d'origine non climatique sous trois groupes : sols d'érosion observés à l'Est de Boumahra, d'apport alluvial le long de l'Oued Seybouse, sur la rive droite et gauche à l'Ouest de Guelma et d'apport mixte (alluvions-colluvions).
- Vertisols à drainage externe, de structure argileuse sur au moins les 15 cm supérieurs. Les plus répandus du territoire à cultures diversifiées, sont localisés en larges bandes au Nord Est de Guelma, entre Belkheir et Boumahra.
- Calcimagnésiques, bruns calciques vertiques. Leurs genèse est surtout liée à la richesse en calcium de la roche mère, sous forme de carbonates (calcaires, marnes, etc.), (DJERABA, 1973).

2.5.5. Sismicité

Le règlement parasismique algérien, élaboré en 1999 (R.P.A 99- version 2003) classe la wilaya de Guelma dans la zone II-a, zone à sismicité moyenne.

3. Climatologie

Introduction

Toute étude hydrogéologique passe principalement par un traitement détaillé des mesures hydro climatique permettant d'établir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux de surface et souterraines.

Ayant déterminé les caractéristiques du complexe physique du sous bassin versant de l'Oued Seybouse, nous allons étudier les facteurs climatiques de cette région.

De ce fait l'analyse des facteurs climatiques s'impose. Elle permet de mettre à jour les facteurs les plus importants qui régissent le climat et enfin d'établir le bilan d'eau.

L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, implique la connaissance des paramètres suivants : la précipitation, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement qui conditionnent ce bilan.

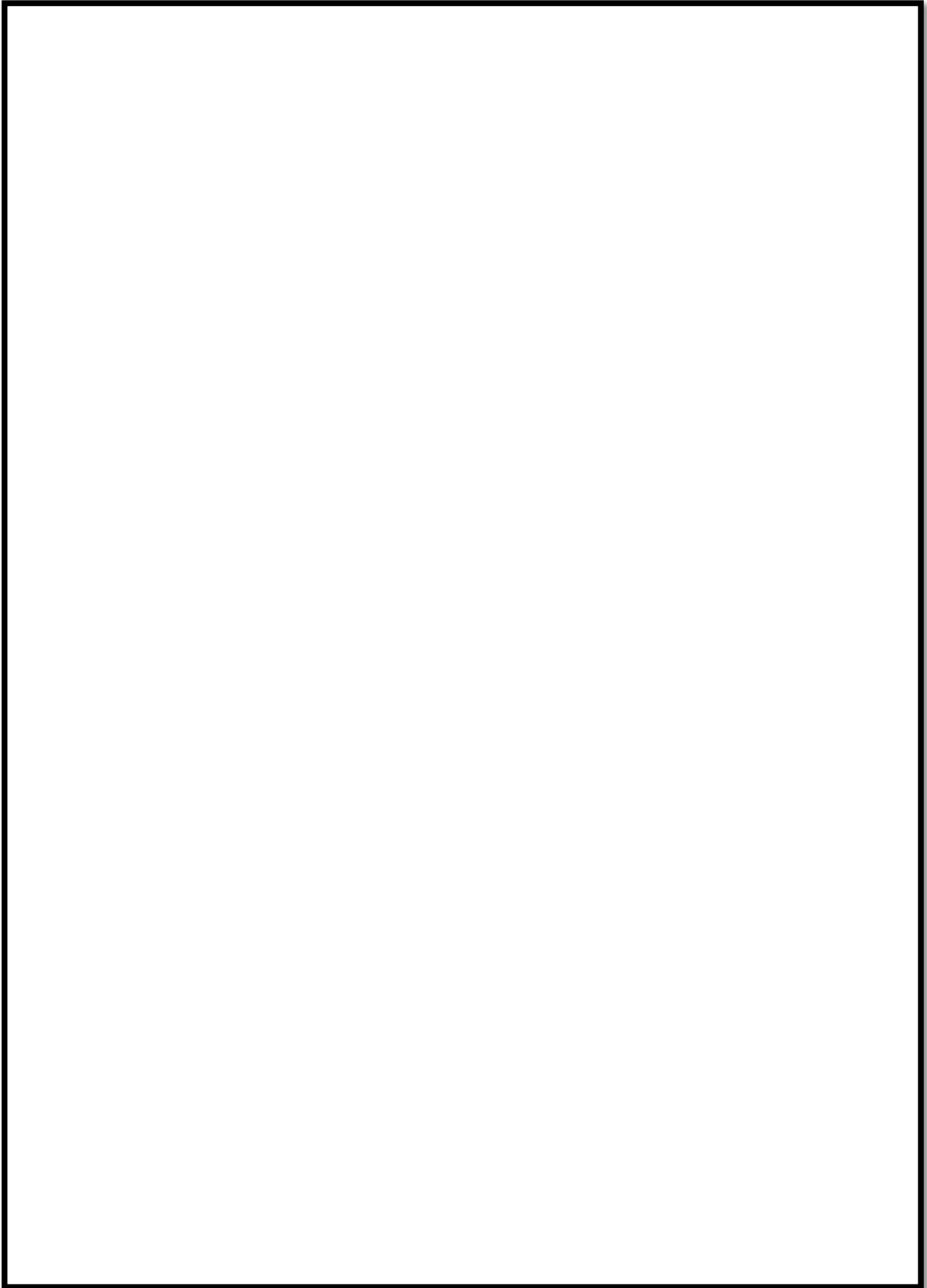
Cette étude climatique débouchera sur un calcul du bilan en exploitant les données météorologiques disponibles et en utilisant la méthode adaptée à la région.

3.1 Analyse des paramètres climatiques

Dans le cadre de cette étude, 14 années hydrologiques ont été choisies (2002- 2015), pour pouvoir utiliser le maximum des données plus récentes afin d'interpréter les paramètres climatiques mesurés au niveau de la station météorologique de Guelma (ONM) située à Belkheir, choisie comme station de référence située à l'intérieur du Bassin (**Figure 12**).

Tableau 4 : Caractéristiques géographiques de la station météorologique de Guelma

Station	Coordonnées		Altitude (m)
	Longitude	latitude	
Guelma	07°28'E	36°28'N	227



**Figure 12 : Carte de localisation de la station pluviométrique de Guelma
(BENNOUR S.E & MEKAOUI A.H, 2016)**

3.1.1 La pluviométrie

Les précipitations constituent une composante essentielle du cycle de l'eau. Elles permettent le renouvellement total ou partiel des nappes par le biais des infiltrations et elles conditionnent l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eaux.

En général, quatre aspects sont discutés; il s'agit du coefficient pluviométrique et des répartitions saisonnières, mensuelles et annuelles.

3.1.1.1 Coefficient pluviométrique (CP)

Le coefficient pluviométrique correspond à l'évolution interannuelle des précipitations et permet de différencier les années excédentaires et les années déficitaires.

Si :

- $CP > 1 \Rightarrow$ on a une année excédentaire.
- $CP < 1 \Rightarrow$ on a une année déficitaire.

Le calcul du coefficient de variation durant la période d'observation (tableau 2.1) met en évidence 8 années déficitaires et 6 autres excédentaires.

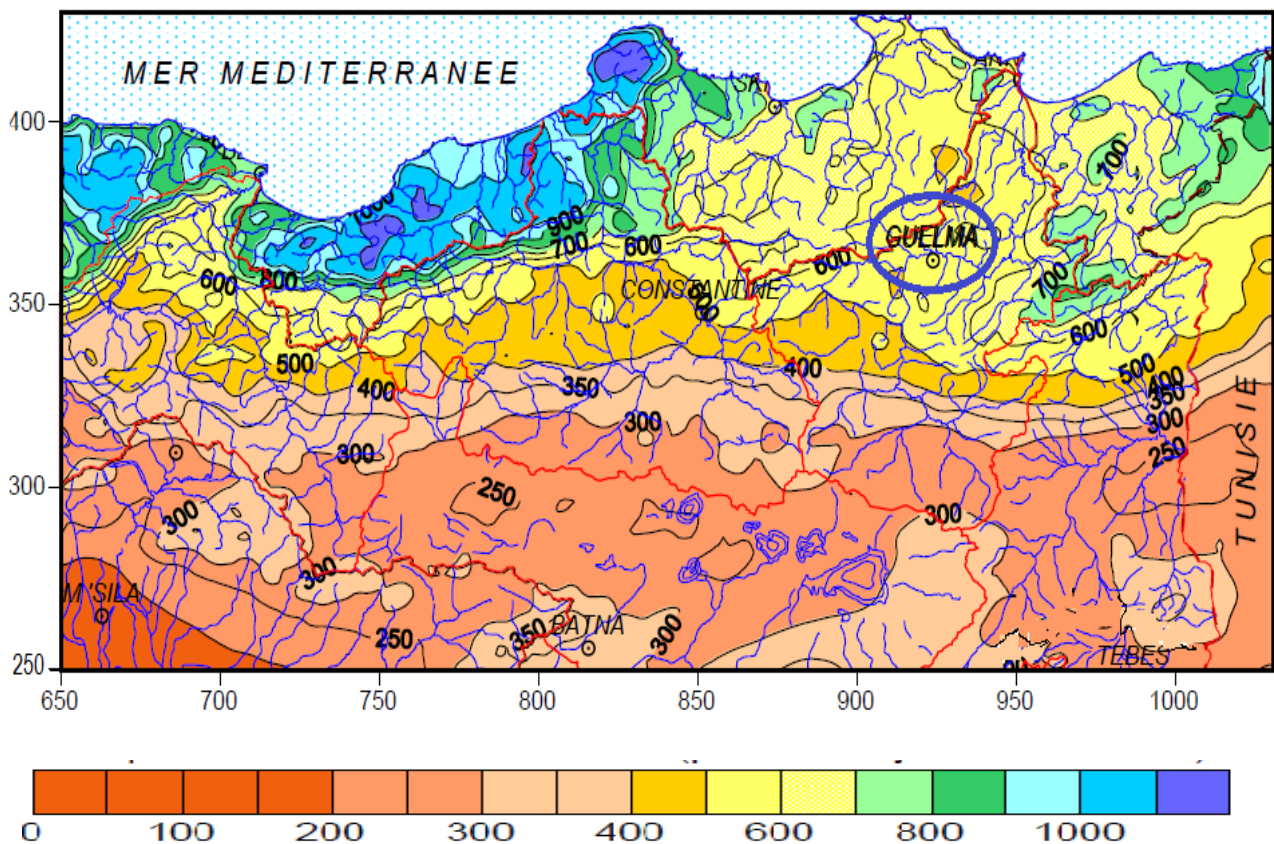


Figure 13 : Carte des précipitations annuelles du Nord-Est de l'Algérie – ANRH

Le coefficient pluviométrique est donné par la formule suivante :

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

Avec :

P : Pluviométrie de l'année considérée

\bar{P} : Pluviométrie moyenne pour la période d'étude, qui est donnée par l'équation :

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum P_i \rightarrow \bar{P} = 640,61 \text{ mm, Où : } i = 1, \text{ et } N = 14$$

Tableau 5: Evolution du coefficient pluviométrique (2002/2015)
(BENNOUR S.E & MEKAOUI A.H, 2016)

Année	P (mm)	CP	Type de l'année
2002	503,8	0,786	Déficitaire
2003	938,5	1,465	Excédentaire
2004	804 ,8	1,256	Excédentaire
2005	541,0	0,844	Déficitaire
2006	478,3	0,746	Déficitaire
2007	723,0	1,128	Excédentaire
2008	381 ,8	0,595	Déficitaire
2009	890,3	1,389	Excédentaire
2010	614,1	0,958	Déficitaire
2011	711,0	1,109	Excédentaire
2012	571,0	0,891	Déficitaire
2013	630,6	0,984	Déficitaire
2014	511,7	0,798	Déficitaire
2015	668,6	1,043	Excédentaire

Le tableau 5 montre une évolution alternative entre année déficitaire et excédentaire avec un maximum et un minimum de l'ordre de 928.5 mm (2003) et 381.8 mm (2008) respectivement et une limite de 640.6 mm qui différencier les années déficitaires ($P < 640.6$ mm) des années excédentaires ($P > 640.6$ mm).

Cette période d'observation contient huit années déficitaires et six années excédentaires.

3.1.1.2 Répartition saisonnière des précipitations

Les précipitations sont réparties suivant les saisons agricoles [**Automne** (S, O, N), **Hiver** (D, J, F), **Printemps** (M, A, M) et **Eté** (J, J, A)].

Les pourcentages moyens des pluies tombées chaque saison pour la période (2002-2015) sont calculées par l'équation suivante :

$$P\% = \frac{\bar{P}_S}{P_T} \times 100$$

$$\bar{P}_S = \frac{1}{N} \sum P_i$$

Avec :

P% : Pourcentage moyen des pluies tombé chaque saison.

\bar{P}_S : Pluviométrie moyenne pour chaque saison (mm).

P_T : Pluviométrie totale de la période observé (mm).

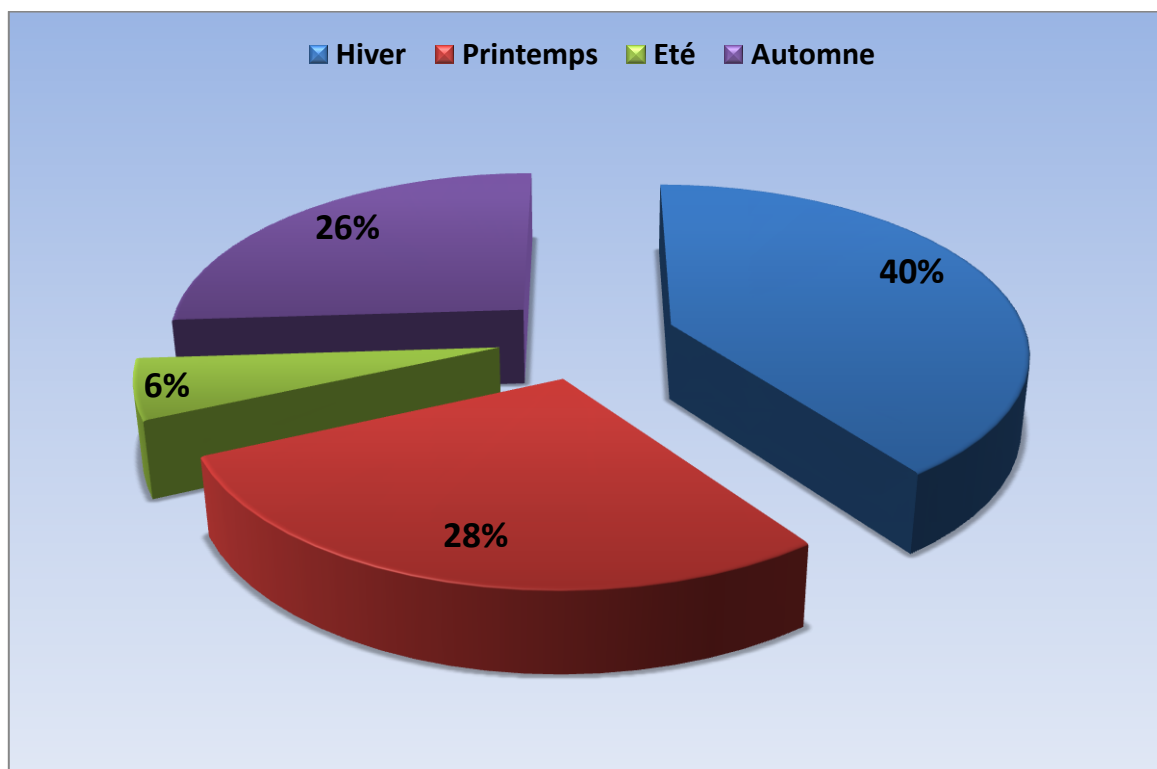


Figure 14 : Pourcentage saisonniers des précipitations pour la période de 2002 à 2015. (BENNOUR S.E & MEKAOUI A.H, 2016)

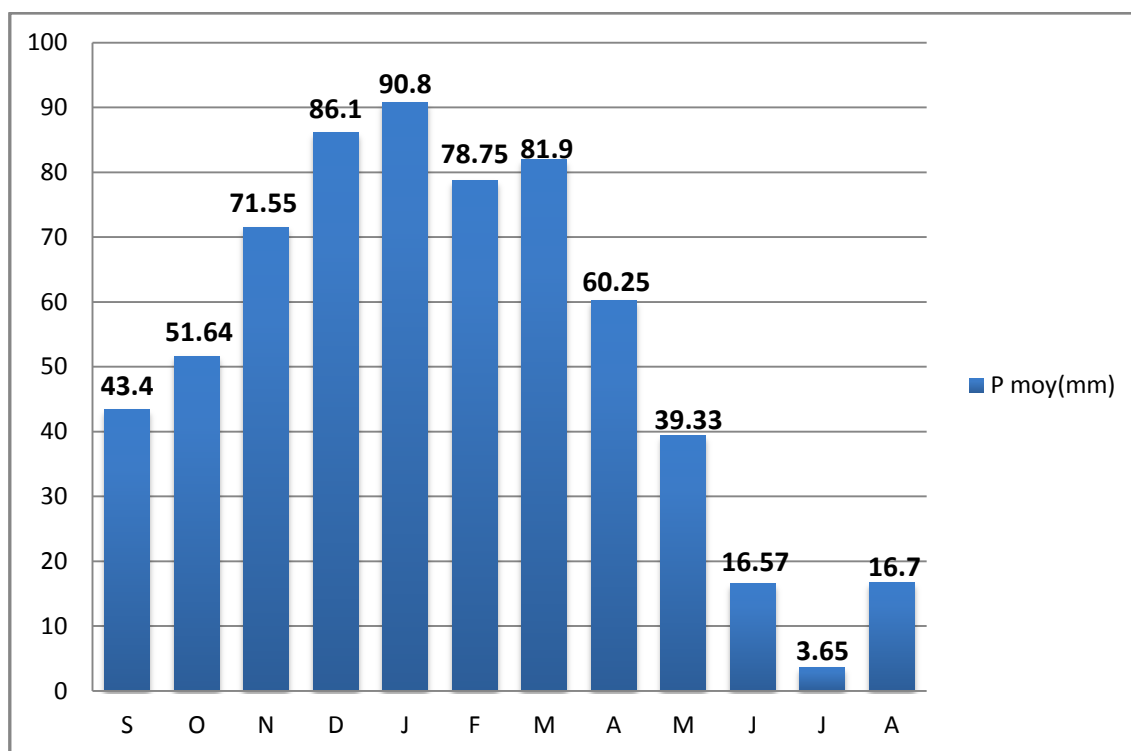
3.1.1.3 Répartition moyennes mensuelles des précipitations

Le tableau 6 et la figure 15 récapitule la répartition des moyennes mensuelles des relevés pluviométriques à la station de Guelma sur la période de 14 ans.

Tableau 6: Répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P moy. (mm)	43.4	51.6	71.6	86.1	90.8	78.8	81.9	60.3	39.3	16.6	3.7	16.7

(ONM 2016)

**Figure 15: Répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma (2002-2015).**

Nous observons une grande irrégularité des précipitations moyennes mensuelles avec un maximum de l'ordre de 90.8 mm enregistré pendant le mois de janvier, un minimum de l'ordre de 3.65 mm enregistré pendant le mois de juillet, et une précipitation moyenne annuelle de 53.4 mm.

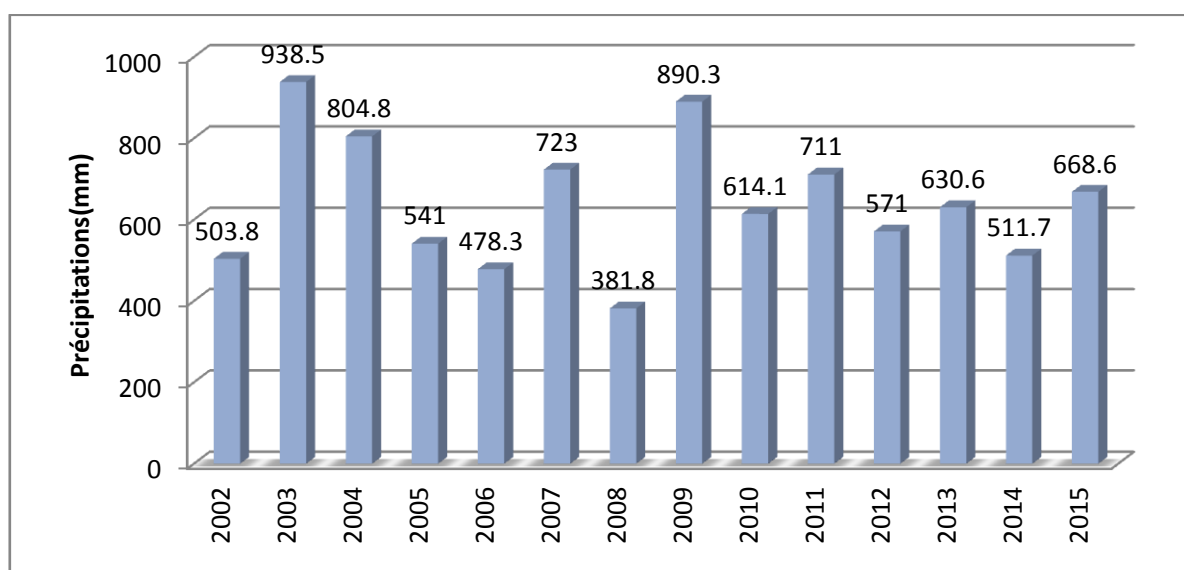
3.1.1.4 Répartition moyennes annuelles des pluies

Sur un cycle de 14 ans (2002-2015), les précipitations observées à la station de Guelma, montrent une grande variabilité d'une année à une autre. Ainsi, l'année la plus arrosée est celle de (2003) avec 938.5 mm/an et l'année la plus sèche est telle de (2008) avec 381.8 mm/an.

Les résultats sont regroupés dans le tableau 7 et la figure 16.

Tableau 7 : Les précipitations moyennes annuelles à la station de Guelma (2002 – 2015)

Années	P (mm)	Années	P (mm)	Années	P (mm)
2002	503.8	2007	723	2012	571
2003	938.5	2008	381.8	2013	630.6
2004	804.8	2009	890.3	2014	511.7
2005	541	2010	614.1	2015	668.6
2006	478.3	2011	711		

**Figure 16: Précipitations moyennes annuelles à la station de Guelma (2002-2015)**

L'analyse des données pluviométriques enregistrées à la station météorologique de Guelma sur la période allant de 2002 jusqu'au 2015 permet de dire que :

- La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 640.6 mm et elle est très variable à l'échelle annuelle.
- Le mois de janvier est le mois le plus arrosé avec une moyenne de 90.8 mm.
- Le mois le moins pluvieux est le mois de juillet avec une moyenne de 3.65 mm.
- La saison hivernale est la plus pluvieuse avec un pourcentage de 40 % de pluie annuelle (une moyenne de 85.2 mm/mois).
- L'été est le plus sec avec un pourcentage de 6% de la pluie annuelle (une moyenne de 12.27 mm/mois), le reste du pourcentage des pluies annuelles est répartie entre le Printemps et l'Automne.

3.1.2 Evolution des Températures

La température est un facteur régissant le phénomène d'évapotranspiration et donc le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les données collectées sont analysées dans les paragraphes qui suivent :

3.1.2.1 Répartition des températures moyennes mensuelles interannuelles

- La période qui s'étale du mois de novembre au mois d'avril correspond à la période froide avec un minimum durant le mois de janvier de (9.65 °C) alors que - la période chaude commence à partir du mois de mai et s'étale jusqu'au mois de septembre avec un maximum pendant le mois de juillet (27.45°C).
- La moyenne annuelle est de l'ordre de 17.9 °C.

Le tableau 8 récapitule les températures moyennes mensuelles interannuelles, qui ont été reportées également dans la figure 17.

Tableau 8: Moyennes mensuelles de la température de l'air à la station de Guelma (2002-2015)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T moy. (°C)	23.64	20.18	14.7	10.84	9.65	9.9	12.44	15.53	19.21	24.01	27.45	27.3

(ONM-2016)

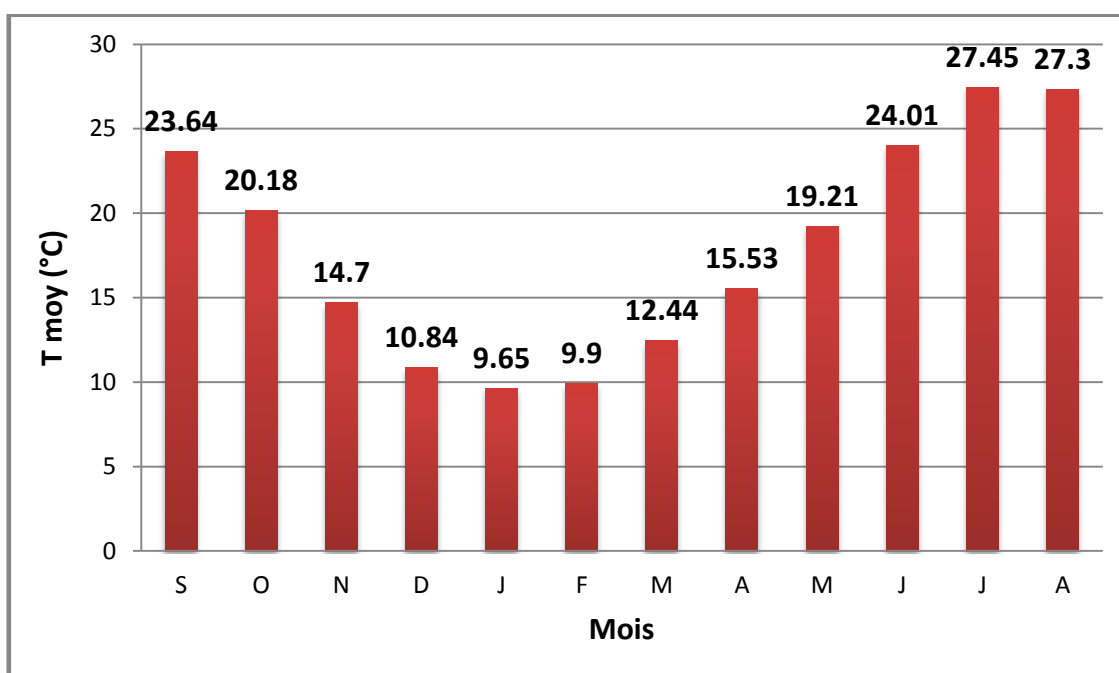


Figure 17 : Répartition moyenne mensuelle interannuelle de la température à la station de Guelma (2002-2015).

3.1.2.2 Variations des températures mensuelles moyennes, minimales et maximales

Tableau 9: Valeurs des températures enregistrées à la station de Guelma (2002-2015)

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUI	AUT
TM°C	29.66	26.01	21.18	17.04	15.91	16.17	19.46	22.98	27.38	32.9	36.6	36.56
Tm °C	17.19	13.98	9.51	5.96	4.68	4.56	6.33	8.74	11.38	15.5	18.54	19.19
T moy.	23.64	20.18	14.71	10.84	9.65	9.9	12.44	15.53	19.21	24.1	27.46	27.3

- TM en °C : Moyennes mensuelles des températures maximales.
- Tm en °C : Moyennes mensuelles des températures minimales.
- (T moy.) : $(M+m)/2$ en °C : Températures moyennes mensuelles.

A partir du tableau 9, les variations des températures moyennes mensuelles, minimales et maximales, représentées dans la figure 18, montrent en général que le mois de Février est le mois le plus froid, avec une température de 4.56°C, et que les mois de Juillet et Août sont les plus chauds , avec une température allant de 36.6°C et 36.56°C , respectivement.

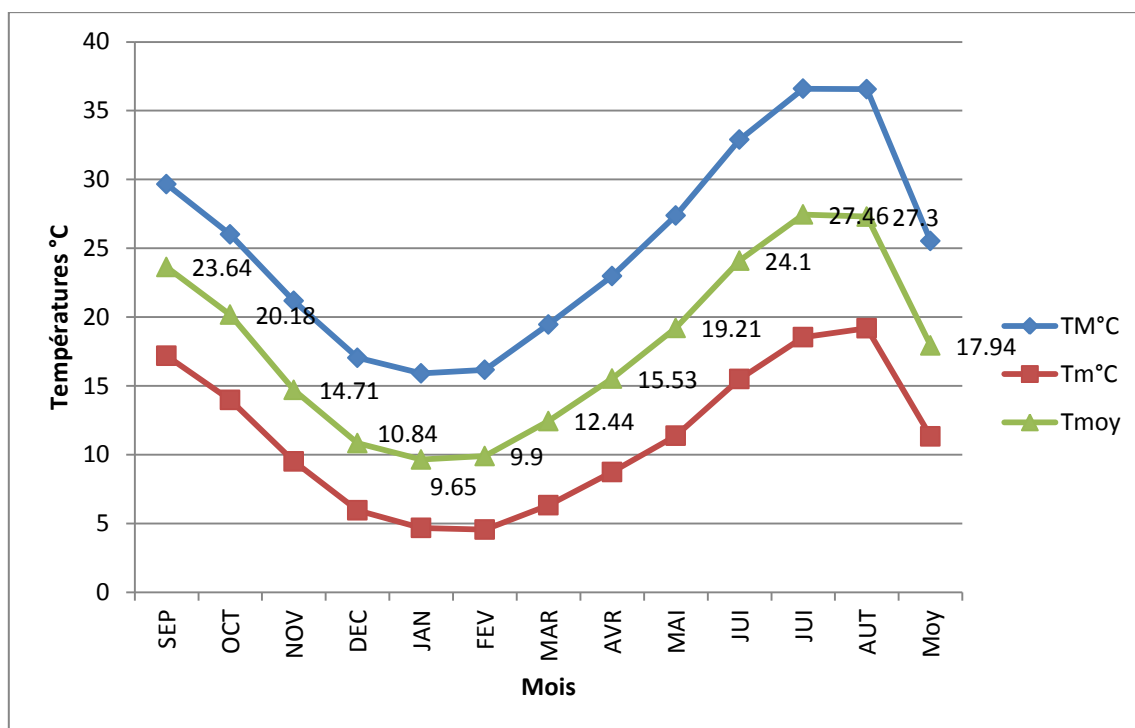


Figure 18: Variations des températures mensuelles moyennes, minimales et maximales de la station de Guelma (2002-2015)

3.1.2.3 Répartition des températures moyennes annuelles (2002-2015)

Le tableau 10 et la figure 19 présentent la variation de la température moyenne annuelle sur une période de 14 ans (2002-2015).

On remarque bien l'irrégularité de ce paramètre : les années les plus chaudes sont 2003 et 2014 avec une température moyenne égale 18.5°C, tandis que les années les plus froides sont les années 2004, 2005 et 2007, avec une moyenne de température égale à 17.5°C (Tableau 11).

Tableau 10: Moyenne annuelle des températures de l'air à la station de Guelma (2002-2015)

Années	T (°C)	Années	T (°C)	Années	T (°C)	Années	T (°C)
2002	18.2	2006	18.4	2010	17.9	2014	18.5
2003	18.5	2007	17.5	2011	17.8	2015	18.1
2004	17.5	2008	17.7	2012	17.9		
2005	17.5	2009	18	2013	17.7		

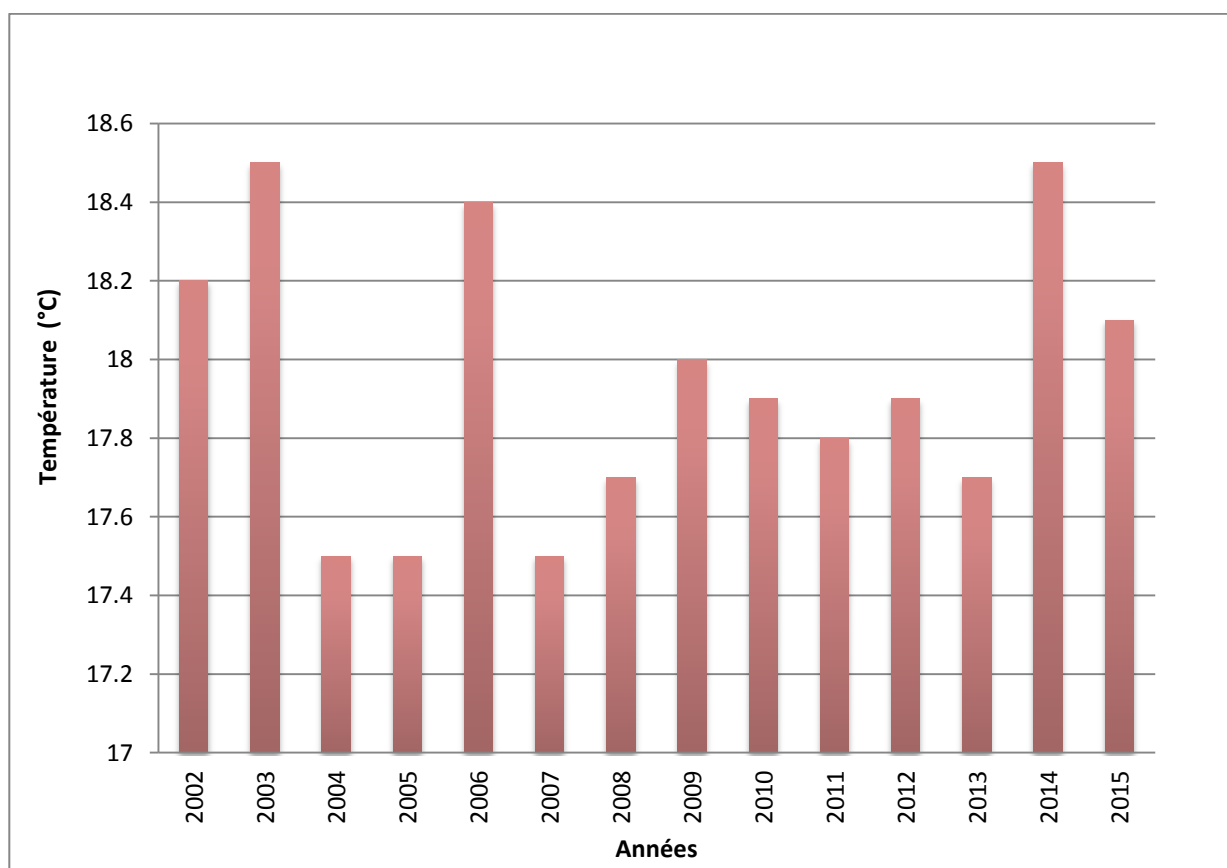


Figure 19 : Variation de températures annuelles à la station de Guelma (2002-2015)

Tableau 11: Récapitulation des données de la température à la station de Guelma

Paramètre	T° moyenne mensuelle interannuelle (°C)		T° moyenne annuelle (°C)			Année la plus froide	Année la plus chaude	Mois le plus froid	Mois la plus chaud
	Min	Max	Min	Moy.	Max				
Guelma	9.56	27.45	17.5	17.94	18.5	2004 2005 2007	2003 2014	Janvier	Juillet

3.2 Diagramme Pluvio-thermique de GAUSSEN

Le diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN est la combinaison des températures et des précipitations mensuelles moyennes.

Le diagramme pluvio-thermique illustré dans la figure 20 fait ressortir deux saisons :

- Une saison sèche qui s'étend entre le mois de Juin jusqu'au mois de Septembre.
- Une saison humide qui dure six mois donc du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai.

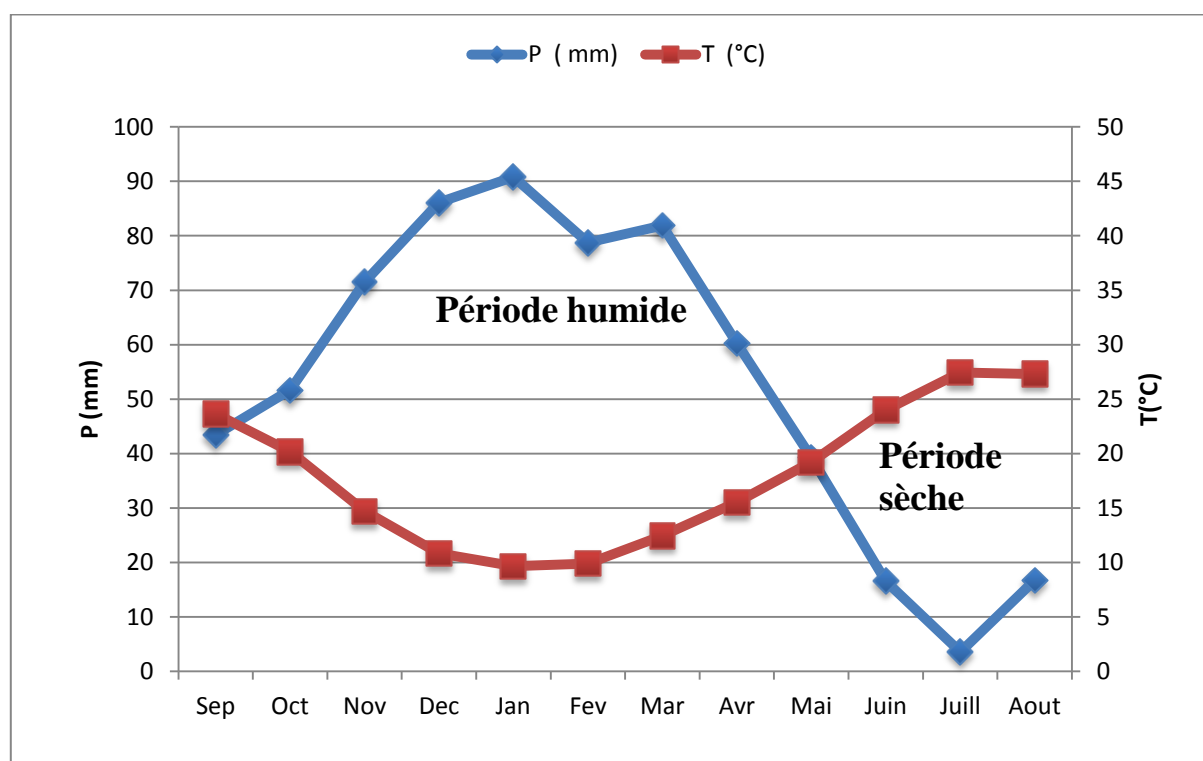


Figure 20: Diagramme Pluvio-thermique de GAUSSEN de la région de Guelma (2002-2015).

3.3 Climagramme d'EMBERGER

Le Climagramme d'EMBERGER permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée. Il est déterminé à partir de la formule:

$$Q2 = 2000P / (M - m),$$

dont

- P: précipitation annuelle (mm)
- M: la température maximale du mois le plus chaud en °C
- m: la température minimale du mois le plus froid en °C

En appliquant la formule suivante élaborée par STEWART pour l'Algérie et le Maroc, soit:

$$Q2 = 3.43P / (M - m) \quad (\text{STEWART, 1968}).$$

Avec:

- Q2 : Quotient pluviométrique d'Emberger.
- P: Précipitation moyenne annuelle (mm).
- M: Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en (°C).
- m: Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en (°C).

Pour notre cas :

$$P = 640.6 \text{ mm}$$

$$M = 27.46 \text{ °C.}$$

$$m = 9.65 \text{ °C.}$$

$$\text{Donc : } Q2 = 3,43 * 640,6 / (27,46 - 9,65) = 123,37$$

La température minimale enregistrée pendant le mois de janvier au cours des 14 ans dans cette station est 9.65 °C, donc, la position de la station de Guelma sur le Climagramme se situe aux coordonnées suivantes (9.65 ; 123.37).

Selon le Climagramme d'Emberger, le climat auquel appartient la zone d'étude est de type Subhumide (**Figure 21**).

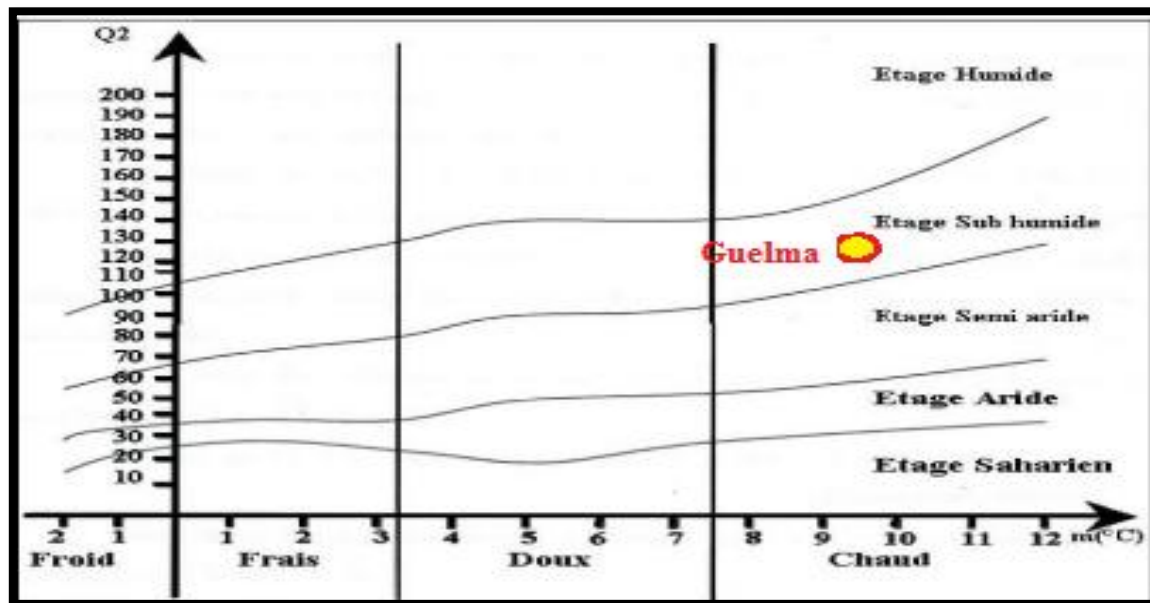


Figure 21 : Position de la station de l'ONM de Guelma sur le Climagramme d'EMBERGER.

3.4 Calcul des paramètres du bilan hydrologique

L'établissement du bilan hydrique d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations reçues sur une surface, entre les différentes composantes suivantes :

Evapotranspiration réelle (ETR), Ruissellement (R) et l'infiltration dans le sous sol.

L'équation du bilan hydrique s'exprime par la relation : $P = ETR + R + I$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en (mm),

R : ruissellement en (mm),

I : infiltration moyenne en (mm),

ETR : évapotranspiration réelle

En conséquence, en plus des précipitations et de l'écoulement qui sont mesurés aux stations climatologiques et hydrométriques, l'établissement du bilan hydrique nécessite aussi la connaissance du paramètre " évaporation", dont l'approche est plus complexe. Quant au dernier membre de l'équation, l'infiltration efficace, difficile à estimer directement, il est déduit après la détermination des 3 autres.

Les précipitations et l'écoulement étant connus, nous donnons, ci- dessous, une approche de l'évapotranspiration potentielle et réelle, par méthodes empiriques.

3.4.1 L'évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si celui-ci contient en permanence la quantité d'eau suffisante, alors que l'évapotranspiration réelle (ETR) correspond à la quantité d'eau effectivement transpirée et évaporée.

3.4.1.1 L'évapotranspiration potentielle (ETP)

On utilise la méthode de C.W Thornthwaite pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP), Selon cette méthode, l'estimation de l'ETP s'effectue à l'aide d'une formule empirique permettant de calculer le pouvoir évaporant (en mm) pour chaque mois.

$$ETP = 16(10T/I)^a \cdot K$$

Avec :

- ETP : évapotranspiration potentielle annuelle en mm,
- T : température moyenne mensuelle en °C,
- I : somme des indices thermiques mensuels i ; $i = (T/5)^{1.514}$
- K : facteur de correction mensuel, fonction de la durée de la journée,
- a : exposant climatique : $a = 0.016 I + 0.5$.

Les résultats sont résumés dans les tableaux ci-dessous (bilan hydrique), et illustrés dans les figures 22.

3.4.1.2 L'évapotranspiration réelle (ETR) (Thornthwaite)

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, on utilise la méthode de C.W.Thornthwaite, où

On distingue deux principaux cas :

- Si $P - ETP > 0$; c.-à-d. : $P > ETP$, dans ce cas $ETR = ETP$.
- Si $P - ETP < 0$; c.-à-d. : $P < ETP$, ce cas est encore subdivisé en deux cas :
 - Si $P + RFU > ETP$ $ETR = ETP$
 - Si $P + RFU < ETP$ $ETR = P + RFU$.

Les résultats des calculs sont résumés dans les tableaux ci-dessous (bilan hydrique).

3.4.2 Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU)

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de

plusieurs facteurs :

- La nature, la composition lithologique et l'épaisseur de la couche superficielle ;
- La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère ;
- Le climat de la région ;
- Le type de la couverture végétale.

Dans notre cas, on prend une valeur de la RFU égale à 100 mm.

3.5 Etablissement du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite

- Le bilan hydrique établi par la méthode de Thornthwaite pour la station de Guelma a montré que l'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (174,6 mm) et son minimum au mois de Janvier (17 mm).
- La constitution de la RFU débute au mois de novembre et s'étale jusqu'au mois de Mai.
- Le bilan hydrique pour une période de 14 ans du bassin versant de la moyenne Seybouse est déficitaire, les valeurs obtenues de l'évapotranspiration potentielle et réelle, le déficit agricole et l'excédent sont représentés dans le tableau 12.

Tableau 12: Bilan hydrique selon Thornthwaite dans la station de Guelma.

	Tp	IT	CL	ETP	Pr	RFU=100	ETR	Def	Exc
Sep	23.64	10.5	1.03	109.3	43.4	0.0	43.4	65.9	0.0
Oct	20.18	8.3	0.97	76.3	51.64	0.0	51.6	24.7	0.0
Nov	14.7	5.1	0.86	37.2	71.55	34.4	37.2	0.0	0.0
Dec	10.84	3.2	0.81	19.7	86.1	100.0	19.7	0.0	0.8
Jan	9.65	2.7	0.87	17.0	90.8	100.0	17.0	0.0	73.8
Fev	9.9	2.8	0.85	17.4	78.75	100.0	17.4	0.0	61.4
Mar	12.44	4.0	1.03	32.5	81.9	100.0	32.5	0.0	49.4
Avr	15.53	5.6	1.10	52.8	60.25	100.0	52.8	0.0	7.5
Mai	19.21	7.7	1.21	86.8	39.33	52.6	86.8	0.0	0.0
Juin	24.01	10.8	1.22	133.3	16.57	0.0	69.2	64.1	0.0
Juill	27.45	13.2	1.24	174.6	3.56	0.0	3.6	171.0	0.0
Aout	27.3	13.1	1.16	161.6	16.7	0.0	16.7	144.9	0.0
Annuel	17.9	86.8		918.5	640.6		447.8	470.6	192.8

P : Précipitation moyenne mensuelle (mm)

ETR : Evapotranspiration réelle (mm)

T : Température moyenne mensuelle (°C)

RFU : Réserve facilement utilisable (mm)

i : indice thermique mensuelle

Ex : Excédent (mm)

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm)

DA : Déficit agricole (mm)

3.5.1 Interprétation du Bilan hydrique

Le bilan d'eau établi par la formule de Thornthwaite montre que l'ETP atteint son maximum au mois de juillet (174.6 mm) et son minimum au mois de janvier (17 mm).

La reconstitution de la RFU s'effectue au mois de novembre (34.4 mm) et atteint son maximum (100 mm) à partir du mois de décembre jusqu'au mois d'avril, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.

L'excédent égal à (192.8 mm/an) représentant 30.1% des précipitations annuelles alors que l'ETR est de l'ordre de 447.8 mm représentant 70% des précipitations annuelles.

Le déficit agricole DA débute au mois de juin, et se poursuit jusqu'au mois d'octobre.

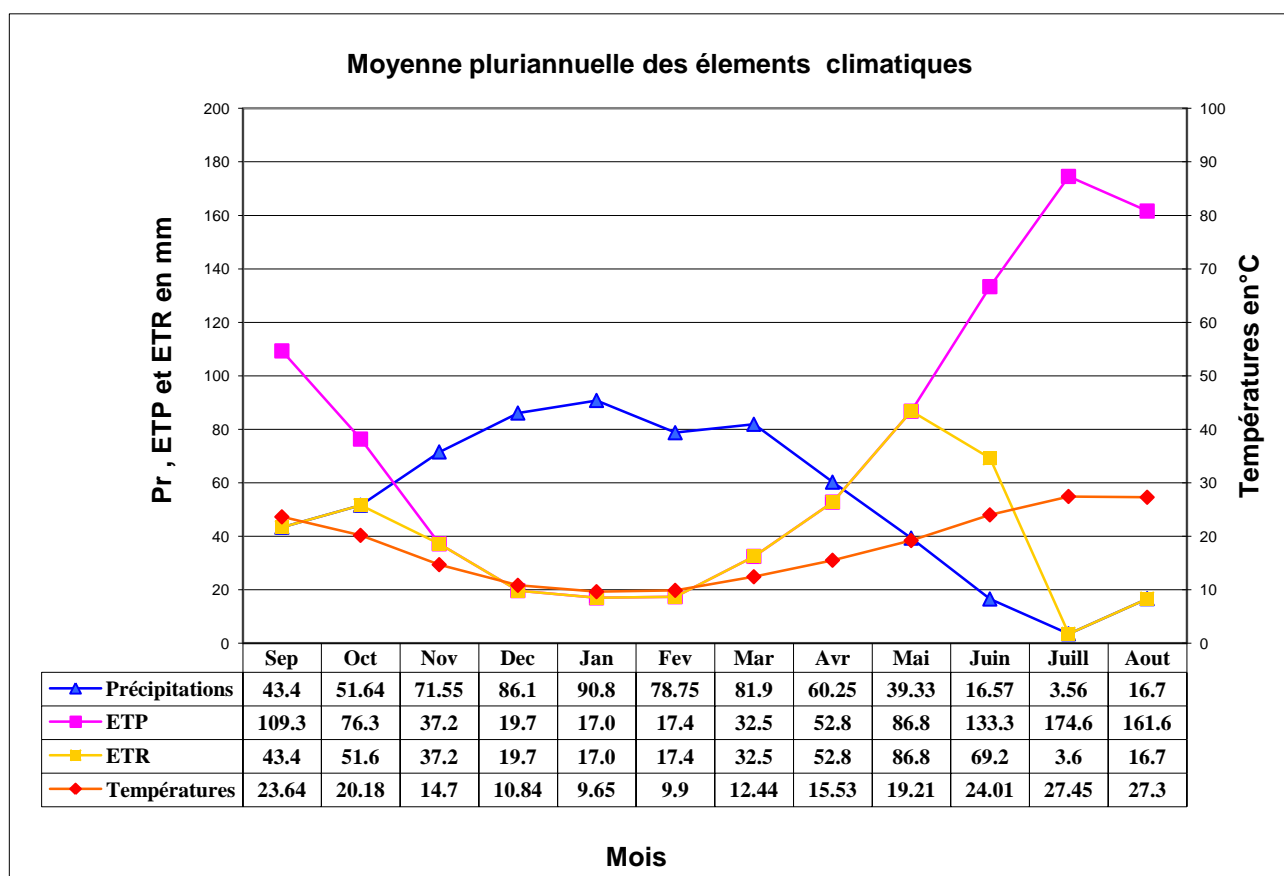


Figure 22 : Représentation graphique des paramètres du bilan hydrique (2002-2015).

3.6 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,

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

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

Avec :

R : Ruissellement (mm)

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

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

Station de Guelma :

$$P = 640.6 \text{ mm} \Rightarrow R = (640.6)^3 \div 3 = (103.87)^3 \text{ mm soit } 16.2 \% \text{ des précipitations.}$$

3.7 Infiltration

D'après le bilan global :

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

On a le bilan global :

$$P = R + I + \text{ETR} \quad \longrightarrow \quad I = P - R - \text{ETR}$$

Avec :

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 = 640.6 mm, ETR = 447.8 mm, R = 103.87mm I = 88.93 mm soit 13.88 % des précipitations.

Tableau 13 : Les différentes composantes du bilan hydrique

Paramètres	P (mm/an)	R (mm/an)	I (mm/an)	ETR (mm/an)	ETP (mm/an)	Déficit (mm/an)
Station de Guelma	640.6	103.87	88.93	447.8	918.5	470.6
	100 %	16.2 %	13.9 %	69.9%	/	/

4. Géologie et Hydrogéologie**Introduction**

La composition chimique des eaux superficielles, est liée aux produits solubles de l'altération des roches.

Pour une meilleure connaissance des différentes caractéristiques chimiques de cette eau, il est indispensable de donner un aperçu plus ou moins détaillé sur l'aspect géologique du terrain.

La région de Guelma fait partie de l'ensemble géologique du Tell d'Algérie Nord orientale. Cet ensemble s'étend de la région de Constantine à la frontière Algéro-Tunisienne à une longueur d'environ 200 kilomètres. Sa structure est très complexe et essentiellement due à des mouvements tectoniques Tertiaires, surtout Miocène.

Cependant la connaissance de l'hydrogéologie de la région est très intéressante car elle permet d'envisager les échanges souterrains qui peuvent se produire dans les aquifère. En se basant sur la description géologique des terrains ainsi que sur les caractéristiques hydrogéologiques de chaque formation.

4.1 Cadre géologique de la moyenne Seybouse.**4.1.1 Stratigraphie.**

La région étudiée est caractérisée par des formations géologiques appartenant aux différents domaines paléogéographiques (**Figure 23**).

On rencontre des terrains allant du Primaire jusqu'au Quaternaire.

4.1.1.1 Trias

C'est la formation géologique la plus ancienne datée dans la région. Elle affleure uniquement à l'extrémité de Nador sous trois faciès :

- Trias inférieur: constitué d'argile d'aspect schisteux affleurant au Nord du massif de Nador.
- Trias moyen: formé de calcaires lités à cassures, contenant quelques bancs de calcaires vermiculés (calcaires à fucoïdes).
- Trias supérieur: se rencontre à l'Est de Djebel Debagh, caractérisé par des alternances de marne et de schiste de faibles épaisseurs.

4.1.1.2 Néritique

Il est caractérisé par un faciès Jurassique-Crétacé plus au moins karstifié. Il apparaît aussi sous forme de fenêtre au Djebel Mahouna, Djebel Debagh, Nador et plus à l'Ouest au Djebel Taya.

4.1.1.2.1 Jurassique.

Les terrains du Jurassique sont représentés par des dolomies noires avec des schistes calcaireux de faibles épaisseurs dans la région de Djebel Debagh.

4.1.1.2.2 Crétacé

- Le Crétacé inférieur est représenté par des calcaires massifs ou lissés et de dolomie à Algues d'âge Aptien. On le rencontre à Hammam Bredâa et Djebel Debagh.
- Le Crétacé moyen est représenté par des calcaires massifs ou lithiques et calcaranites.
- Le Crétacé Supérieur est caractérisé par des niveaux calcaireux dolomitiques riches en Orbitolines et des débris à Rudiste datant du Cénomaniens-Vraconien et d'épaisseur limitée.

4.1.1.3 Domaine des nappes.

4.1.1.3.1 La nappe Numidienne.

Elle forme les hauteurs des reliefs gréseux de part et d'autre de la Seybouse, on la retrouve :

- Au Nord-Est et au Sud-est (Djebel Bouzitoun),
- Au centre et à l'Est (les massifs boisés de Houara et Béni Mezline).

Généralement, la nappe numidienne est marquée par la présence de deux faciès essentiels : les grès et les argiles.

4.1.1.3.2 Domaine des flyschs.

Ce sont des dépôts de Mer profonde d'âge allant du Crétacé inférieur jusqu'à l'Oligocène.

On distingue :

➤ **Les flyschs de Penthièvre.**

Ils sont formés au Sud-est de Djebel Debagh par une série sensiblement continue depuis le Cénomaniens jusqu'à l'Oligocène, on y rencontre :

- Flysch grésos-micacés à patine jaunâtre d'âge Oligocène.
- Flysch à micro brèches rousses formés par des argiles à micro brèches assez fine du Priabonien à l'Oligocène.
- Flysch conglomératique à Nummulites d'âge Lutétien.

➤ **Les flyschs de Guerouche**

Ce flysch affleure au Sud de la pointe orientale de Djebel Debagh et à l'Ouest de la forêt de Béni Mezzeline. On distingue :

- Le grès du Crétacé inférieur : C'est une série essentiellement gréseuse à mince intercalation argilo-schisteuses grises ou brunâtres.
- Le complexe de base à calcaires fins : C'est une série argilo-gréseuse avec de nombreuses intercalations de biomicrocrites claires, elle affleure au Sud de la pointe orientale de Djebel Debagh.

4.1.1.3.3 Nappe ultra tellienne.

Représentée par un faciès dominant de marne et de marno-calcaires avec des barres de microcrites à macrofaune, on distingue:

- Sénonien: représenté par une alternance de marnes claires beiges et marno-calcaires en petits bancs riches en rosalines.
- Cénomaniens: formé à la base par des marno-calcaires beiges, et des niveaux de schistes pélicolites gris au sommet.
- Turonien: est formé par des petits niveaux marneux ou marno-calcaires riches en rosalines.
- Albo-Cénomaniens: représenté par des calcaires à grandes dalles de microcrites à radiolaires.
- Barrémo-Aptien: caractérisé par des marnes claires à altération grise ou bleue avec des petites intercalations de marnes noires.

4.1.1.3.4 Nappe Tellienne.

Cette unité correspond au domaine tellien externe, constitué par des nappes allochtones de matériels épais et profond d'âge Crétacé – Paléogène, ces unités chevauchent l'autochtone et apparaissent en fenêtres. On distingue de haut en bas :

➤ **Unité tellienne à nummulites**

On distingue:

- Paléogène à marnes noires;
- Eocène à calcaires massifs à Nummulites;
- Lutétien inférieur à marnes à débris d'huîtres.

➤ **Unité tellienne à globigérines**

On distingue:

- Paléogène formé de marne;
- Eocène à calcaire en banc à Lumachelles;
- Lutétien inférieur à marnes noires à débris d'huîtres.

4.1.1.4 Le Mio-Pliocène

Les argiles à gypse grise probablement d'âge Massylien renfermant des intercalations marno-calcaires et de gypse en couches minces ou en masses litées.

Les argiles rouges à conglomérats roulés rouges également témoignent de l'activité d'une phase d'érosion intense en milieu rubéifiant.

La mollasse de Guelma bien développée au Sud est une épaisse série de grès jaunâtre friable rarement grossier avec des intercalations d'argiles marneuses grises ou jaune parfois gypseuses.

4.1.1.5 Le Quaternaire

Il occupe le centre du sous bassin, il est représenté par :

4.1.1.5.1 Le Quaternaire ancien

Il s'agit de tufs et calcaire lacustre, le calcaire tuffacé de couleur grise ou blanc-rosée cet ensemble affleure au Sud de Guelma aux environs de Ben Djarrah et aux alentours du village d'Héliopolis.

4.1.1.5.2 Le Quaternaire actuel

Il est représenté par les alluvions du lit de l'Oued Seybouse:

A. Les alluvions anciennes

La Seybouse a déposé des quantités énormes de matériaux détritiques formant le remplissage du bassin d'effondrement et possédant une grande importance du point de vue hydrogéologique.

Il existe trois terrasses principales :

- **La basse terrasse**

Ces alluvions dominent le lit actuel de la Seybouse environ 15 m, il s'agit de sable, limons et cailloux roulés bruns claires ou grisâtres formant des terres facilement cultivables destinées aux cultures maraîchères et aux agrumes.

- **La moyenne terrasse**

De 3 à 50 m d'altitude, caractérisé par des sables, limons, galets et des blocs roulés dans une patine à couleur ocre avec un agencement. Elle est représentée surtout dans la partie sud de la vallée.

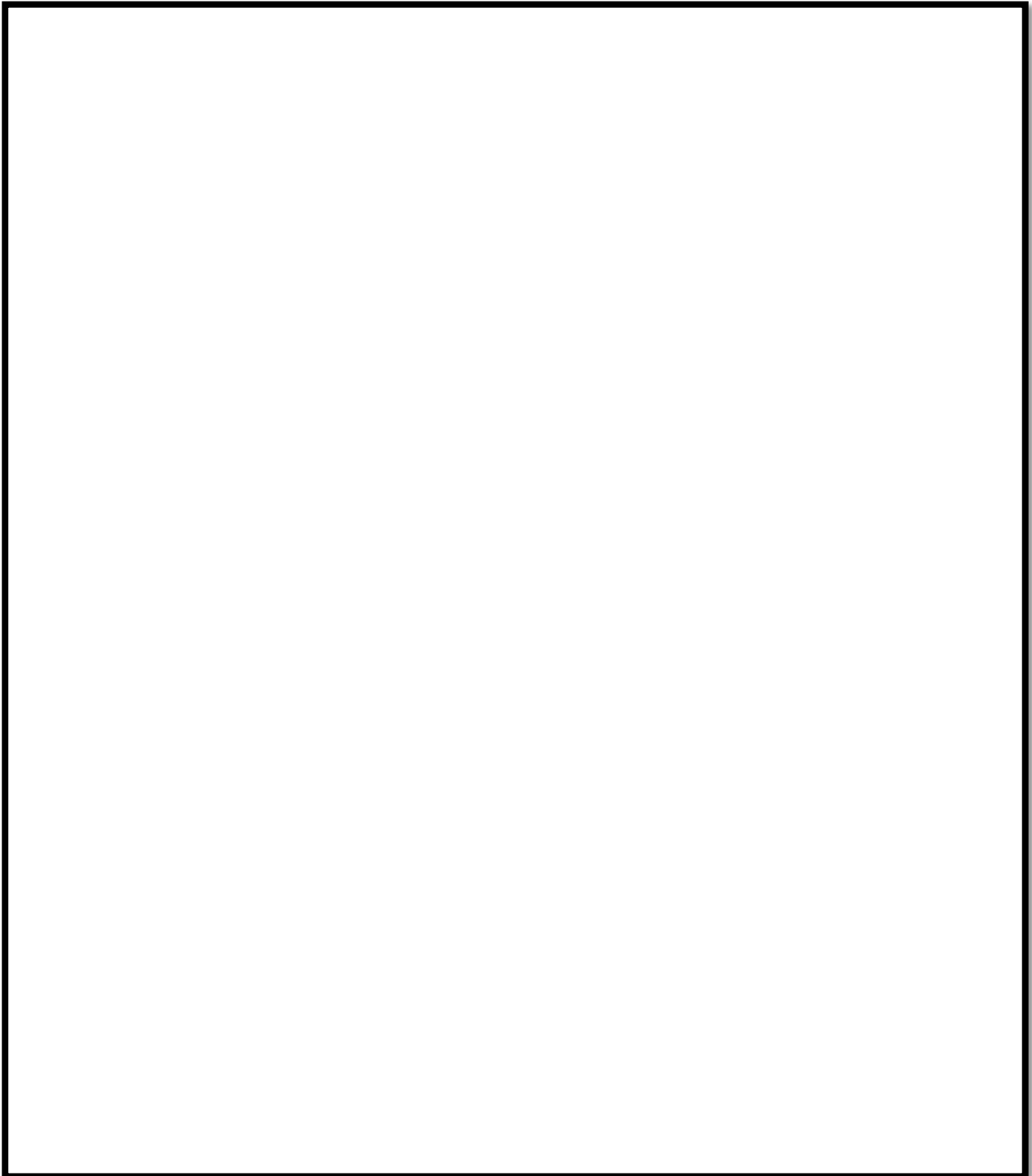
- **La haute terrasse**

D'environ 100 m d'altitude relative. C'est une formation d'âge Saletien présentant un énorme épandage en pente douce vers le Sud. Lithologiquement, elle est constituée par des gros galets de Numidien de type Râna et conglomérats. Le Djebel Zemzomma présente un exemple typique, il atteint 100 m d'épaisseur.

B. Les alluvions actuelles (récentes)

Elles forment la majeure partie de la vallée principale actuelle de l'Oued Seybouse. Ce sont des cailloutis, galets, graviers et calcaires parfois à ciment marneux.

Figure 23: Carte de la géologie de la zone d'étude



Carte provisoire (incomplète).

4.2 Reconstitution paléogéographique

Le paysage de la région de Guelma a été édifié suite à la manifestation de plusieurs phases tectoniques responsables de la disposition actuelle des différentes unités allochtones.

Ainsi, la naissance du relief actuel a débuté pendant le Miocène inférieur suite à une compression de l'édifice; il y a eu une transgression de la mer Miocène. Le résultat était l'emplacement des unités telliennes dans le Sillon de Sellaoua et sur le domaine Néritique. Les formations Numidiennes viennent à la fin pour couronner tout l'ensemble.

A partir du Miocène supérieur la mer a connu une régression et l'édifice a subi une phase de réajustement en menant un effondrement qui conduit à la naissance du bassin actuel. Ce phénomène d'effondrement est facilité par l'existence de grands reliefs de part et d'autre du bassin : Houara au Nord et la Mahouna au Sud. Cet édifice était exposé à une érosion continue qui a mis à jour les alluvions couvrant la vallée en formant les terrasses et le remplissage du bassin.

4.3 Schéma structural

Se situant dans la chaîne alpine de l'Algérie Nord – orientale, notre zone a subi une série de mouvements tectoniques à travers les temps géologiques. Les études des différents auteurs ont mis en évidence plusieurs phases tectoniques qui peuvent se résumer ainsi :

4.3.1 Phase Préabonienne

Marque la fin du grand cycle de sédimentation commencé avec le Trias Supérieur. Elle est responsable de la genèse des nappes des flyschs et des nappes telliennes, y compris les plus méridionales où sont enregistrés des plis couchés spectaculaires.

4.3.2 Phase tangentielle Tortonienne

Pendant cette phase les nappes telliennes résultant de superpositions plus anciennes sont reprises en blocs.

4.3.3 La néo-tectonique post-tortonienne

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

L'accident qui borde au Nord le bassin Mio-Pliocène de Constantine et de Guelma est le mieux défini. Cette grande faille est interceptée par de petites failles perpendiculaires.

L'étude de bassin de Guelma a mis en évidence une succession de compression et distension modérée "cela conduit à estimer que le bilan de la néo-tectonique est essentiellement créateur de relief (J.M. Villa, 1974).

4.4 La tectonique

La tectonique de la zone renferme deux phases : l'Eocène et Tortonien.

L'allochtone du Crétacé pélagique Ultra-Tellien du Djebel Bousbâa est évident puisque celui-ci surmonte des formations de même âge et de faciès différents (faciès néritique).

L'autochtone du massif numidien est plus difficile à préciser dans la région de Guelma, cependant celui-ci est clair plus au sud, par exemple Djebel Bardou (Sedrata), J.M Villa, 1974.

Plus au Nord de la région de Ain Berda, les flyschs Mauritanien et Massylien sont coulés entre les nappes telliennes et numidiennes;

La tectonique de la région est très compliquée dans le détail, on peut remarquer les principales sources thermominérales se situent au croisement des plis de directions Sud – Ouest, Nord –Est et Nord – Sud.

4.5 Hydrogéologie

L'étude hydrogéologique d'un bassin est nécessaire pour la détermination des différents aquifères existants et pour une meilleure connaissance des différentes formations qui les constituent. Dans le système hydrogéologique de la plaine de Guelma, l'Oued Seybouse coule entre deux seuils imperméables : les marnes du Crétacé à l'Ouest et les marnes du Trias à l'Est (au niveau du Nador).

Il s'agit d'une zone d'effondrement remplie par des dépôts du Miocène (argile et marnes à gypse) et Quaternaire (alluvions hétérogènes sous forme de terrasses). Ces alluvions souvent très perméables et surtout très épaisses contiennent une nappe importante alimentée par les infiltrations des eaux de pluies et par les apports latéraux du bassin versant de la Seybouse.

4.5.1 Nappe de Guelma

Elle se présente sous forme de cuvette qui s'étend depuis Medjez Amar au Nord-Ouest à Nador au Sud-est sur près de 50 Km². Elle est constituée essentiellement par un remplissage de matériaux alluvionnaires et détritiques de la haute terrasse.

L'orientation, Nord-Ouest Sud-est, de ces formations correspond à l'écoulement de l'ancien lit de l'Oued Seybouse.

Il convient de noter que les meilleures zones aquifères apparaissent comme centrées entre Guelma et l'Oued Boussorra ce qui témoigne de l'intense activité de certains affluents de la Seybouse (Oued Maïz, Oued Zimba et Oued Bousorra) qui ont formé de véritables cônes de déjection à leur débouché. Le substratum des formations alluvionnaires est constitué essentiellement par des marnes gypseuses d'âge Miocène.

4.5.2 Les grands ensembles hydrogéologiques

La région de Guelma est constituée par des terrains d'âge Crétacé, Oligocène, Mio-pliocène, Eocène, Paléocène et Quaternaire.

Le fond du bassin de Guelma est un géosynclinal comblé par des argiles marno-calcaires, des grès et de calcaires lacustres.

Les formations numidiennes se développent largement au Sud et occupent la partie montagneuse de la Mahouna et apparaît en lambeaux par endroits de Ben Smih.

Le bassin de Guelma présente plusieurs ensembles lithologiques qui impliquent des zones hydrogéologiques différentes. Au Sud, un matériel permettant une importante accumulation en eau souterraine mais fracturée ce qui favorise l'infiltration et défavorise la formation des nappes aquifères. Sur la rive gauche de la Seybouse, on rencontre des formations pour lesquelles l'infiltration se fait très difficilement. Enfin, au centre, les alluvions Quaternaires (poudingues, graviers, galets, limons...) à forte perméabilité renferment une nappe très importante. La géométrie de l'aquifère tient même du mode géologique (**Figure 24**) (Nouar, 2014).

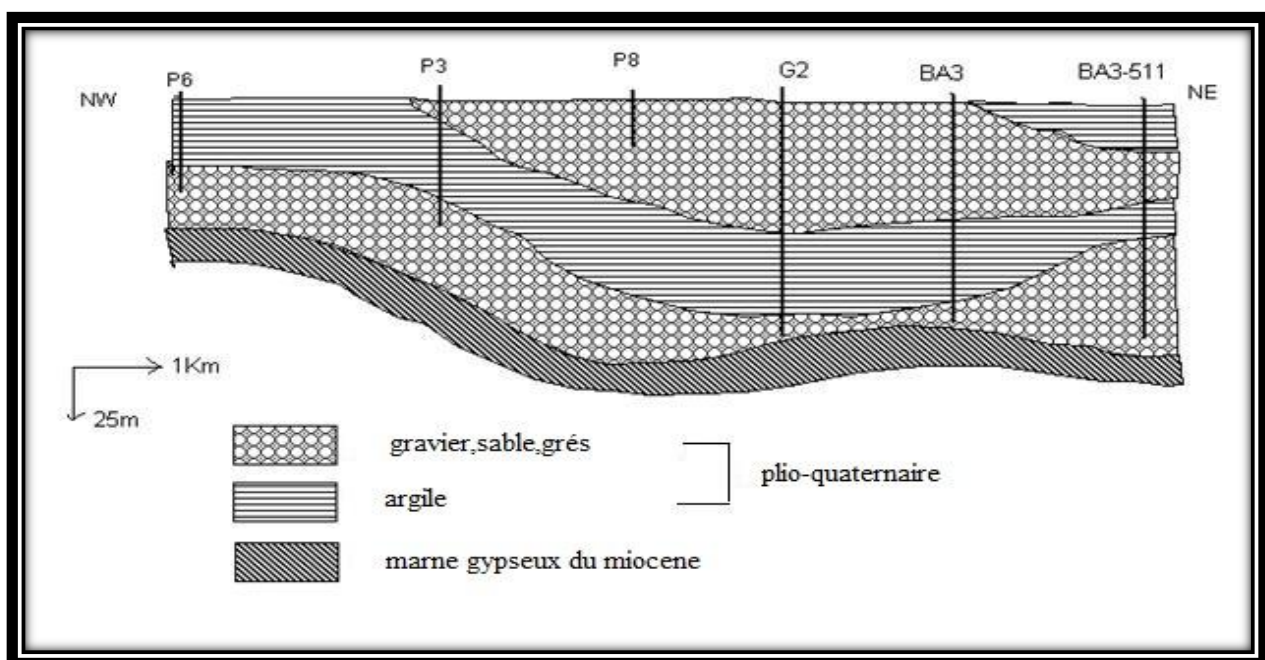


Figure 24 : Géométrie de l'aquifère.

Conclusion

Le bassin de la moyenne Seybouse se distingue par ses caractéristiques physiques et géomorphologiques uniques, que traduisent les différents aspects étudiés.

Aspect géographique et géomorphologique :

La zone d'étude située au nord est de l'Algérie, présente une forme allongée avec une superficie de l'ordre de 818.154 Km², elle est drainée par le principale cours d'eau qui est l'Oued Seybouse qui s'écoule d'Ouest vers l'Est sur une distance de 55.30 Km.

C'est une cuvette avec un fond relativement plat, un versant Sud avec des altitudes pouvant dépasser 1100 m (Djebel Mahouna : 1403 m, Djebel Nguib : 1134 m) et un versant Nord qui dépasse parfois 600 m d'altitude (Djebel Es-Sebaa : 619 m, Djebel Houara : 834m).

Aspect socio-économique :

Cette région présente de grandes potentialités naturelles et économiques, à dominante agricole et fortement peuplée en son centre.

La richesse de cette région a été à l'origine de son attractivité : les populations se sont progressivement concentrées sur les terres les plus riches, si bien que les ressources naturelles (eau, terre, air, végétaux et animaux) se trouvent largement menacées du fait de l'activité intense générée par l'agriculture, l'industrie, le transport et l'urbanisation.

Aspect climatique :

Le bassin versant de l'Oued Seybouse est caractérisé par un climat de type Sub-humide, caractérisé par deux saisons distinctes : l'une humide et l'autre sèche.

La température moyenne y est de 17,9 °C alors que la moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 640,6 mm dont 69,9% sont perdus par évapotranspiration. Le reste des précipitations est partagé presque à part égale entre le ruissellement (16.2 %) qui va rejoindre principalement les Oueds et l'infiltration (13.88%) qui va recharger les nappes souterraines.

Le bilan hydrique établi au cours de notre étude permet d'apprécier la part respective des précipitations, des écoulements et donc du déficit d'écoulement), qui constituent les principaux termes dudit bilan ; on a pu ainsi constater que :

- Le bilan est dans son ensemble déficitaire, bien qu'il soit excédentaire du mois de décembre jusqu'à avril.
- L'évapotranspiration réelle est de l'ordre de 447,8 mm/an, ce qui présente 69.9 % des précipitations ;

- Le ruissellement est de 103.87 mm/an soit 16.2 % des précipitations ;
- L'infiltration est de l'ordre de 88.93 mm/an, soit 13.88% des précipitations.

Ces valeurs montrent que l'alimentation directe de la nappe par les eaux de pluie à travers les alluvions de la terrasse reste faible, ce qui laisse envisager d'autres sources d'alimentations indirectes : les calcaires travertins qui bordent la plaine contribuent largement à l'alimentation de la nappe.

Aspect hydrogéologique :

L'étude géologique à l'échelle régionale permet de comprendre la disposition exacte de notre zone d'étude dans l'ensemble géologique régional et de dévoiler sa structure et sa lithologie au sein de ce vaste ensemble géologique.

Notre zone d'étude fait partie de la chaîne alpine d'Afrique du Nord ou chaîne des Maghrébides qui y fait partie elle-même de l'orogénèse alpine périméditerranéen, d'âge Tertiaire. Cette chaîne des Maghrébides est constituée de domaines paléogéographiques différents.

La géologie de la région est caractérisée par des formations allant du Trias jusqu'au Quaternaire, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement : les alluvions (sable, gravier,...), le grès, les marnes, les argiles, et les calcaires.

Du point de vue hydrogéologique, c'est une zone d'effondrement comblé par des dépôts alluvionnaires très perméables qui contiennent une nappe importante alimenté par les eaux d'infiltrations et par les apports latéraux du bassin versant de la Seybouse.

1. Méthodes et stratégie de travail

L'étude expérimentale consiste à effectuer des analyses physico-chimiques de l'eau de l'oued Seybouse.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au sein du laboratoire d'hydrogéologie du département des Sciences de la Terre, de Géographie et de l'Aménagement du Territoire de l'université de Constantine.

L'étude de qualité de l'oued Seybouse comporte trois étapes :

- Prélèvement, échantillonnage
- Mesures *in situ* et transport.
- Analyse physico-chimique, (au laboratoire).

Les techniques d'analyses utilisées sont celles décrites par RODIER .2009.

1.1. Échantillonnage et modes de prélèvements

La Seybouse est considérée parmi les oueds les plus importants à l'échelle nationale en termes de superficie, son eau est utilisée par les agriculteurs pour irriguer leurs cultures et il est également un drain pour les eaux usées d'un ensemble d'une partie de la ville de Guelma et ces villages, ce qui augmente sa charge polluante. L'oued Seybouse traverse plusieurs zones et contribue soit à leur épuration soit à leurs contaminations ce qui fait de lui un distributeur de pollution.

Dans le but de connaître ce rôle nous avons réalisé un échantillonnage le long de l'Oued Seybouse avec 55.30 km de longueur (**figure 25**) qui commence à la jonction des deux Oueds (Oued Cherf et Oued Bouhamdène) et qui se termine au niveau de la jonction Oued Mellah et Oued Seybouse.

Cinq stations a été choisi de l'amont vers l'aval pour les prélèvements selon une répartition et une fréquence différente d'un site à un autre, qui dépend de la nature des eaux, du type des formations géologiques des implantations industrielles et agricoles.

Les échantillons sont pris dans des bouteilles en plastique de 1,5 litre bien nettoyés (**figure 26**).

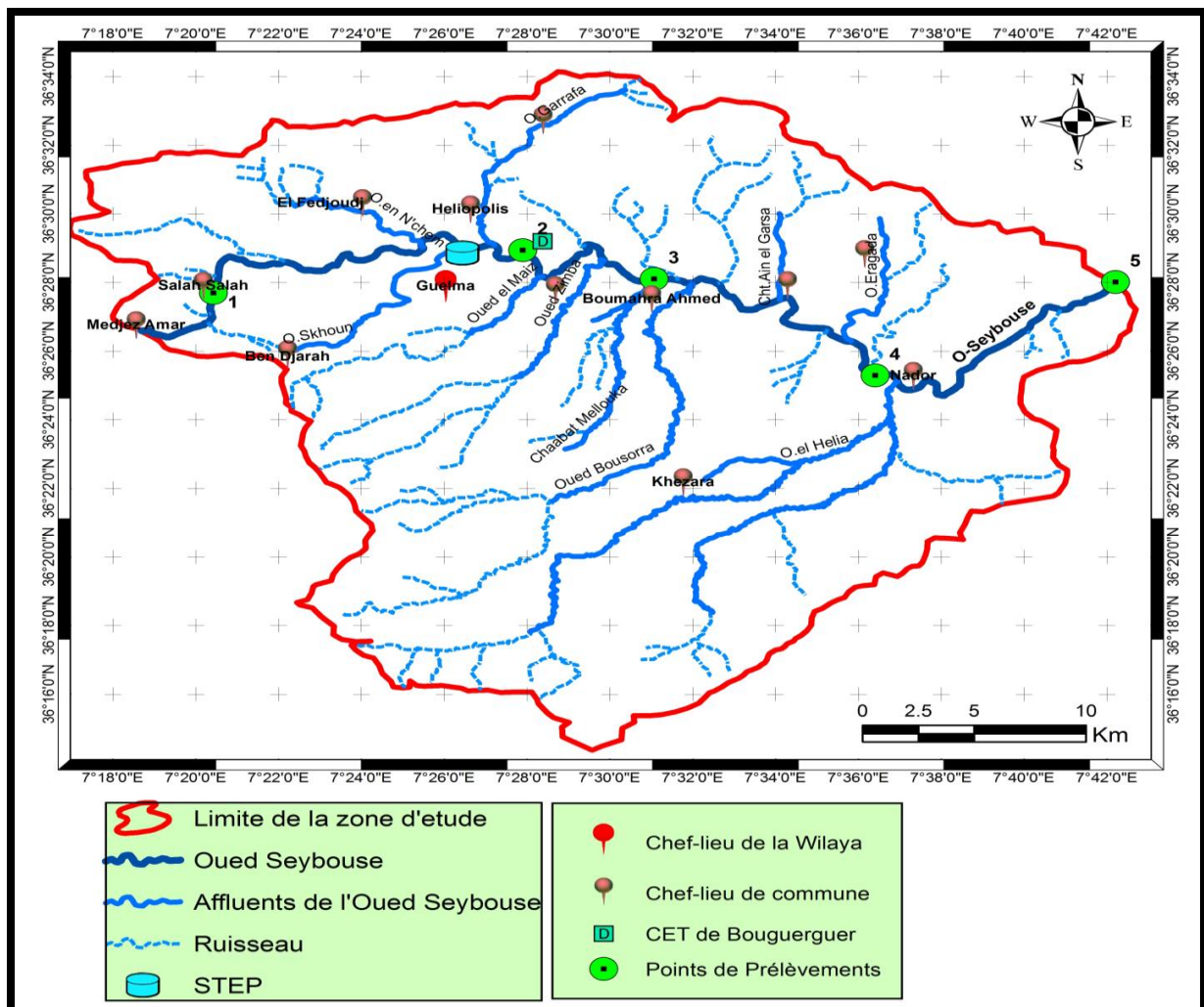


Figure 25: Carte d'inventaire des points de prélèvement (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).



Figure 26 : prélèvement de l'échantillon au niveau de la 3^{ème} station.

1.2. Mesures *in situ* et transport.

La date, l'heure de prélèvement, la température de l'eau, le pH, la conductivité, l'O₂ dissous et les coordonnées géographiques des points de prélèvements sont relevés *in situ*, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un appareil multi paramètres de marque WTW Multi 197i, et un GPS de marque GARMIN 72 les résultats sont enregistrés sur des fiches du terrain (**Figure 27**).



Figure 27 : Mesure in situ.

L'analyse doit être effectuée le plus vite possible en transportant les échantillons dans des glacières, dont la température est comprise entre 4 et 6°C (**Figure 28**).



Figure 28: Conservation et transport des échantillons.

1.3. Analyse physico-chimique au laboratoire

A. Les éléments majeurs

a. Dosage du calcium, sodium et du potassium par photométrie de flamme

Les ions en solution sont portés, au moyen d'une flamme de température convenable à un niveau énergétique supérieur à la normal (on dit que les atomes sont excités par la flamme).

Libérés de la flamme, ils restituent l'énergie acquise en émettant une radiation caractéristique de l'élément. On pulvérise donc au moyen d'un gicleur, la solution à doser dans une flamme de température déterminée par l'élément que l'on recherche. On sélectionne la radiation attendue au moyen, d'un filtre. L'intensité de la radiation est proportionnelle à la concentration de l'élément présent dans la solution. On établit donc une gamme étalon pour chaque élément dosé et l'on s'y réfère pour déterminer une concentration inconnue. Le sodium et le potassium sont dosés à partir de la même solution étalon à des sensibilités différentes du spectrophotomètre à flamme. Le calcium est dosé par sa gamme étalon propre.

Réactifs :

Solution mère de sodium et de potassium :

- Dissoudre dans de l'eau distillée 25,434 g de chlorure de sodium préalablement séché à l'étuve à 100°C pendant 12 heures puis refroidi au dessiccateur.
- Dissoudre simultanément 3,823 g de chlorure de potassium préalablement séché à l'étuve à 100°C pendant 12 heures puis refroidi au dessiccateur.
- Compléter le tout à 1000ml par de l'eau distillée.
- On obtient une solution contenant 10 000 mg/l en Na⁺ et 1000 mg/l en K⁺.

Solutions étalons en Na⁺ et K⁺ :

- Mettre successivement dans des fioles jaugées à 1000 ml : 50, 40, 30, 20, 15, 10, 5 et 2 ml de la solution mère en Na⁺ et K⁺ compléter à 1000 ml par de l'eau distillée.
- On obtient des solutions étalons contenant respectivement :
 - 500, 400, 300, 150, 100,50 et 20 mg/l de Na⁺.
 - 100, 80, 60, 40, 30, 20, 10 et 4 mg/l de K⁺.

Solution mère de calcium

- Dissoudre dans de l'eau distillée 36,663 g de chlorure de calcium préalablement séché à l'étuve à 100°C pendant 12 heures puis refroidi au dessiccateur.
- Compléter à 1000 ml par de l'eau distillée.

Solutions étalent en Ca^{++}

- Mettre successivement dans des fioles jaugées à 1000 ml : 50, 40, 30, 20, 10 et 5 ml de la solution mère en Ca^{++} compléter à 1000ml par de l'eau distillée.
- On obtient des solutions étalons contenant respectivement : 500, 400, 300, 200, 100 et 50 mg/l de Ca^{++}

Appareillage :

- Photomètre à flamme. Servotrace.
- Réglage: Sensibilité du photomètre /Sensibilité du servotrace / Pression de l'Acétylène/ Pression d'air.

b. Dosage du magnésium (Mg) par complexométrie

Le sel dissodique de l'acide Ethylène Diammo Tetra Acétique cristallisé avec H_2O , appelé aussi complexon ou versénate forme avec un nombre de cation des complexes dont la stabilité dépend essentiellement du pH.

Réactifs**Solution E.D.T.A**

- Dissoudre 40 g E.D.T.A, ajouter les 5 g NaOH (Soude caustique) puis ajuster avec de l'eau distillée Q.S.P 1000 ml.
- Dissoudre à part 1g de chlorure de magnésium, ajuster avec de l'eau distillée Q.S.P 1000 ml.
- Mélanger les 2L ainsi obtenus et y ajouter 8 autres litres d'eau distillée ce qui donne 10 litres d'E.D.T.A.

Solution : Tampon pH =10 (Ca/Mg).

Le Tampon pH = 10 est constitué par des mélanges à volume égale des solutions A et B.

Solution A

- Peser 67 g de Chlorure d'ammonium préalablement séché 12 heures à l'étuve à $100^{\circ}C$ puis refroidi au dessiccateur.
- Ajouter 400 ml d'Ammoniaque à 28% (448 ml à 25%).
- Compléter à 1000 ml par de l'eau distillée.

Solution B

- Dissoudre à 2 litres d'eau distillée 1,5 Kg environ de Tartrate double de Sodium et de Potassium appelé couramment sel de seignette. Chauffer jusqu'à dissolution totale et ajuster à 2 litres.

Solution de soude n (ça)

40 g de Soude par litre d'eau distillée.

Indication colore

1. **Dosage du Ca+Mg** : Mélanger intimement puis broyer au mortier 100 g de Chlorure de Sodium préalablement séché et une quantité de Noir d'Eriochrome T telle qu'on obtient un mélange de coloration mauve. On décèle la fin du virage par le Noir Eriochrome T qui vire du rosé au bleu.

2. **Dosage du Ca** : Mélanger intimement puis broyer au mortier 100 g de Chlorure de Sodium préalablement séché et une quantité de Patton et Raeder (Acide hydroxy-2 Sulfo-4 Naphtoiq-3). On observe la fin du virage quand la couleur passe alors du rouge au bleu franc.

Mode opératoire**Titre de L'E.D.T.A**

Le dosage de l'E.D.T.A s'impose à chaque fois que le remplissage du flacon doseur est fait. On prépare une solution de Ca CO₃, à 1 g/l (attaque de 1 g de Ca CO₃ par H Cl dilue puis ajuster à 1 litre par de l'eau distillée. Le Ca CO₃ doit avoir été séché a l'étuve puis refroidi au dessiccateur). On prélève 10 ml qui seront dosés en même temps que les échantillons. Cette solution contient 20 mg/l de Ca⁺⁺.

- Les PE ayant été placés dans des béciers de 50 ml on y ajoute systématiquement 2 ml de Tampon (Ca/Mg) et 2 ml de Na OH (Ca) et une pincée d'indicateur; la solution prend une teinte rosé (Ca/Mg) et rouge (Ca).
- La solution étalon de Ca⁺⁺ et les échantillons ainsi préparés sont alors traités de manière identique.

L'E.D.T.A étant placé dans la burette, on verse jusqu'au virage du rosé au bleu en maintenant une agitation dans le bécher. On notera soigneusement le volume :

V1 d'E.D.T. A nécessaire pour faire. virer la solution étalon de Ca V2 d'E.D.T.A nécessaire pour faire virer les échantillons.

Calcul de la normalité de I 'EJXTA

10 ml à 20 méq/l de Calcium ont été dosés par VI d'E.D.T.A

$$N \text{ méq/l} = \frac{20 \times 10}{V1} = \frac{200}{10}$$

Teneur en Calcium et Magnésium des échantillons

$$X \text{ méq/l Ca+Mg} = N \text{ méq/l} \frac{V2}{PEml}$$

3. Teneur en Magnésium des échantillons

$$\text{meq/l de Mg} = \text{mé/l de Ca+Mg} - \text{mé/l de Ca}$$

Détermination des ions carbonate et bicarbonate

Par l'analyse volumétrique dans un milieu acide (titrage arrière) avec l'hydroxyde de sodium en présence de l'indicateur méthyle orange.

Réactifs

- Méthyle orange MO.
- Hcl
- Hydroxyde de sodium

Mode opératoire

Pipeter 100 ml d'aliquote dans un bécher de 600 ml, en ajout 50 ml de 1 N solution de Hcl, faire bouillir pendant 10 minutes, refroidir à 20 C° le transfère quantitativement au ballon Volumetrique du 500 ml. Faire diluée avec l'eau distillée jusqu'à la marque puis agiter.

Filterer peu plus de 100 ml a travers P.F pliée et fin, négliges les première partie de filtrat.

Dans une érlénmyer conique de 250 ml. Ajouter 3 gouttes de solution indicatrice M.O. titrer avec 1 N solution hydroxyde de sodium jusqu'a changement de couleur de rouge au jaune, noter le volume V.

Calcule

$$\text{NaCO}_3 \text{ (g/l)} = \frac{(50-5V) \times 53}{V(\text{aliquot}) \times 10}$$

c. Dosage des chlorures

Les chlorures, en présence du thiocyanate mercurique et de l'alun ferrique donnent en milieu nitrique acide un complexe coloré orange susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 470 nm.

Réactifs

- Solution saturée de thiocyanate mercurique
- Solution mère de chlorures a i0g/l
- Solution d'alun ferrique
- Solutions étalons

Mode opératoire

On place les PE (5ml) dans des Erlen Meyers de 50 ml

Les PE des solutions étalons, le témoin (H₂O) et les échantillons sont alors traités de manière identique à savoir:

On ajoute dans l'ordre 15 mi de la solution de thiocyanate mercurique préalablement diluée au 1/3 puis 15 ml de la solution nitrique d'alun ferrique également diluée au 1/6.

On agite vigoureusement les erlens pour uniformiser la coloration qui apparaît et on laisse au repos pendant 1/2 heure.

On effectue les lectures au colorimètre à la longueur d'onde de 470 nm en réglant le zéro avec le témoin.

Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en chlorures en mg/l.

d. Dosage des sulfates

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum.

Le précipité ainsi obtenu, très fin est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde de 495 nm.

Réactifs

Solution de chlorure de baryum et de gélatine

- 40 g de gélatine
- 200 g de Chlorure de baryum (dissoudre à part)
- 3 g de Phénol (pour éviter une décomposition d'origine bactérienne de la gélatine).
- Eau distillée Q.S.P 2000 ml.

Remarque : dans le cas où la gélatine contient des sulfates apparaît un trouble de $BaSO_4$ que l'on élimine par centrifugation.

Solution mère de sulfate à 10 g/l

Dissoudre 13.755 g de $(NH_4)_2SO_4$ préalablement desséché à l'étuve à 100°C puis au dessiccateur sous vide, dans de l'eau distillée, ajuster à 1000 ml.

Solutions étalons

Prendre successivement : 50, 40, 30, 20, 15, 10 et 5 ml de la solution mère de SO_4 compléter chaque prélèvement à 1000 ml exactement par de l'eau distillée. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement : 500, 400, 300, 200, 150, 100 et 50 mg/l en SO_4^{2-} .

Mode opératoire

On place les PE (5 ml) dans des erlens de 50 ml

Les PE des solutions étalons, le témoin (H_2O) et les échantillons sont alors traités de manière identique à savoir:

- On ajoute à chaque PE, 20 ml de la solution de $BaSO_4$ et de gélatine préalablement diluée au 1/6.

- On agite pour uniformiser le trouble et on laisse au repos pendant 20 minutes jusqu'à la mesure. Une nouvelle agitation aurait comme conséquences la formation de bulles d'air et par conséquent une perturbation des mesures.
- On effectue les lectures au calorimètre à la longueur d'onde de 495 nm en réglant le zéro avec le témoin (ANRH, 2009).

Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en sulfates exprimés en mg/l.

B. les éléments indicateurs de pollution :

a. La demande chimique en oxygène (DCO)

Certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromates de potassium en milieu acide et en présence de sulfates d'argent ou de mercure. L'excès de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) est dose par les sulfates de fer et d'ammonium.

Appareillage

- Pipette jaugée à 2 ml.
- Portoir pour tubes DCO.
- Spectrophotomètre (DR 2800) (Figure29).
- Réacteur DCO à 150°C(Figure30).

Réactif.

- Réactifs DCO gamme (0 à 150 mg/l) pour les faibles concentrations.
- Réactifs DCO gamme (150 à 1000 mg/l) pour les fortes concentrations. Photo.04.

Procédure

- Ajouter 2 ml d'échantillon en tube de réactif DCO.
- Agiter et Placer le tube fermé dans le réacteur DCO et chauffer deux heures à 150°C.
- Laisser refroidir à température ambiante.
- Mesurer directement la DCO par spectrophotomètre DR 2800.

Expression des résultats

La teneur en DCO est donnée en mg/l.



Figure 29 : Le spectrophotomètre.

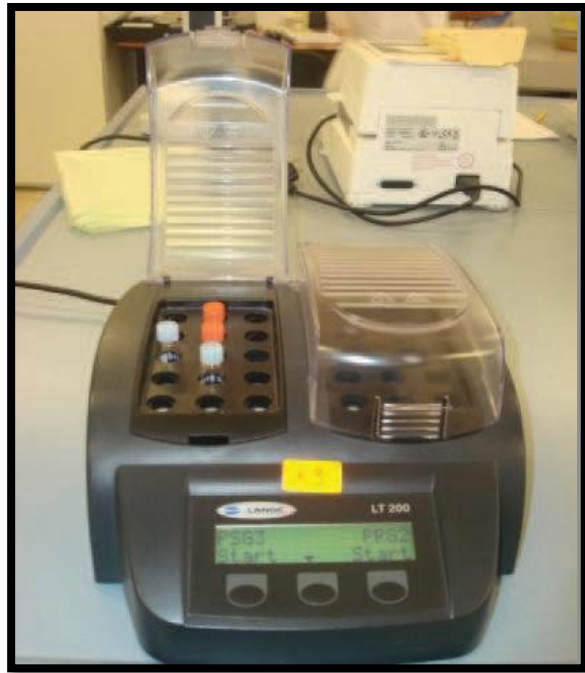


Figure 30 : Le réacteur de DCO

b. La demande biologique en oxygène (DBO5)

La DBO est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de dioxygène par voie biologique. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau (toute matière organique biodégradable polluante va entraîner une consommation d'O₂) au cours des procédés d'autoépuration.

La DBO est mesurée au bout de 5 jours (=DBO₅), à 20°C (température favorable à l'activité des micro-organismes consommateurs d'O₂) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse-parasite).

Appareillage

- Réfrigérateur conservant une température de 20°C.
- Un agitateur magnétique.
- Bouteilles brune de 510 ml.
- Pastilles hydroxyde de sodium (pour absorber le CO₂ dégager par les microorganismes)

Procédure

La détermination de la DCO est primordiale pour connaître les volumes à analyser pour la DBO₅.

Volume de la prise d'essai (DBO₅) = DCO (mg/l) × 0.80, pour les eaux urbaine.

- Introduit la quantité de l'eau à analyser. En fonction de la valeur de DCO.
- Introduit la barre aimantée et les pastilles hydroxyde de sodium 2 pastilles.
 - Visser la tête de mesure sur les bouteilles.
 - Appuyer simultanément sur les touches (S+M) durant 3 secondes et apparition du message (00).
 - Mettre au réfrigérant à 20°C pendant cinq jours. (**Figure31**).
 - Lire au bout de cinq jours la valeur affichée et appliquer le coefficient pour la valeur réelle.

Expression des résultats

$$\text{DBO5 (mg/l)} = \text{Lecteur} \times \text{Facteur.}$$



Figure 31: La DBO mètre (Labo d'hydrogéologie Constantine).

c. Les nitrates

Le nitrate NO_3^- est analysés par spectrophotométrie de type *DR 2000* (*HACH*). Celles-ci se calculent à l'aide du spectrophotometre DR/2000 HACH (méthode n° 750, Hach, 1989). Le principe fondamental de l'appareil repose sur l'absorption de lumière traversant une solution colorée, l'intensité étant proportionnelle a la concentration de l'élément cherche (loi de Lambert-Beer). La détermination de la turbidité mesure donc une propriété optique de l'échantillon d'eau qui résulte de la dispersion et de l'absorption de la lumière par les particules de matière en suspension présentes dans l'échantillon.

En ce qui concerne l'utilisation de l'appareil, il faut d'abord régler préalablement la longueur d'onde correspondant à la méthode utilisée de chaque élément, afin de mesurer la bonne concentration (Djidel, 2008)

Appareillage

- Spectrophotomètre DR 2000 (Figure 32).



Figure 32: Spectrophotomètre DR 2000. Labo hydrogéologie Constantine

Réactifs

- Gélules de nitrates Ver 5.

Procédure

- Entrer le numéro de programme mémorisé pour le nitrate concentration moyenne, réactif en gélules.
 - Presser : **353 READ/ENTER**.
 - L'affichage indique : **REGLER nm à 400**.
- Tourner le bouton de réglage de longueur d'onde jusqu'à ce que l'affichage indique **400nm**.
- Presser : READ/ENTER ; l'affichage indique : **mg/l N-NO₃^{-M}**.
- Remplir un flacon colorimétrique avec 25ml d'échantillon.
- Remplir un autre flacon colorimétrique avec 25ml d'eau des ionisée (le blanc)
- Ajouter le contenu d'une gélule de NitraVer5 a chaque flacon Boucher
- Presser : **SHIFT TIMER**

- Agiter le flacon vigoureusement jusqu'à ce que le minuteur sonne après une minute.
- Lorsque le minuteur sonne, presser : **SHIFT TIMER**
 - . Une période de réaction de 5 minutes commence.
 - . **Note** : En présence de nitrate, une coloration ambre se développe.
- lorsque le minuteur sonne, l'affichage indique : **mg/l N-NO₃⁻ M.**
- Placer le blanc dans le puits de mesure .Retirer le bouchon .Fermer le capot.
- Presser: **ZERO**, l'affichage indique : **ATTENDRE**. Puis : **0,00 mg/l N-NO₃⁻ M.**
- Retirer le bouchon placé l'échantillon préparé dans le puits de mesure
- Fermer le capot.
- Presser : **READ/ENTER**, L'affichage indique : **ATTENDRE**. Puis le résultat en mg/l d'azote s'affiche.

Introduction

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou pour d'autres usages (irrigation, industrie...etc.).

La chimie des différentes sources en eau (eaux de surface, eaux souterraines) est souvent influencée par la dissolution des formations géologiques, des rejets industriels et l'activité agricole. En raison de l'utilisation multiple de ces eaux,

L'hydrochimie est l'étude des caractéristiques physiques et chimique de l'eau. Elle permet :

- De donner une idée de la qualité chimique de l'eau,
- De visualiser à l'aide de cartes la répartition et l'évolution géographique des concentrations en éléments chimiques dissous,

Cette étude hydrochimique a été menée afin de suivre la qualité et le degré de la pollution des eaux d'Oued Seybouse, et son évolution dans l'espace.

Un plan de travail a été adopté pour atteindre ces buts, il consiste au début à faire un suivi chimique des différents points d'eau appartenant à la zone d'étude.

1. Qualité des données :

1.1 Analyse des balances ioniques – contrôle de la cohérence des résultats :

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées au niveau des différentes stations, il faut analyser la fiabilité des résultats des ces analyses. La méthode utilisée est la Balance Ionique (BI). Il faut rappeler qu'en théorie, une eau naturelle est électriquement neutre. De ce fait, la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents-chimiques).

En réalité, cette égalité est rarement obtenue. De façon générale, la différence est attribuée aux incertitudes, à la présence de certains ions non dosés ou à d'éventuelles erreurs d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise. Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule suivante :

$$BI = \frac{\sum r(\text{cations}) - \sum r(\text{anions})}{\sum r(\text{cations}) + \sum r(\text{anions})} \times 100$$

Touts les valeurs des cations et anions en **meq/l**.

Le calcul de la balance ionique permet généralement de vérifier la fiabilité des résultats des analyses chimiques. Cependant, les incertitudes sur les résultats, variables selon les techniques d'analyse, peuvent expliquer les erreurs parfois élevées sur les balances ioniques, à cause de la présence éventuelle d'anions organiques non pris en compte dans les calculs.

D'une manière générale, les résultats des analyses chimiques sont considérés :

- ✓ Si $BI < 1\%$: Fiabilité des résultats d'analyses excellente.
- ✓ Si $BI < 5\%$: Fiabilité des résultats d'analyses acceptable.
- ✓ Si $BI < 10\%$: Fiabilité des résultats d'analyses médiocre.
- ✓ Si $BI > 10\%$: Douteuse ou bien mauvaise fiabilité des résultats d'analyses.

Remarque : le logiciel **DIAGRAMME**, accepte les valeurs inférieures à 7% pour la balance ionique.

En ce qui concerne les données des eaux de surface traitées dans le cadre de cette étude, on a effectué le traitement pour 5 points (stations) répartis le long de l'Oued Seybouse.

Les résultats d'analyses des 5 échantillons sont acceptables comme le montre le tableau suivant (**Tableau 14**):

Tableau 14: Balance ionique des éléments majeurs de chaque échantillon

	61.01	35.45	62	47.49	48.03	23	39.1	12.15	20.04				SEUIL 7%
Nom des échantillons	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻⁻	SO ₄ ⁻⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Bal	S.A	S.C	A REFAIRE
S1	3.20	3.50	0.44	0.08	2.39	3.32	0.00	2.36	3.80	-1%	9.61	9.48	
S2	3.60	4.01	0.53	0.06	2.91	3.94	0.02	2.16	4.60	-2%	11.11	10.73	
S3	4.10	4.01	0.68	0.07	2.71	3.97	0.02	2.56	4.80	-1%	11.56	11.35	
S4	4.20	5.51	0.61	0.08	2.50	4.27	0.03	2.76	5.00	-3%	12.89	12.05	
S5	3.90	6.01	0.89	0.08	2.81	4.45	0.03	2.55	5.40	-5%	13.69	12.42	

- Touts les valeurs en meq/l

2. Détermination des faciès chimiques :

2.1 Représentation graphique des faciès hydrochimiques :

Dans le but de bien identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux de l'Oued Seybouse, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de PIPER et STABLER. La réalisation de ces diagrammes a été faite, en utilisant le logiciel Diagramme, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

2.1.1 Classification de Piper :

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper (**Figure 33**) permet de différencier les familles d'eaux. L'examen des représentations graphiques obtenues, permet de déduire les interprétations suivantes :

- Dans le triangle des cations, le calcium et le sodium sont dominants par rapport au magnésium,
- Dans le triangle des anions, ce sont les chlorures et les hydrogénocarbonates qui sont les plus abondants, les sulfates sont peu fréquents.

Ainsi, dans le digramme losangique, l'évolution chimique est alors marquée par un positionnement au centre du premier petit losange, Le diagramme, fait alors ressortir un faciès chimique : Chlorurées sulfatées calciques et magnésiennes, Ce faciès indique une dissolution évaporitique riche en sels et en gypse.

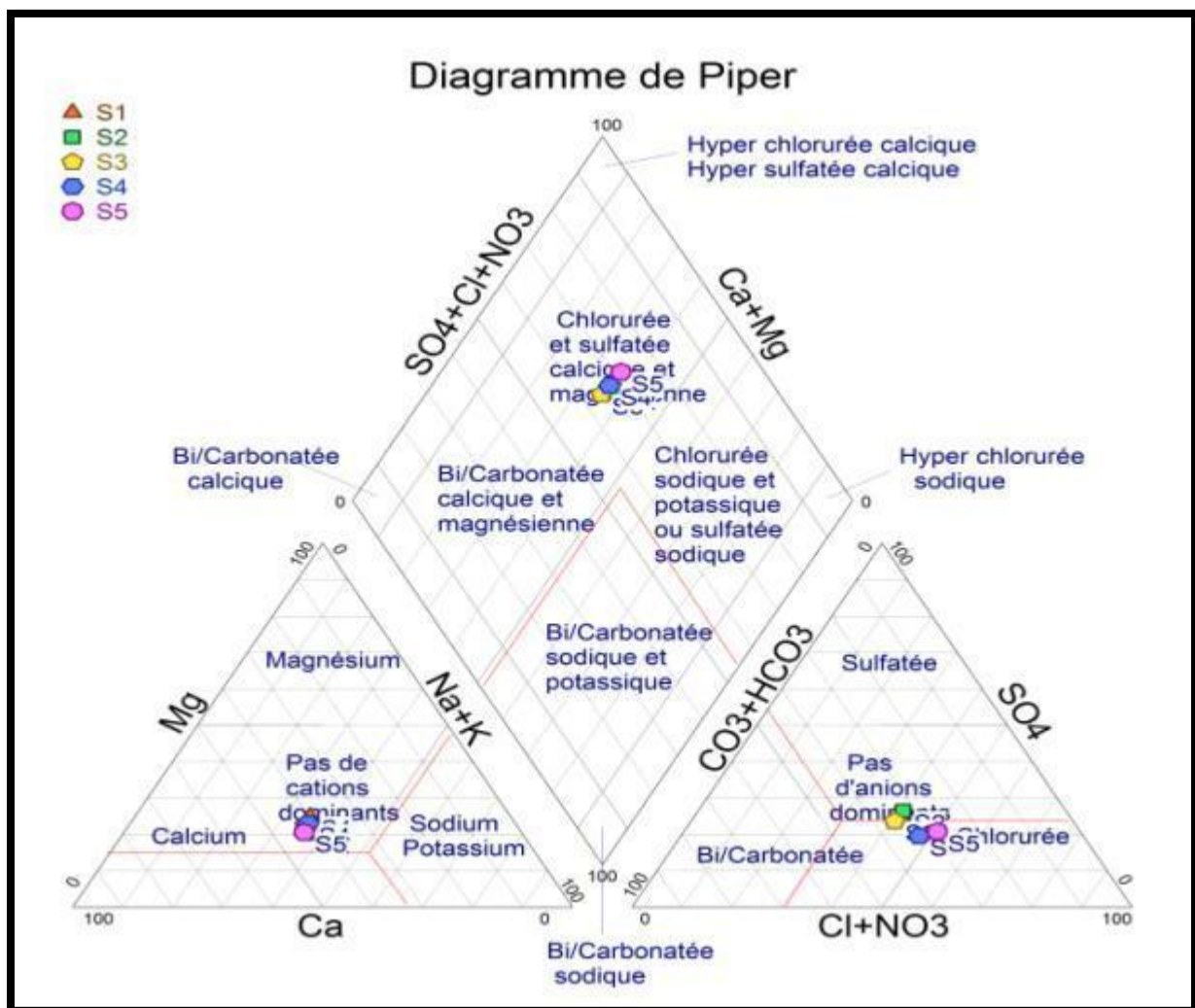


Figure 33: Représentation des faciès chimiques des eaux avec Diagramme de PIPER.

2.1.2 Formule caractéristique de STABLER :

La formule caractéristique selon " STABLER " consiste à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale. La formule est la suivante :

$$r \% = (100 / c) * r$$

Avec **r** : la quantité en réaction de l'ion considéré en (méq/l) ;

c : la concentration totale ;

On classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant, les résultats obtenus permettent de distinguer les faciès qui figurent dans le **tableau 15** et la **figure 34**.

L'examen de ce tableau montre que les eaux de la campagne de prélèvement (Avril 2016) sont des eaux **chlorurées calciques** sauf l'échantillon 03 est de faciès **Bicarbonaté calcique**, ce changement de faciès au niveau de la 3^{ème} station est dû au rejet de l'ENA marbre (**Fig. 35**)

Tableau 15: Faciès chimiques des eaux selon la méthode de STABLER

N°: Station	Formules caractéristiques		Faciès chimiques
	r % Anions	r % Cations	
01	Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ⁻² > NO ₃ ⁻ > PO ₄ ⁻³	Ca ⁺⁺ > Na ⁺ > Mg ⁺⁺ > K ⁺	Chloruré calcique
02	Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ⁻² > NO ₃ ⁻ > PO ₄ ⁻³	Ca ⁺⁺ > Na ⁺ > Mg ⁺⁺ > K ⁺	Chloruré calcique
03	HCO ₃ ⁻ > Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > NO ₃ ⁻ > PO ₄ ⁻³	Ca ⁺⁺ > Na ⁺ > Mg ⁺⁺ > K ⁺	Bicarbonaté calcique
04	Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ⁻² > NO ₃ ⁻ > PO ₄ ⁻³	Ca ⁺⁺ > Na ⁺ > Mg ⁺⁺ > K ⁺	Chloruré calcique
05	Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ⁻² > NO ₃ ⁻ > PO ₄ ⁻³	Ca ⁺⁺ > Na ⁺ > Mg ⁺⁺ > K ⁺	Chloruré calcique



Figure 34: Représentation des faciès chimiques des eaux avec Diagramme de STABLER.

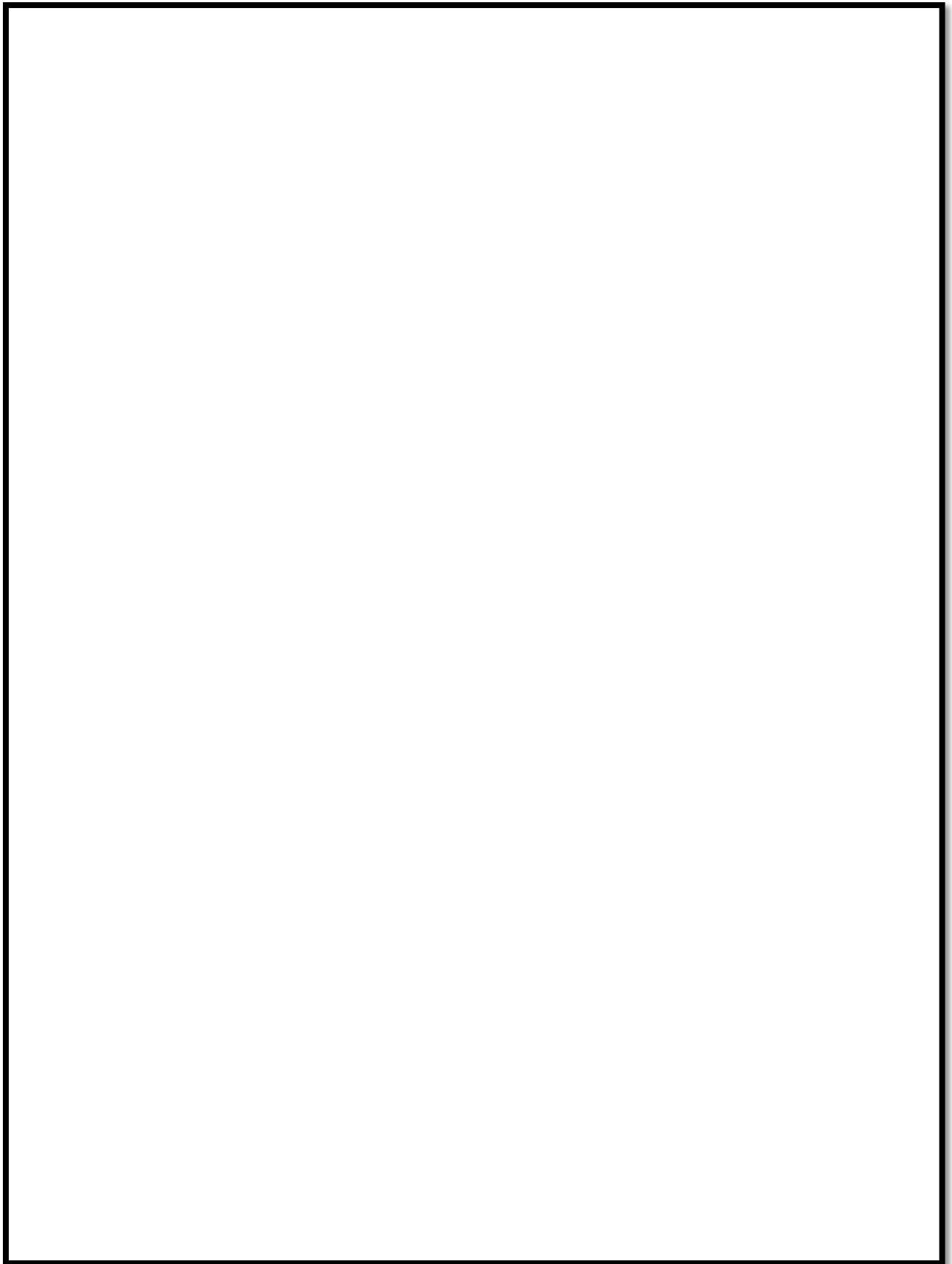


Figure 35 : Carte des faciès chimique des eaux de la Seybouse (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).

3. Analyses en composante principale (ACP)

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

Dans cette étude, nous avons effectué une analyse statistique (ACP) des eaux de l'Oued Seybouse compagne (Avril 2016). Le but de cette analyse statistique est de faire ressortir :

- Les différentes corrélations significatives entre les éléments chimiques afin de comprendre le mécanisme du chimisme des eaux
- Les points d'eau qui possèdent des concentrations élevées en éléments chimiques par rapport à l'ensemble des points.

Cela nous permet de donner une idée préalable sur les éléments et les sites de pollution.

Pour réaliser notre étude, nous avons utilisé le logiciel XLSTAT, la matrice des données comporte (15) variables, (05) individus pour les eaux de surface.

3.1 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 16: Valeurs propres (ACP des eaux de surface de la moyenne Seybouse).

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	8.1952	3.9856	1.9831	0.8361
Variabilité (%)	54.6344	26.5708	13.2209	5.5739
% cumulé	54.6344	81.2053	94.4261	100.0000

Pour le traitement des données nous avons choisi deux axes qui expriment 81.20 % des renseignements.

Le premier axe principal (F1) à une valeur propre égale à 8.19 il explique 54.63 % de la variation totale, la seconde composante (F2) égale à 3.98 explique 26.57 % de la variance totale.

3.2 Matrice de corrélation

Tableau 17: Tableau de la matrice de corrélation (ACP des eaux de surface de la moyenne Seybouse).

L'apport de la corrélation entre les paramètres physico-chimiques des eaux de la moyenne Seybouse. Elle permet de donner une approche sur l'origine commune de certains paramètres. On admet qu'une corrélation est significative, si la valeur du coefficient de corrélation « r » est comprise entre 0,5 et 1 (relation positive) et -0.5 et -1 (relation négative). Dans notre cas la plupart des liaisons sont positivement significatives (**Tableau 17**). L'analyse de matrice de corrélation issue de cette ACP, montre que :

- la température (T°C) présente une liaison très hautement significative et positive de (**0.975 à 0.933**) avec les éléments suivant (Ca⁺⁺, Na⁺, CE, Cl⁻, NO₃⁻) et une corrélation positive moyenne à élever de (0.587 à 0.803) avec (Mg⁺⁺, HCO₃⁻, K⁺) ce qui signifie l'effet de la température sur la dissolution des éléments chimiques précité; et une corrélation négative de (-0.558) avec le DBO5.
- Une bonne corrélation positive de la conductivité de (**0.848 à 0.954**) avec (NO₃⁻, Cl⁻, Ca⁺⁺, Na⁺, T°C) , et une légère corrélation de (0.520 à 0.603) avec (HCO₃⁻ , PO₄⁻ , K⁺ , Mg⁺⁺ , O₂d) ce qui traduit la participation des éléments chimiques a la minéralisation des eaux de l'oued Seybouse , et une légère corrélation négative (-0.567) avec DBO5.
- Les Cl⁻ et Na⁺ présente une forte corrélation positive entre eux (**0.897**) peut être dû a la dissolution des formations évaporitiques.
- Les HCO₃⁻ et Ca⁺⁺ présente une forte corrélation positive entre eux (**0.809**) peut être ont une origine des formations carbonatées.
- Une corrélation hautement significative et positive du Ca⁺⁺ avec les (NO₃⁻, T°C, K⁺, Na⁺) de (**0.901 – 0.989**)
- Une corrélation hautement significative et positive entre les PO₄⁻ et l'O₂d (**0.998**), et entre la DBO5 et la DCO (**0.949**) ce qui signifie la consommation d'O₂ pour dégrader la matière organique et/ou oxyder la matière inorganique.

3.3 Interprétations de l'ACP

3.3.1 Corrélations variables/facteurs

La contribution de chaque variable dans la formation d'une composante principale est donnée par le coefficient de corrélation entre la variable et l'axe considéré ; autant que ce coefficient est important, autant la variable contribue à la formation de l'axe.

Le tableau 5 montre que les corrélations des variables avec l'axe 1 sont en majorité positives, ces variables seront les mieux représentées sur le plan.

Tableau 18: Corrélations entre les variables actives avec les facteurs :

	F1	F2
T°C	0.9824	0.1741
pH	0.4330	-0.4695
CE	0.9264	0.2446
HCO3	0.7348	0.1727
Cl	0.8659	0.4166
NO3	0.9599	0.0146
PO4	0.1746	0.8059
SO4	0.5456	-0.8135
Na	0.9589	0.0606
K	0.8443	-0.2178
Mg	0.4868	0.7487
Ca	0.9859	0.0142
O2	0.1886	0.8328
DBO5	-0.6900	0.6431
DCO	-0.5403	0.6642

3.3.2 Cercle F1-F2, Plan F1-F2

L'analyse des variables montre que (**Figure 36.A**) :

Le facteur 1 : est principalement bien corrélé avec les variables (Cl⁻, Na⁺, Ca⁺⁺, K⁺, NO₃⁻, HCO₃⁻, T°C, CE, SO₄) dans sa partie positive, et avec (DBO5, DCO) dans sa partie négative, C'est le pôle des minéralisations et la pollution nitrique. Ce facteur exprime 54.63 % de l'inertie totale.

Le facteur 2 représente 26,57% de l'inertie totale du nuage, il est bien corrélé avec (DBO5, DCO, PO₄⁻, O₂d, Mg⁺⁺) dans sa partie positive, et avec les SO₄⁻ dans sa partie négative c'est le pôle de pollution anthropique.

L'analyse de la projection pour les stations des eaux de surface dans le plan factoriel F1-F2 montre qu'on peut subdiviser les points de mesure en trois groupes (**Figure 36.B**)

Selon F1 :

- 1^{er} groupe (S3, S4, S5) : Caractérisé par une minéralisation et pollution nitrique élevée par rapport aux autres stations, avec une pollution élevée au niveau de la 5^{ème} qui présente des teneurs élevées (55 mg/l) en nitrates et une minéralisation importante (CE=1457 µS/cm).

Selon F2 :

- 2^{ème} groupe (S1, S4) : ce sont les deux stations qui sont touchées par la pollution anthropique, ce groupe est caractérisé par des teneurs élevées en (matière organique, matière inorganique et phosphates).

- 3^{ème} groupe (S2) : C'est la station la moins polluée représentée des teneurs moins importantes en (DBO5, DCO et PO4), et des teneurs relativement élevées en SO₄.

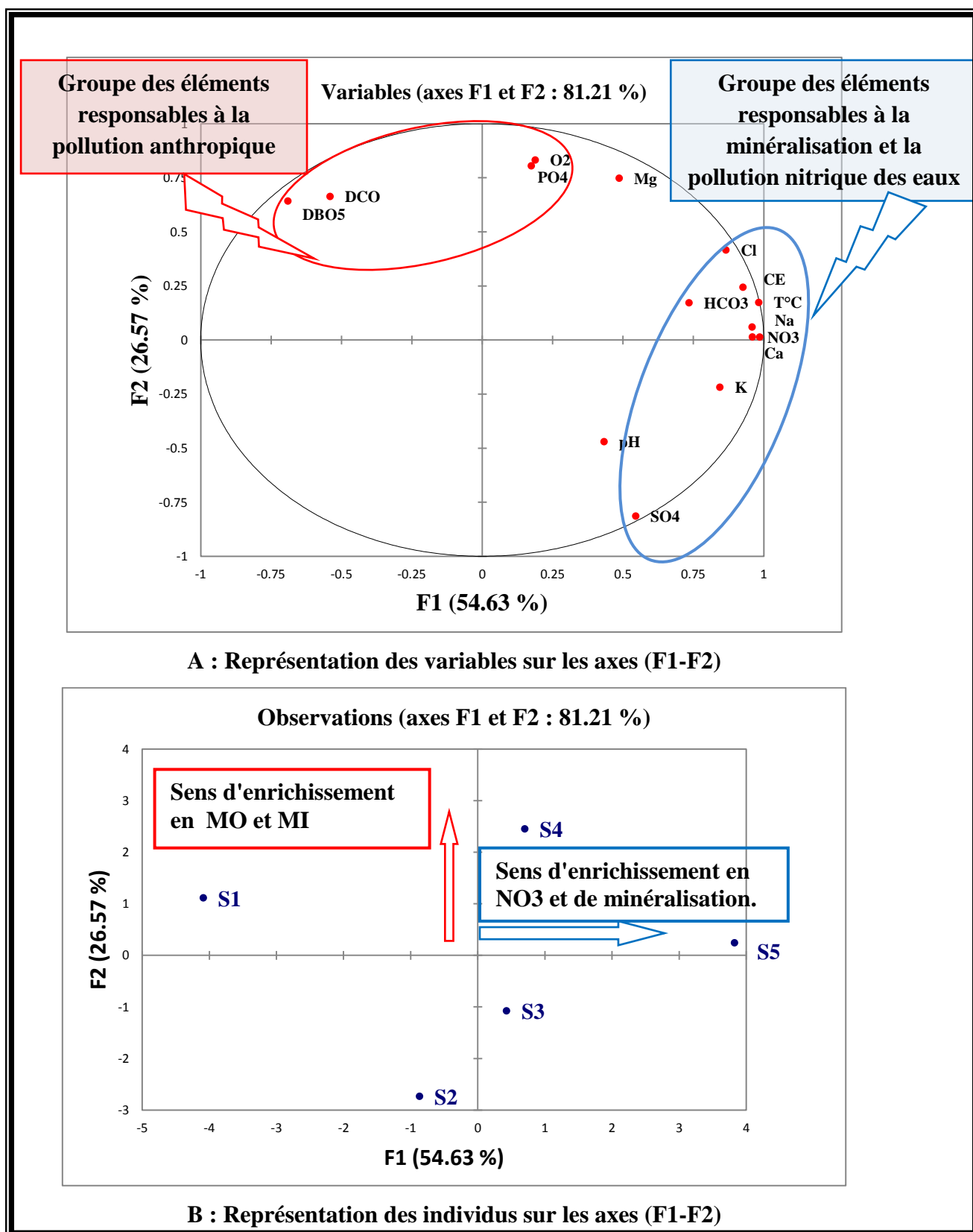


Figure 36: Représentation graphique de l'ACP selon les axes F1 et F2.

4. Résultat et discussion

4.1 Paramètres physico-chimiques

4.1.1 Mesure in situ

Les résultats des paramètres mesurés in situ sont regroupés dans les tableaux 19 (T° de l'eau, pH, CE, oxygène dissous), et illustrés par les **figures 37 à 41**, qui représentent la variation et l'évolution spatiale de chaque paramètre.

Tableau 19 : Résultats des paramètres mesurés in situ de chaque échantillon.

Paramètres Échantillon	T°C de l'eau	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	O2 (mg/l)
S1	15.8	7.94	1016	7.7
S2	18.3	7.96	1060	4.96
S3	19.5	8.21	1142	5.86
S4	21.1	7.81	1215	7.42
S5	23.6	8.15	1457	8.09

4.1.1.1 Température de l'eau

La température joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz et par conséquent sur la conductivité électrique.

L'examen du tableau 19 permet de constater que les valeurs des températures de l'eau varient de manière croissante, de 15.8°C au niveau de la S1 à 23.6°C au niveau de la S5, l'eau se réchauffe de l'amont vers l'aval. (**Figure 37**)

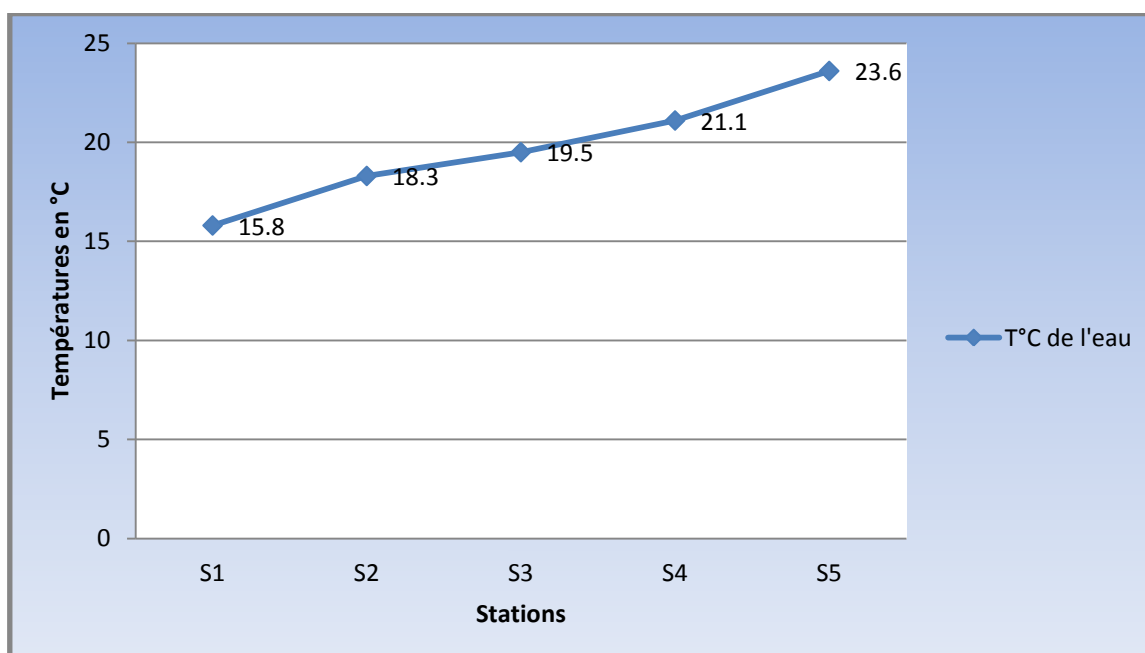


Figure 37: Evolution de la température de l'eau et de l'air dans les cinq stations.

4.1.1.2 Potentiel hydrogène (pH)

Le pH de l'eau résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique. Il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates. Il dépend de la diffusion du gaz carbonique à partir de l'atmosphère, du bilan des métabolismes respiratoires et photosynthétiques (Hutchinson, 1987) ainsi que de l'origine des eaux, la nature géologique du milieu traversé, les rejets des eaux usées, etc. (Dussart, 1992).

Le pH des eaux de l'Oued Seybouse est faiblement alcalin. Il oscille entre 7.81 et 8.21 (**Figure 38**), la valeur la plus élevée est relevée à la station (S3), et la plus faible est enregistrée à la station (S4). Le pH de ce cours d'eau présente une moyenne de 8.014 pour l'ensemble des cinq stations durant la période de prélèvement.

Par l'analyse de la matrice de corrélation on constate une moyenne corrélation positive et significative entre ce paramètre et les nitrates ($r= 0.6053$), et avec une corrélation négative et significative entre le pH et les (DBO5 : $r= -0.788$, DCO : $r= -0.668$), c.-à-d. l'alcalinité des eaux de la Seybouse est en relation avec l'apport nitrique et la matière organique et/ou inorganique.

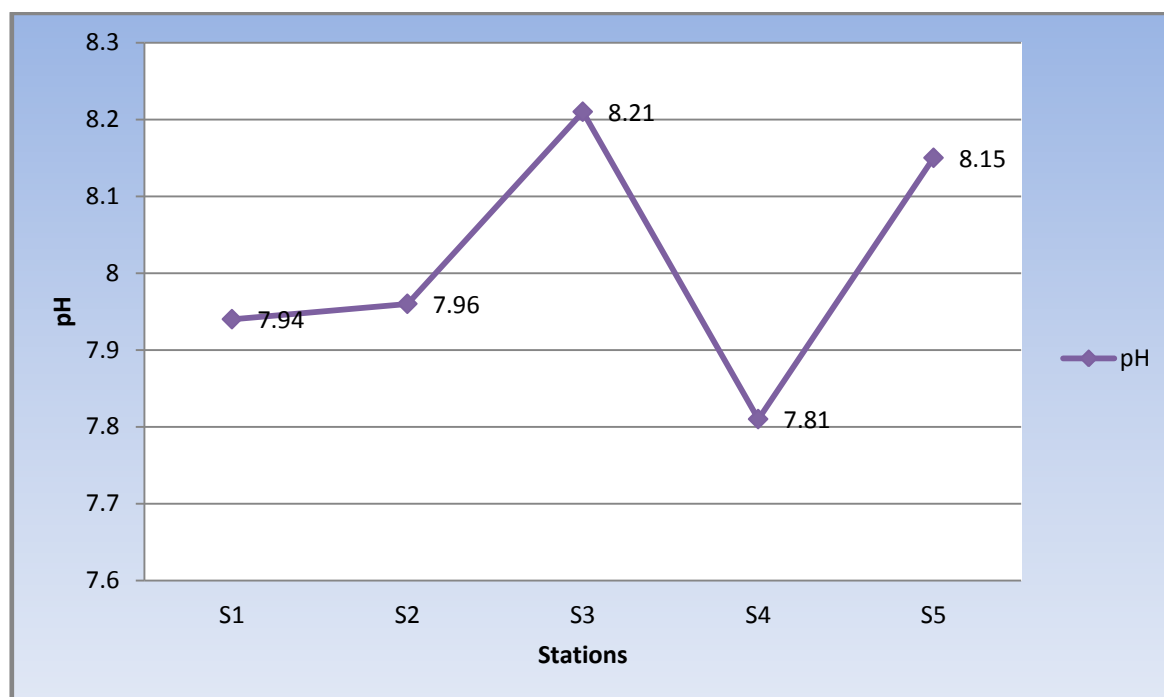


Figure 38: Evolution du pH dans les cinq stations.

4.1.1.3 Conductivité électrique (CE)

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau (Rodier et *al.*, 2005).

Elle renseigne sur le degré de minéralisation globale des eaux superficielles. Des températures élevées agissent sur la conductivité électrique par action sur la mobilité des sels (Dussart, 1966/In. El Morhit, 2009). Les eaux naturelles servent comme solvant d'un nombre considérable de solutés, qui en solutions aqueuses sont soit complètement associés en ions ou partiellement ionisés. Une conductivité élevée traduit soit des pH normaux, soit le plus souvent une salinité élevée (Bremond et Perrodon, 1979).

Les eaux de l'Oued Seybouse présentent une évolution de manière croissante de la conductivité de l'amont vers l'aval, avec une valeur minimale (1016 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a été enregistrée à la station (S1 l'amont de l'Oued) et une valeur maximale (1457 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a été enregistrée à la station (S5 l'aval de l'oued) (**Figure 39**).

La CE a tendance à augmenter d'où des corrélations positives très hautement significatives entre la conductivité électrique et l'ensemble des paramètres suivants : (T° de l'eau : $r=0.954$, NO_3 : $r=0.950$, Cl : $r=0.922$, Ca : $r=0.874$, Na : $r=0.848$) et des corrélations moyennement significatives et positives de ce paramètre avec (O_2 dissous : $r=0.526$, HCO_3 : $r=0.541$, PO_4 : $r=0.520$, K : $r=0.603$, Mg : $r=0.533$), et une corrélations moyennement significatives et négatives de la CE avec (DBO_5 : $r=-0.567$).

Cette augmentation de la conductivité est liée à l'élévation de la température de l'eau, l'apport nitrique, le taux des sels dissous dans l'eau ainsi que la charge organique.

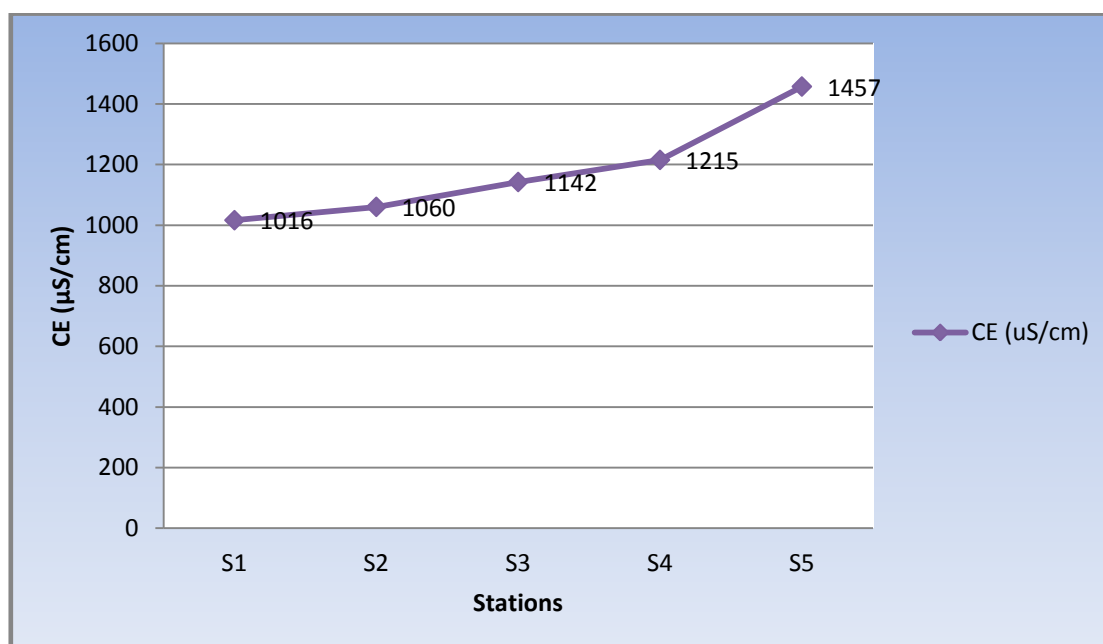


Figure 39 : Evolution spatiale de la Conductivité électrique dans les cinq stations.

4.1.1.4 Oxygène dissous

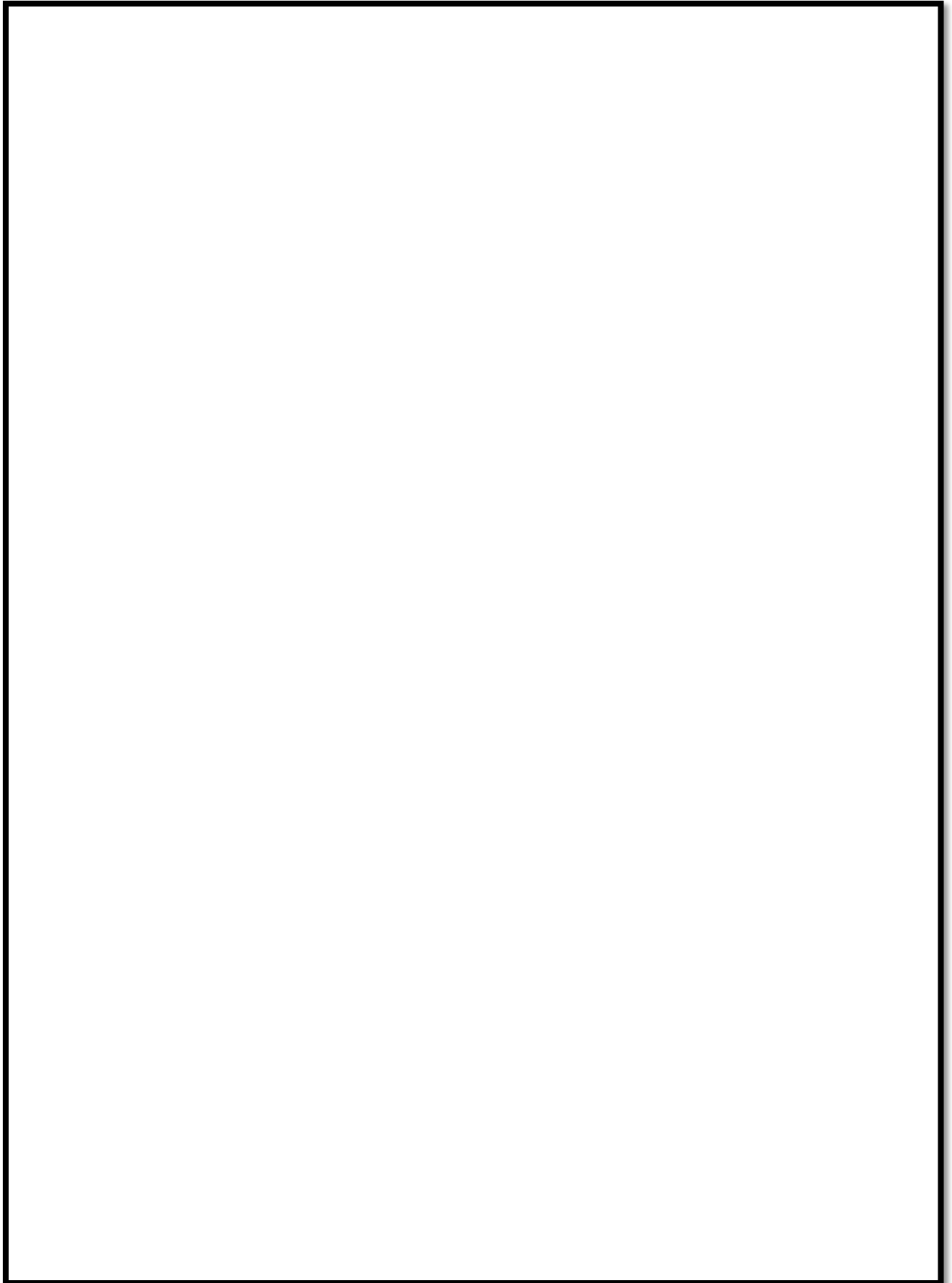
L'oxygène représente environ 35 % des gaz dissous dans l'eau. Sa forme dissoute est d'une importance primordiale dans les eaux de surface puisqu'elle conditionne les processus d'auto-épuración et de préservation de la vie aquatique (Gaujous, 1995).

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est un paramètre qui dépend essentiellement de la température.

Les teneurs en oxygène dissous présentent des variations irrégulières dans l'espace pour l'ensemble des cinq stations (**Figure 40**) avec une valeur minimale (4.96) enregistré dans la S2 et une valeur maximale (8.09) dans la 5^{ème} station.

Selon la grille d'appréciation de la qualité générale des eaux superficielle utilisée par l'ABH(CSM) 1999 voir le tableau dans la figure 8, Les divers prélèvements peuvent être qualifié comme suit (**Figure 40**) :

- Les eaux des stations (S1, S4, S5) sont de qualité excellente,
- de bonne qualité pour la 3^{ème} station,
- et de qualité passable pour la 2^{ème} station.



**Figure 40 : Carte de l'évolution spatiale de l'O2 dissous dans les cinq stations
(MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).**

Figure 41 : Carte de Synthèse des éléments physiques

4.1.2 Eléments minéraux majeurs

Les résultats des analyses de cations et anions sont regroupés dans les tableaux 20 (Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{--}) et illustrés par les figures 42 à 50, qui représentent la variation et l'évolution spatiale de chaque paramètre.

Tableau 20: des résultats des analyses pour les éléments minéraux majeurs

Eléments échantillons	Na^+	K^+	Mg^{++}	Ca^{++}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{--}
S1	76.36	0.093	28.68	76.16	195.2	124.25	115
S2	90.64	0.913	26.28	92.19	219.6	142	140
S3	91.22	0.864	31.08	96.2	250.1	142	130
S4	98.18	0.985	33.48	100.2	256.2	195.25	120
S5	102.34	0.995	30.96	108.22	237.9	213	135

1.1.1.1 Cations

1.1.1.1.1 Calcium (Ca^{2+})

Le calcium est un élément de la dureté. Il existe surtout à l'état de bicarbonates et en quantités moindres sous forme de sulfates, chlorures, etc...(Rodier et al. 2005). La teneur en calcium des biotopes terrestres ou limniques présente une importance écologique majeure (Ramade, 2002). C'est un constituant cationique le plus dominant des eaux superficielles, il se présente généralement sous forme de bicarbonate, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, soluble (Brémond et Vuichard, 1973).

Les valeurs du calcium varient d'une manière croissante au niveau des cinq stations (Figure 42). Les eaux la Seybouse présentent une valeur maximale de calcium de 108.22 mg/l à la station (S5), une valeur minimale de 76.16 mg/l à la station (S1) et une valeur moyenne de calcium 94.594 mg/l pour l'ensemble des cinq stations.

Cette augmentation des teneurs en calcium de l'amont vers l'aval peut être due à la dissolution des formations sédimentaires carbonatées et la dissolution des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), qui caractérisent les faciès de plusieurs niveaux stratigraphiques sur le bassin de la moyenne Seybouse, ajoutent que la teneur en ion calcium est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par les cours d'eau.

La faible teneur de calcium enregistré dans la 1ère station par rapport aux autres stations (2,3,4 et 5) indique une faible dissolution du calcium qui pourrait être due au phénomène de dilution causée par les lâcher de barrage de Bouhmdane.

Ce paramètre présente des corrélations très hautement à bonne à moyennement significatives et positives avec les paramètres suivants :

corrélations	Na^+	T°C	K^+	NO_3^-	CE	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{--}	Mg^{++}
Ca	0.989	0.975	0.910	0.901	0.874	0.870	0.809	0.536	0.521

A partir du tableau précédant, on peut constater que le calcium :

- ✓ Provient de la même origine des autres éléments chimiques qui participent à l'augmentation de la conductivité électrique, c.-à-d. une origine naturelle de la dissolution des formations carbonatées et formations évaporitiques.
- ✓ Il augmente avec la T°C c.-à-d. par l'augmentation de l'évaporation qui cause la remontée en sels.
- ✓ Il provient aussi de la dissolution du nitrate de calcium ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), qui sont utilisés pour la fabrication de fertilisants azotés, c.-à-d. une origine agricole.

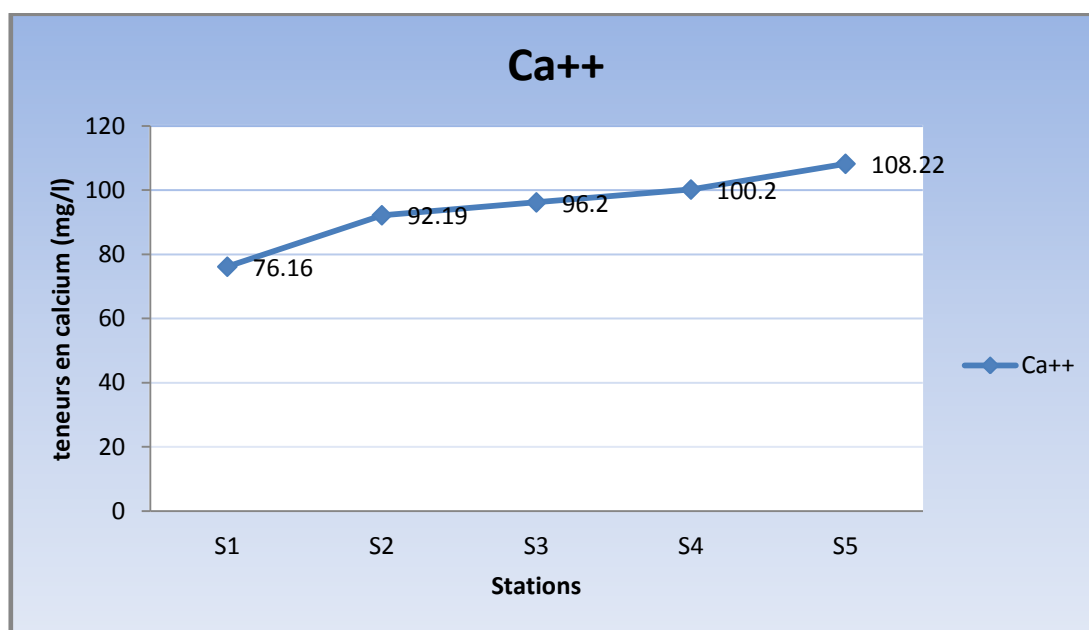


Figure 42: Variations spatiales des teneurs en calcium des eaux de l'Oued Seybouse.

1.1.1.1.2 Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est un constituant de nombreux minéraux et roches, en particulier la dolomie (carbonate double de calcium et de magnésium). Il provient également de la dissolution d'autres roches dans les eaux continentales (basalte, magnésites, argiles, etc.). Les eaux magnésiques se forment lorsqu'elles circulent sur des substrats dont les roches sont riches en cet élément (Ramade, 2002).

Selon Brémond et Vuichard (1973), le magnésium contribue à la dureté de l'eau sans en être l'élément essentiel. En effet, le rapport Mg / Ca est en général très inférieur à 1.

Les teneurs en magnésium varient spatialement de manière irrégulière d'une station à l'autre, la valeur maximale (33.48 mg/l) enregistrée au niveau de la S4 et la valeur minimale (26.28 mg/l) enregistrée au niveau de la S2 (**Figure 43**). La valeur moyenne du magnésium est de 30.096 mg/l pour l'ensemble des stations de la Seybouse.

Les teneurs en magnésium proviennent principalement de l'altération des minéraux calciques et la dissolution des formations évaporitiques comme la dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) d'où la moyenne corrélation de cet élément avec (Ca : $r=0.521$ et HCO_3 : $r=0.755$).

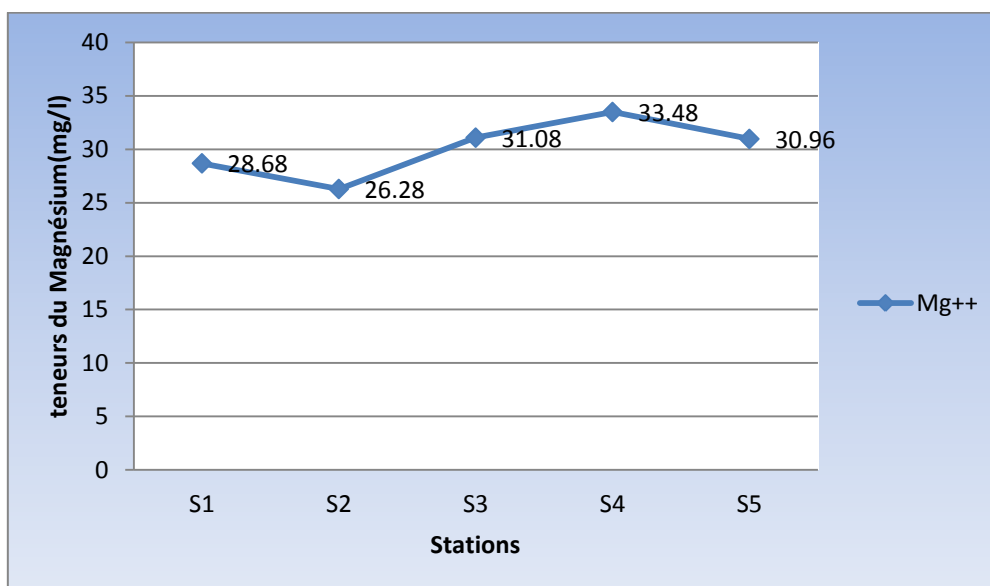


Figure 43: Variations spatiales des teneurs en Magnésium des eaux de l'Oued Seybouse.

1.1.1.1.3 Sodium (Na^+)

Le sodium est l'un des constituants majeurs de l'écorce terrestre (2.83 %). Il existe dans la totalité des eaux car sa solubilité est très élevée (Brémondet Vuichard, 1973).

Le sodium varie spatialement de manière croissante dans les cinq stations du prélèvement. Dans les eaux de la Seybouse, la valeur du sodium la plus faible 76.36 mg/l a été enregistrée à la station (S1), la valeur la plus élevée 102.43 mg/l a été enregistrée à la station (S5) (Figure 44).

Cette augmentation de l'amont vers l'aval, peut être attribué à la fois aux divers rejets des communes qui se trouvent de part et d'autre le long de l'Oued Seybouse, le sodium de ces eaux peut avoir une origine de la dissolution des minéraux argileux (illite et montmorillonite) et des évaporites (halite : NaCl) contenues dans les formations du Mio-Pliocène et du Trias qui affleure à l'aval de l'Oued Seybouse. Ces évaporites constituent une source importante de Na^+ , d'où une corrélation positive et significative ($r=0.897$) de cet élément avec les chlorures.

Les faibles teneurs en Na^+ dans la première station peuvent être dues au lâchés de barrage de Bouhmdane.

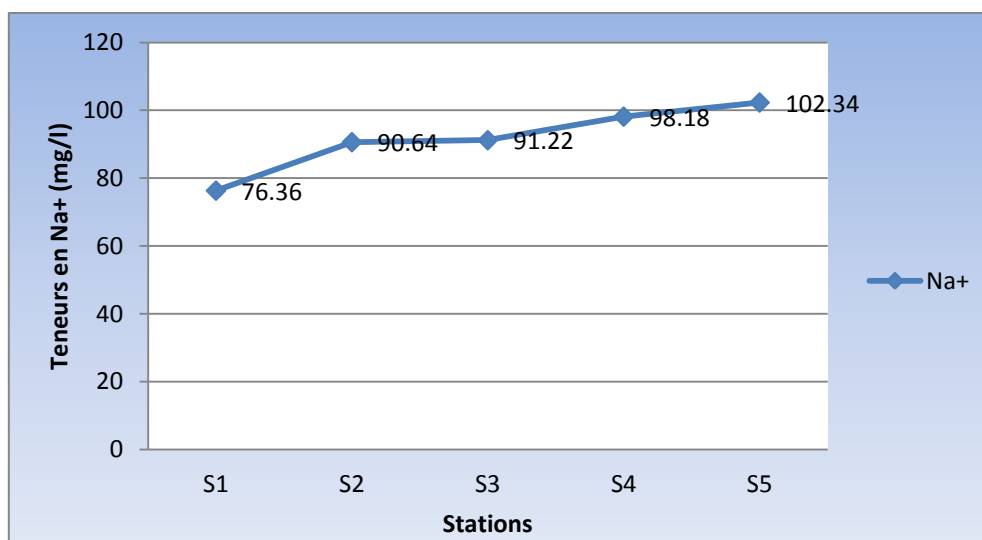


Figure 44: Variations spatiales des teneurs en Sodium des eaux de l'Oued Seybouse.

1.1.1.1.4 Potassium (K+)

Selon Brémond et Vuichard (1973), le potassium est un élément normal des eaux, où sa concentration est largement inférieure à celle du sodium, bien que leurs abondances relatives terrestres soient comparables (sodium 2.83 % - potassium 2.59 %).

En général, les teneurs en potassium varient spatialement de manière croissante avec des concentrations faibles, et avec une concentration très faible (0.093 mg/l) au niveau de la 1^{ère} station. (**Figure 45**)

La diminution de la teneur en potassium au niveau de la 1^{ère} station ne pourrait probablement être due qu'à un phénomène de dilution causé au lâchés de barrage de Bouhmdane.

Cet élément provient probablement de la dissolution du Sylvite (KCl) et la dissolution des fertilisants potassiques (encore appelé salpêtre, de formule KNO_3), d'où la corrélation de potassium avec (Cl : $r= 0.670$ et $NO_3 : r= 0.677$).

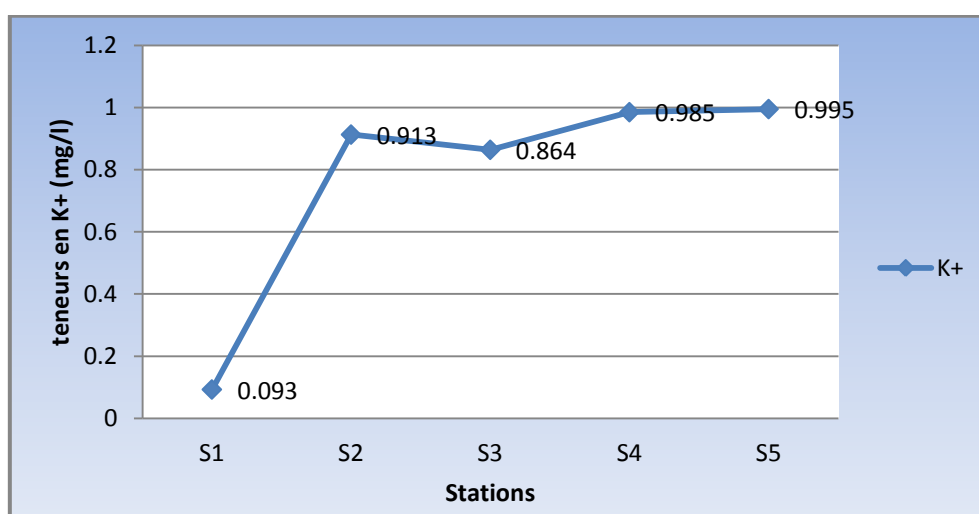


Figure 45: Variations spatiales des teneurs en Potassium des eaux de l'Oued Seybouse

Figure 46 : Carte de synthèse des cations

1.1.1.2 Anions

1.1.1.2.1 Chlorures (Cl⁻)

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations très variables (Brémond et Vuichard, 1973).

Les teneurs en chlorures des eaux analysées sont aussi varient de manière croissante, la valeur des chlorures la plus basse est de 124.25 mg/l enregistrée à la station (S1), la plus élevée est de 213 mg/l enregistrée à la station (S5) (**Figure 47**). Pour l'ensemble des stations, la valeur moyenne des Chlorures est de 163.3 mg/l,

La majeure part des chlorures viendrait de la dissolution des roches salées du Trias et du Mio-Pliocène qui caractérisent notre bassin versant, à la quelle pourrait s'ajouter divers rejets urbains ou industriels de l'Est de la ville de Guelma et ces communes. La teneur la plus faible en chlorures est enregistrée à la station (S1). Ceci pourrait être attribué par le phénomène de dilution causé par lâchées de barrage.

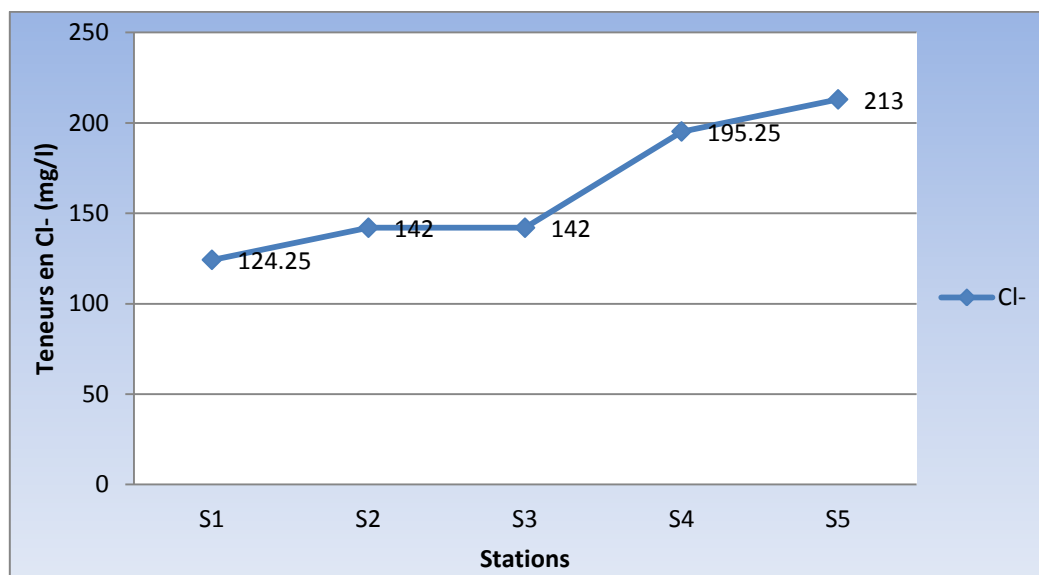


Figure 47: Variations spatiales des teneurs en Chlorures des eaux de l'Oued Seybouse.

1.1.1.2.2 Sulfates (SO₄²⁻)

Les sulfates, composés naturels des eaux, sont liés aux cations majeurs : calcium, potassium et sodium (Brémond et Vuichard, 1973).

D'après la **figure 48**, Les stations présentent des variations spatiales de manière irrégulière des teneurs en Sulfates, Ces teneurs atteignent un pic de 140 mg/l dans la 2^{ème} station et une valeur minimale (115 mg/l) au niveau de la 1^{ère} station.

La présence de cet élément est liée à la dissolution des formations évaporitiques (Gypse= CaSO₄ (2H₂O)) dans notre bassin versant et qui affleures en avale de l'Oued Seybouse, d'ou la légère corrélation positive et significative (0.536) de cet élément avec le Ca⁺⁺.

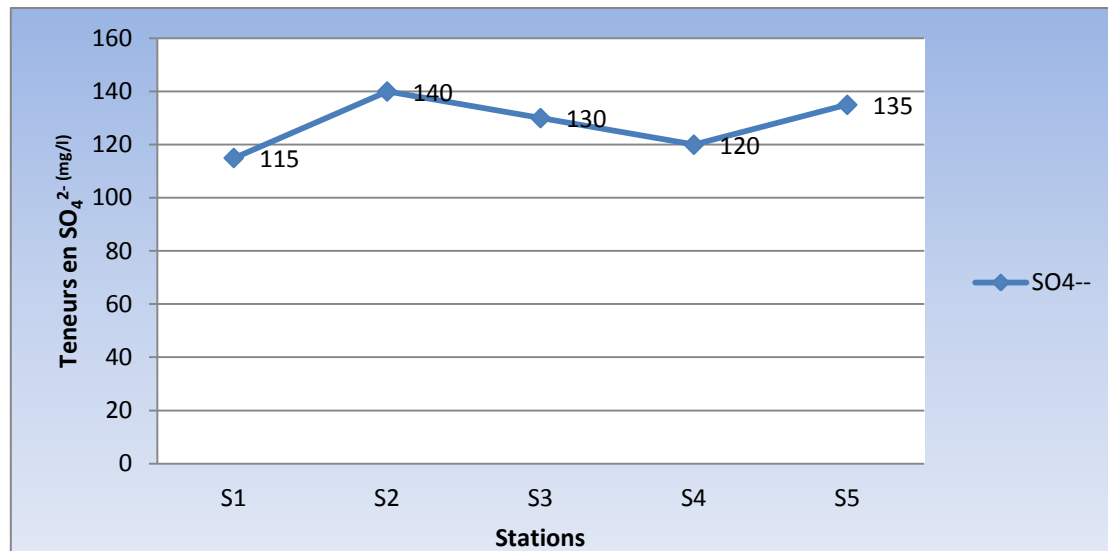


Figure 48: Variations spatiales des teneurs en Sulfates des eaux de l'Oued Seybouse.

Les teneurs élevées en sulfates dans la 2^{ème} station sont liées à la dissolution des gypses du miocène, qui se trouvent beaucoup dans le Sud d'Héliopolis (**Figure 49**).

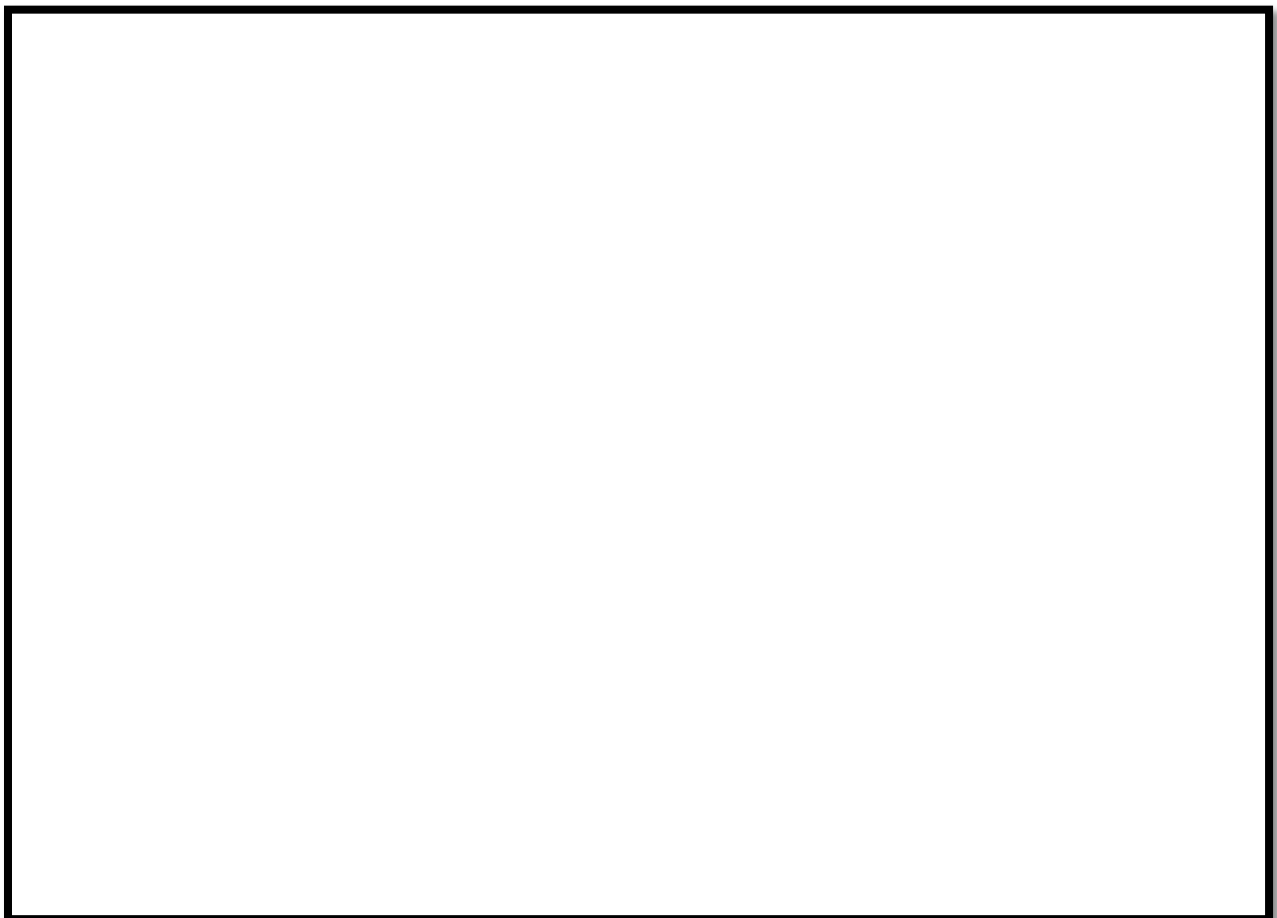


Figure 49 : carte de la géologie de la région d'Héliopolis extrait de la carte géologique de Guelma par J-M Vila (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).

1.1.1.2.3 Bicarbonates (HCO₃⁻)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :



Dans les eaux de la Seybouse les teneurs en Hydrogénocarbonates varient spatialement de manière croissante de la 1^{ère} station jusqu'à la 4^{ème} station, elles varient d'une valeur minimale de 195.2 mg/l au niveau de la S1 et un maximal de 256.2 mg/l au niveau de la S4 puis elles diminuent au niveau de la S5. (**Figure 50**)

La présence de cet élément dans les eaux de l'oued Seybouse est liée à la dissolution des formations calcaires (CaCO₃) et les formations évaporitiques comme la dolomite (Ca Mg(CO₃)₂) existante dans notre bassin versant, d'où la bonne corrélation positive et significative de cet élément avec le (Ca⁺⁺ : r= 0.809, et le Mg⁺⁺ : r= 0.755).

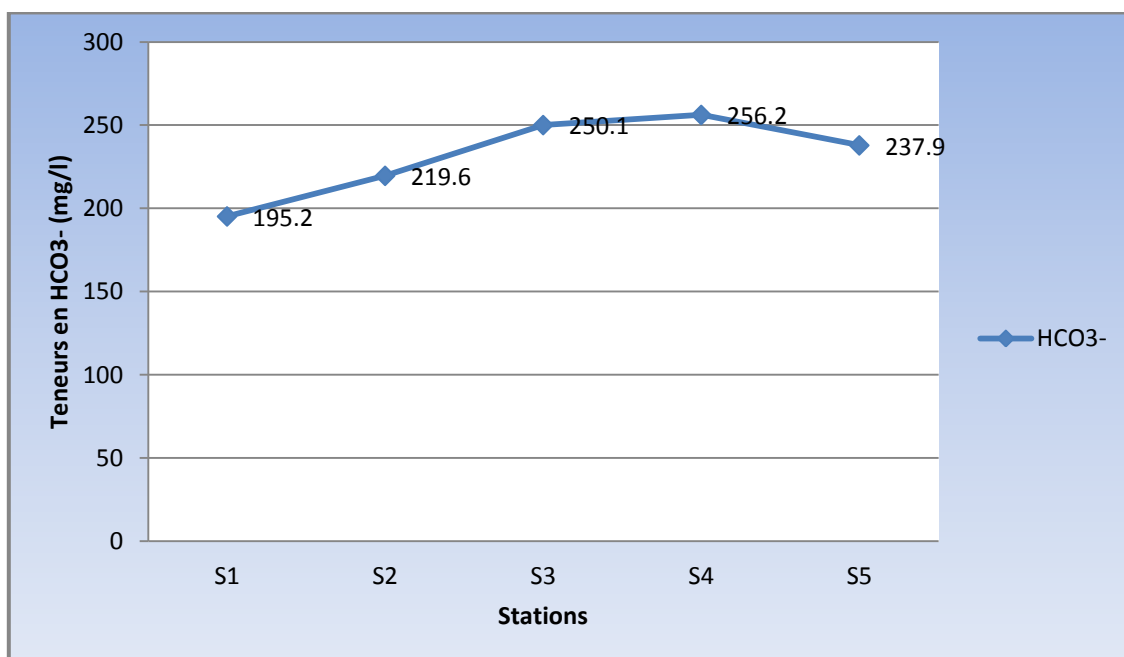


Figure 50: Variations spatiales des teneurs en Hydrogénocarbonates des eaux de l'Oued Seybouse.

Figure 51 : Carte de synthèse des anions

1.1.2 Paramètres de pollution

Les résultats des paramètres de pollution (DBO₅, DCO, NO₃⁻ et PO₄⁻) sont regroupés dans le tableau 21 et illustrés par les figures 52 à 56, et avec une carte format A3 (**Figure 57**) qui représente la pollution globale des eaux de l'Oued Seybouse.

Tableau 21 : Résultats des paramètres révélateurs de la pollution.

Nom échantillons	DBO ₅ (mgd'O ₂ /l)	DCO (mgd'O ₂ /l)	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻
S1	25	59.37	27	3.75
S2	15	31.57	33	2.95
S3	15	45.09	42	3.18
S4	25	70.35	38	3.62
S5	10	19.55	55	3.86

1.1.2.1 Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La DBO₅ exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation biologique de la matière organique d'une eau. Elle est sensiblement proportionnelle à la teneur de l'eau en matière organique biodégradable et donc à la quantité de micro-organismes et inversement proportionnelle à la teneur en oxygène dissous. Elle dépend entre autre de la nature des matières organiques dissoutes, de la présence ou de l'absence d'éléments inhibiteurs de la flore microbienne (métaux lourds, hydrocarbures, détergents...).

Selon Eckenfelder (1982), la DBO₅ est une mesure du carbone organique biodégradable, et dans certaines conditions, des formes azotées réduites dans l'eau usée.

Dans les eaux de la Seybouse, les valeurs de la DBO₅ présentent une variation spatiale irrégulière, dont les valeurs maximum de DBO₅ (25 mg/l d'O₂) enregistrées au niveau des stations (S1 et S4) et une valeur minimale (10 mg/l d'O₂) dans la 5^{ème} Station (Histogramme dans la **figure 52**).

Si nous nous référons à la grille d'appréciation de la qualité des eaux superficielles utilisée par l'ABH (voire tableau dans la **figure 52**), nous pouvons classer les cinq stations comme suit :

- les eaux de la station (1, 2, 3 et 4) sont de qualités médiocres ;
- l'eau de la 5^{ème} station est de qualité passable.

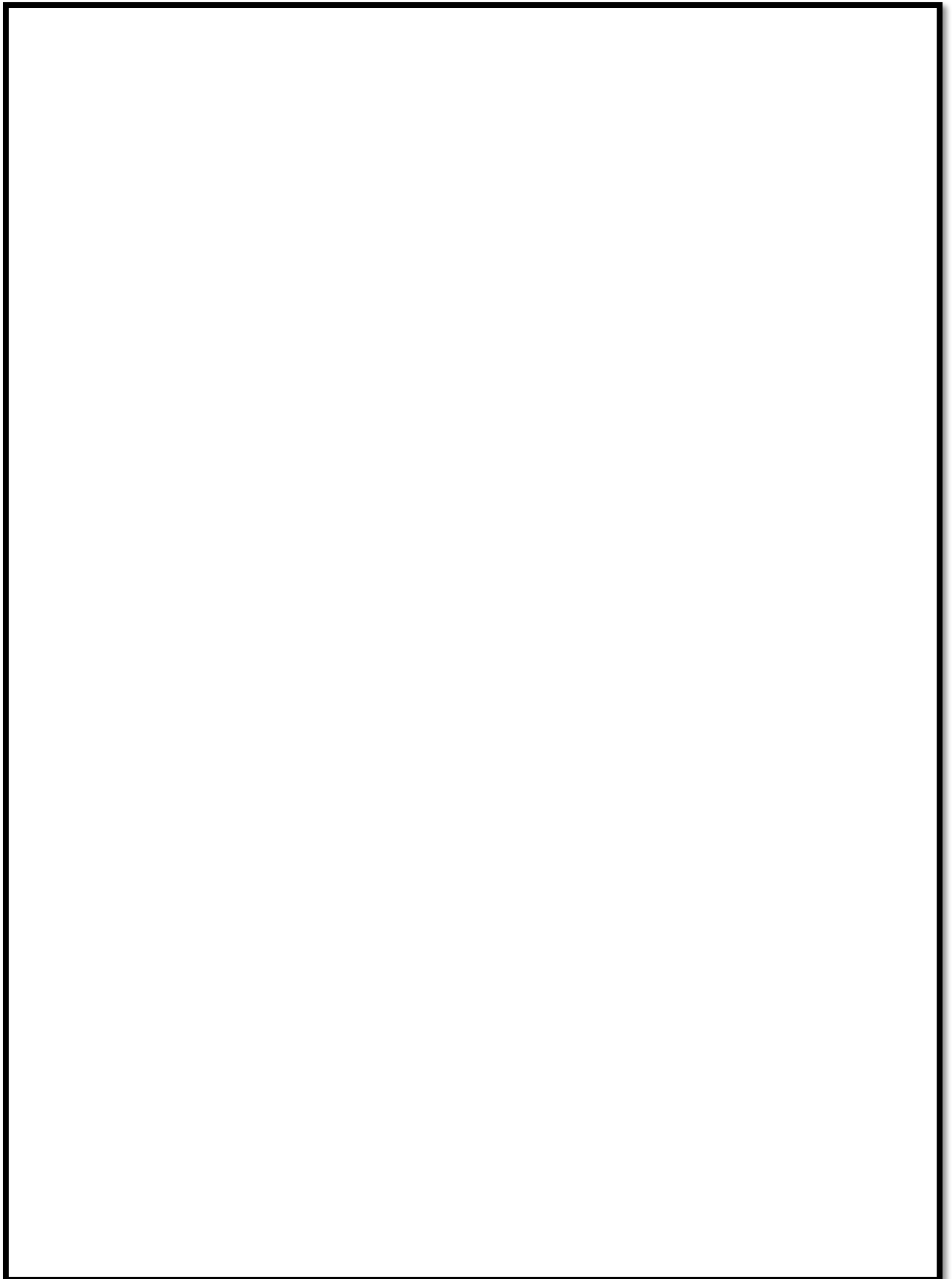


Figure 52: Carte de l'évolution spatiale de la DBO₅ des eaux de l'Oued Seybouse (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).

1.1.2.2 Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO permet une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quelques soient leurs origines (fer ferreux, nitrates, ammoniacque, sulfures et chlorures). Eckenfelder (1982) l'a définie comme étant une mesure du carbone total à l'exception de certains composés aromatiques, tels que le benzène, qui ne sont pas complètement oxydés dans les conditions de l'essai.

Dans les eaux de la Seybouse, les valeurs de la DCO présentent une variation spatiale irrégulière, dont la valeur maximale de la DCO (70.35 mg/l d'O₂) enregistrées au niveau de la station (S4) et la valeur minimale (19.55 mg/l d'O₂) dans la 5^{ème} Station (**figure 53**).

L'augmentation de la DCO est liée :

- Directement avec l'oxydation de la matière organique, d'où la corrélation hautement significative et positive de la DCO avec la BDO5 ($r=0.949$),
- Indirectement à l'oxydation de la matière organique azotée pour donnée les nitrates, d'où la moyenne corrélation négative de la DCO avec les nitrates ($r= -0.606$).
- Et liée aussi l'oxydation des sulfures pour donnée des sulfates, d'où la bonne corrélation négative de la DCO avec SO₄ ($r= -0.858$)

Si nous nous référons à la grille d'appréciation de la qualité des eaux superficielles utilisée par l'ABH (voire tableau dans la **figure 53**), nous pouvons conclure que :

- Les eaux de la station (1,3 et 4) sont de qualités médiocres,
- L'eau de la 2^{ème} station est de qualité passable,
- et l'eau de la 5^{ème} station est de qualité excellente.

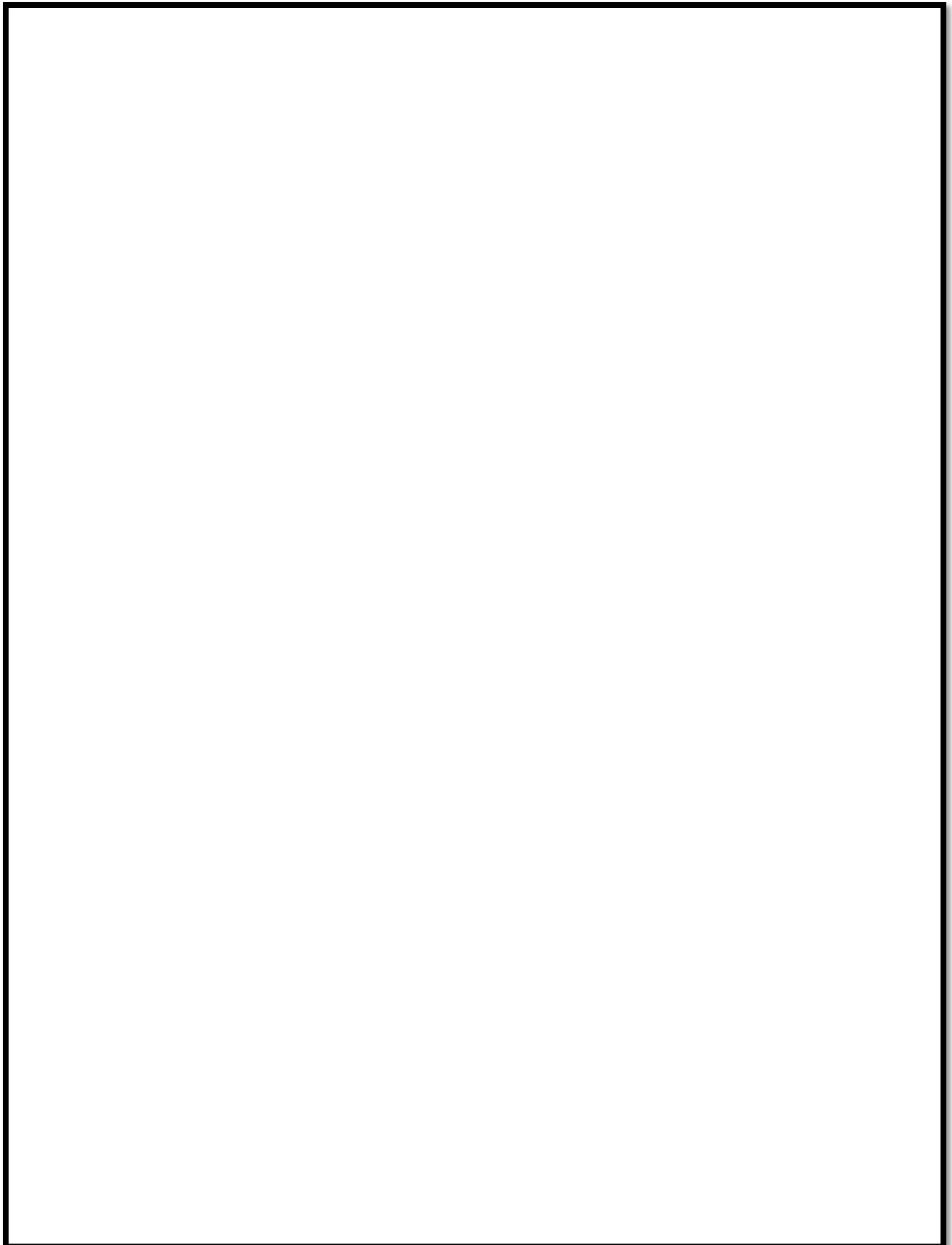


Figure 53: Carte de l'évolution spatiale de la DCO des eaux de l'Oued Seybouse (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).

1.1.2.3 Nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates existent à l'état naturel, dans les sols, les eaux tant de surface que souterraines et toutes les matières végétales. Ils proviennent de la décomposition naturelle, par des microorganismes, de matières organiques azotées telles que les protéines des végétaux, des animaux et des excréta d'animaux. Ils parviennent ainsi aux rivières par les nappes d'eau souterraines et par le ruissellement des terres agricoles en hivers.

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique. Leur présence dans une eau polluée atteste que le processus d'autoépuration a déjà joué.

Les nitrates présentent une variation spatiale irrégulière (**figure 54**), au niveau des eaux de l'Oued Seybouse: la concentration minimale en nitrates 27 mg/l a été enregistrée à la station (S1), et la concentration maximale 55 mg/l a été enregistrée à la station (S5).

D'après le tableau dans **la figure 54**, les eaux de quatre premières stations présentent une qualité passable, et la 5^{ème} station présente une qualité médiocre.

Cette quantité importante de nitrates au niveau de la 5^{ème} station issue des deux Oueds (la Seybouse et El Malah), peut-être générée par deux types de pollutions :

- **Agricole** : par la dissolution des sels de nitrate comme par exemple le nitrate de potassium (encore appelé salpêtre, de formule KNO₃), le nitrate de sodium (NaNO₃), le nitrate de calcium (Ca(NO₃)₂), qui sont utilisés pour la fabrication de fertilisants azotés, d'où la corrélation positive et significative entre les nitrates et les (Ca⁺⁺ : r= 0.901, Na⁺ : r= 0.843 et K⁺ : r= 0.677).
- **Organique** : par la dégradation et/ou l'oxydation de la matière organique azotée en nitrates (**figure 55**), d'où la corrélation négative de cet élément avec la (DBO₅ : r= - 0.741 et la DCO : r= -0.606), c.-à-d. la dégradation et l'oxydation de la matière organique azotée fait augmenter indirectement les teneurs en nitrates dans les eaux de l'Oued Seybouse.

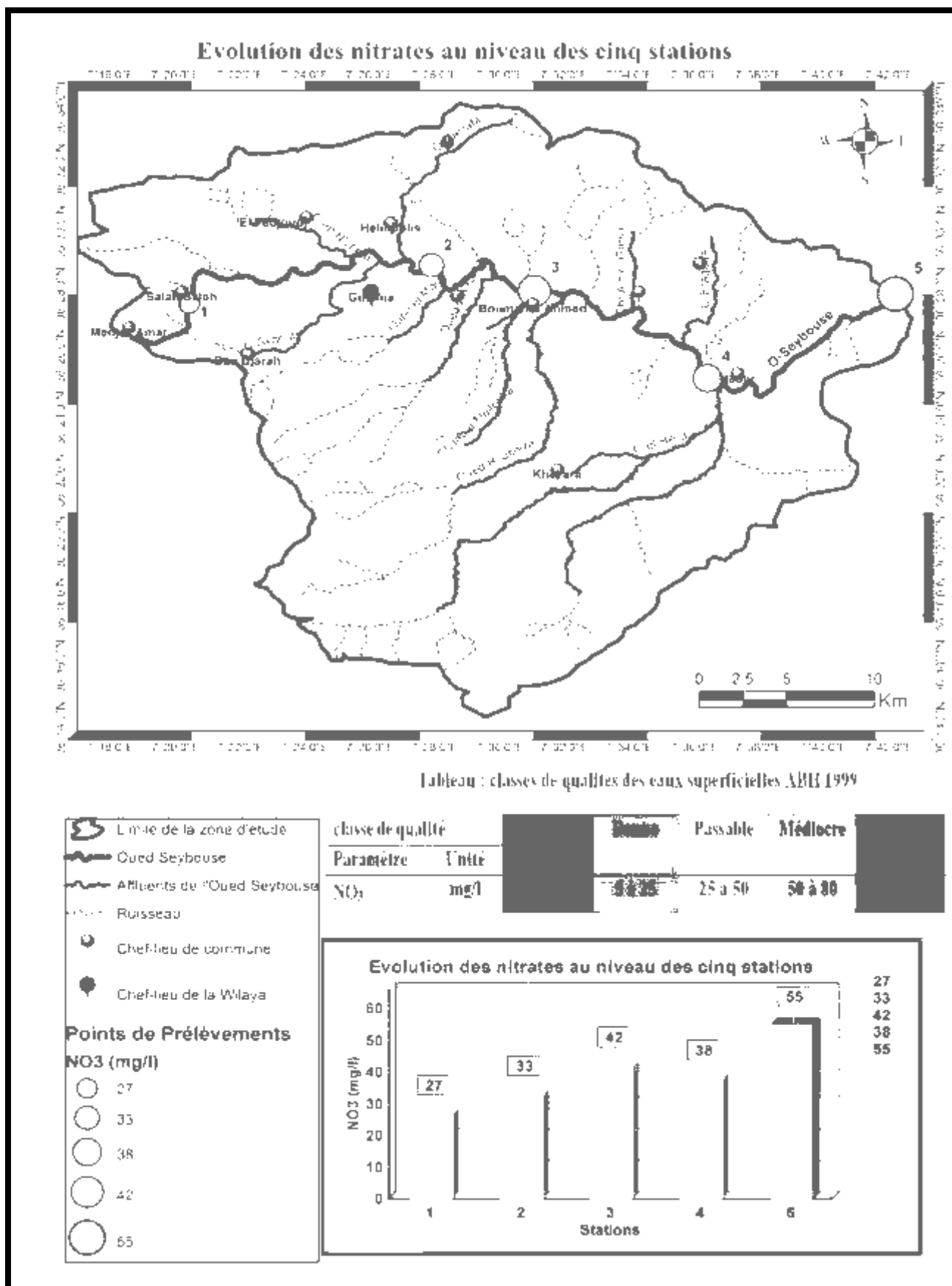


Figure 54: Carte de l'évolution spatiale des teneurs en Nitrates dans les eaux de l'Oued Seybouse (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).

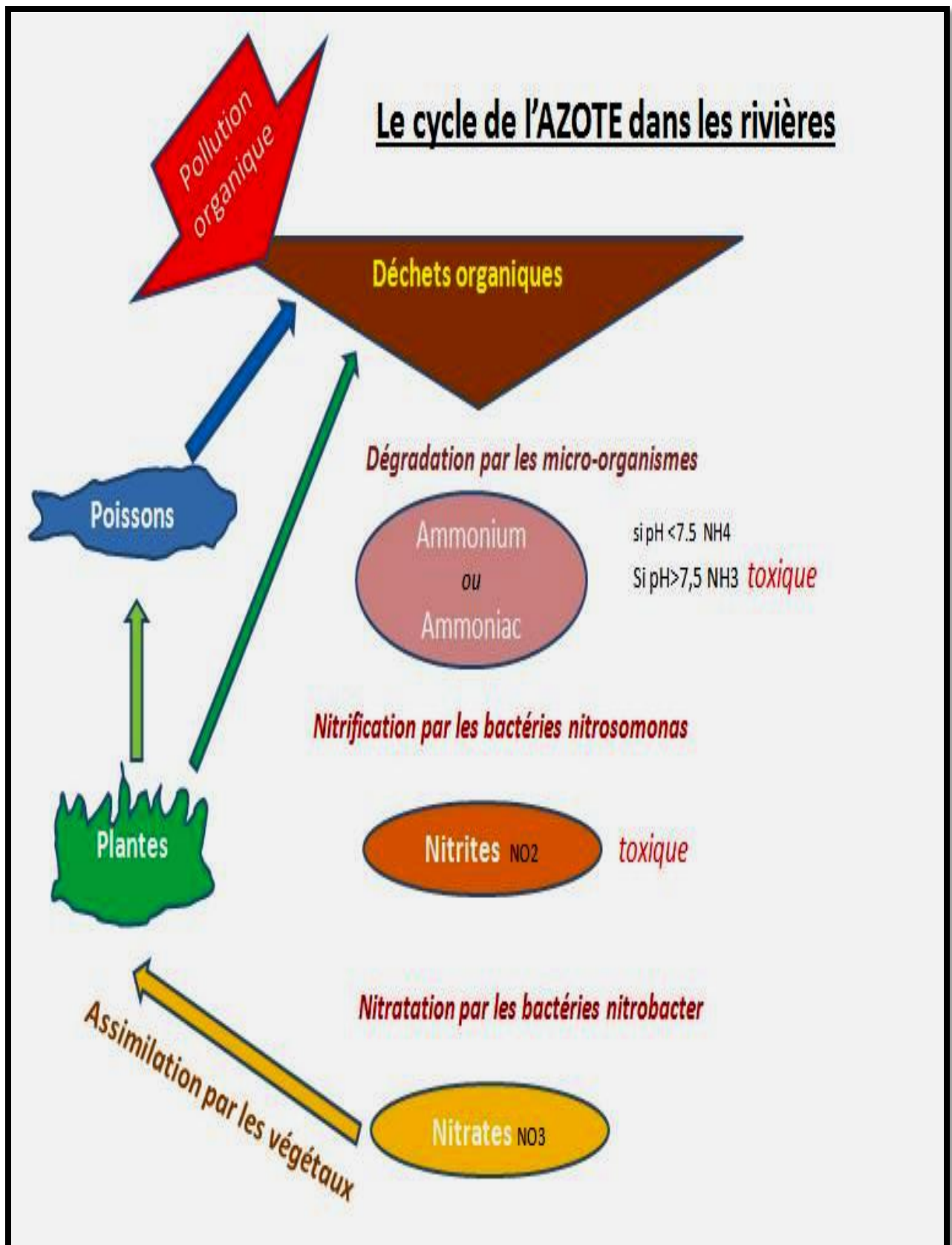


Figure 55: Cycle de l'Azote dans les rivières.

1.1.2.4 Phosphates (PO_4^{-2})

Le phosphore est naturellement présent dans les eaux superficielles en faible concentration. Compte tenu de son importance dans la constitution des êtres vivants, il joue souvent, vis-à-vis de leur développement, le rôle de ‘‘facteur limitant’’. En effet, selon Rodier *et al.* (2005), le phosphore joue un rôle très important dans le développement des algues ; il est susceptible de favoriser leur multiplication dans les eaux des lacs, où elles contribuent à l’eutrophisation.

La présence des phosphates dans les eaux naturelles à des concentrations supérieures à 0.1 ou 0.2 mg/l est l’indice d’une pollution par des eaux vannes contenant des phosphates organiques et des détergents synthétiques ainsi que par les eaux de ruissellement.

Nisbet et Verneaux (1973) et Afri-Mehennaoui (1998) admettent pour les eaux courantes la limite de 0.3 mg/l, au-delà de laquelle, il peut y retenir un caractère marqué d’eutrophisation et des risques de nuisances divers.

Les eaux de l’Oued Seybouse présentent pour l’ensemble des cinq stations, un taux en phosphates largement élevé et qui dépasse le plus souvent les limites fixés par l’ABH (voire tableau dans la **figure 56**), ce qui révèle une situation douteuse avec un état anormal et critique, Une telle situation peut être attribuée au lessivage des terres agricoles traitées par les engrais. L’origine des orthophosphates est surtout urbaine. Ils proviennent des eaux d’égouts domestiques.

Leynaud et Verrel (1980) affirment qu’à partir des études effectuées à ce jour, une grande partie des apports en phosphore dans les eaux superficielles provient des rejets industriels (industries agro-alimentaires, textiles, laveries, ateliers de traitement de surface...).

La teneur la plus élevée en phosphates 3.86 mg/l enregistrée au niveau de la station (S5), et la teneur la plus faible 2.95 mg/l enregistrée au niveau de la station (S2) (Histogramme dans la **figure 56**), Cette faible teneur liée a la présence de la station d’épuration avant le point de prélèvement (S2), cette station traite les eaux usées de la ville de Guelma.

Selon la classification de l’ABH, les eaux de l’Oued Seybouse présentent un aspect de pollution excessive assez net et sont par conséquent eutrophes (taux en phosphates > 2 mg /l) (**figure 56**).

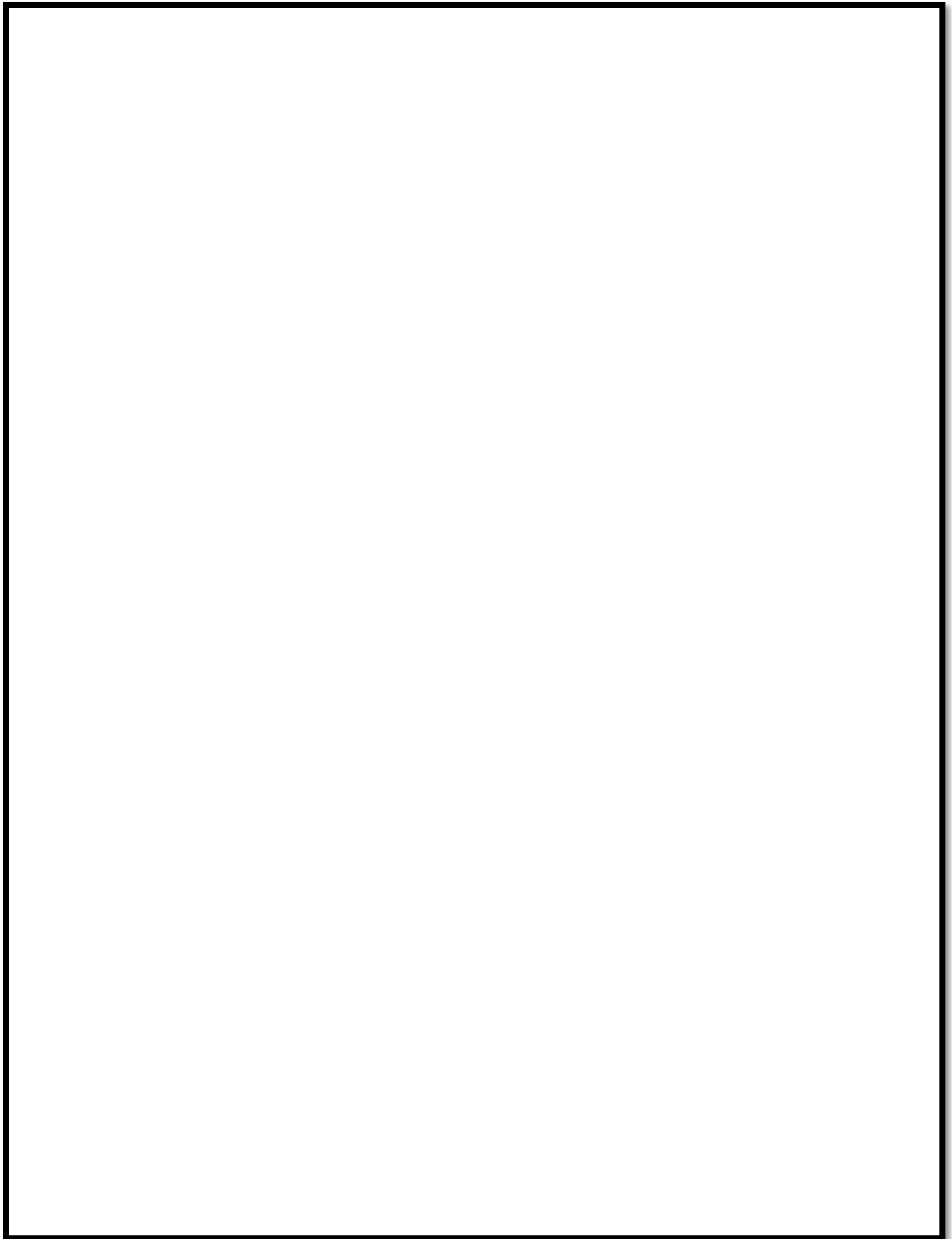


Figure 56: Carte de l'évolution spatiale des teneurs en phosphates dans les eaux de l'Oued Seybouse (MEKAOUI A.H & BENNOUR S.E, 2016).

Figure 57 : carte de pollution globale des eaux des cinq stations

2. Aptitude des eaux d'oued Seybouse à l'irrigation :

Il est connu que les sels minéraux contenus dans l'eau ont des effets sur le sol, les plantes et les êtres-humains. Ces sels peuvent perturber le développement physique des plantes par l'absorption de l'eau qui agit sur le processus osmotique, ou chimiquement par les réactions métaboliques telles que celles causées par les constituants toxiques. En plus, (Person J.1978) les sels causent des changements dans la structure du sol, sur sa perméabilité et sur son aération, affectant directement le développement de la plante. Par conséquent, la consommation de cette dernière peut être à l'origine des maladies chroniques.

2.1 Risque de sodicité et de salinité

La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du sodium des sels de chlorures de sodium par les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte en dégradant les propriétés physiques du sol. Sous cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes (Tood D.K ; 1980) in Djabri, 1993.

Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent dans le complexe absorbant, les cations Ca^{2+} le plus fréquemment. Une eau chargée en sel, peut provoquer cette action. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable, « sodium Absorption Ration » S.A.R.

2.1.1 Diagramme de Riverside :

Le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino-terreuses, joue un rôle important dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation.

Pour déterminer ce risque, Riverside a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par le sol (SAR) et la minéralisation totale.

Donc le SAR, sera calculé par la formule suivante :

$$SAR = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

Où les concentrations sont exprimées en méq/l.

Pour une conductivité donnée, le risque sera d'autant plus important que le S.A.R. sera élevé. On utilisera dans ce qui suit un diagramme de classification en fonction du S.A.R. et de la conductivité électrique de l'eau.

Pour cela on a utilisé des résultats d'un «calcul automatique des valeurs de SAR », effectuée à l'aide d'un logiciel d'hydrochimie multi langage établi par Simler au Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon en 2004. Ces calculs ont donné naissance aux graphes de Riverside.

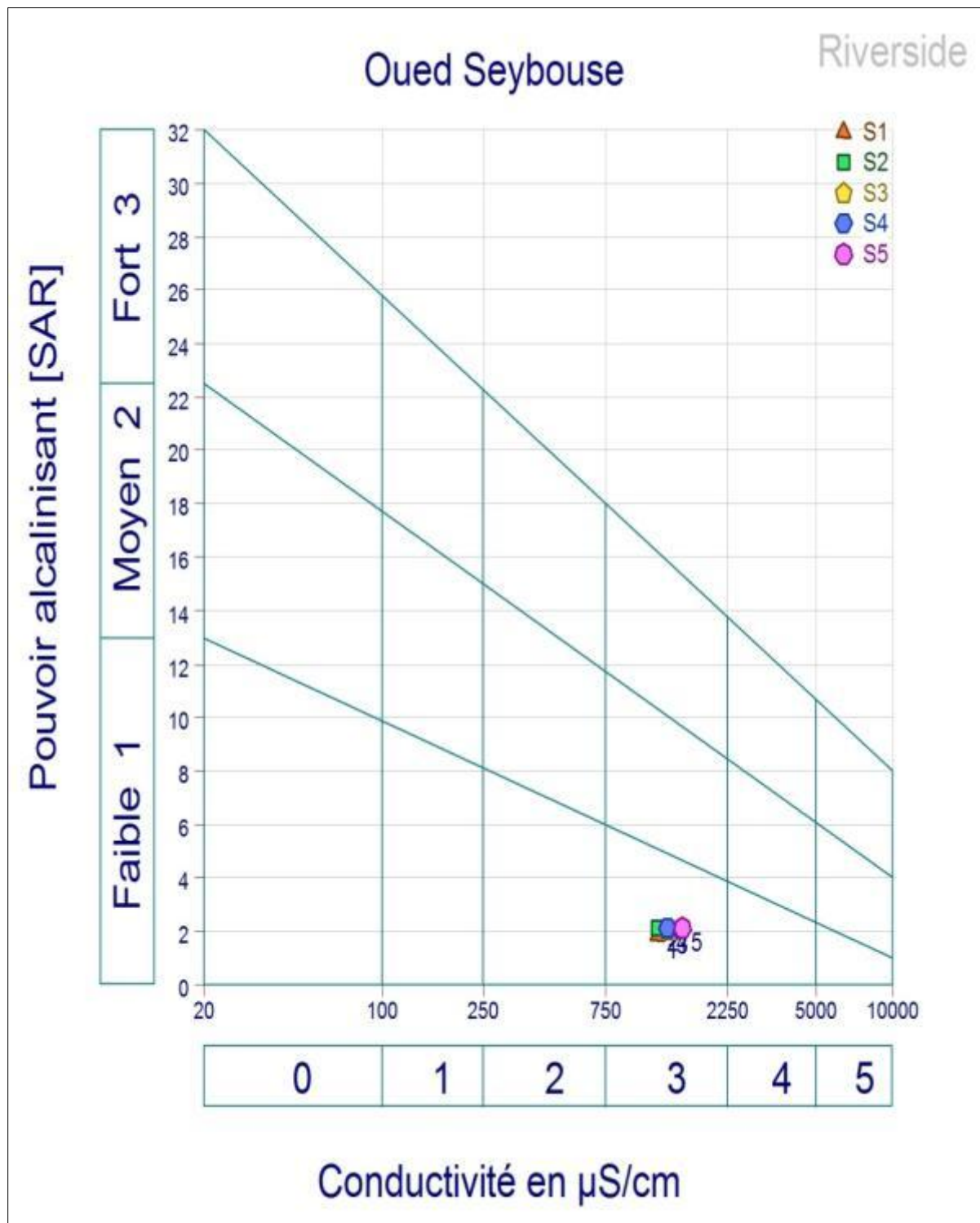


Figure 58: Classification des eaux de l'oued Seybouse à l'irrigation d'après le diagramme de Riverside (Avril 2016).

D'après le diagramme de Riverside, tous les points sont localisés dans la classe C3S1, cela indique que les eaux de l'Oued Seybouse à une moyenne à forte salinité mais à faible danger d'alcalinisation des sols.

Selon le tableau ci-dessous ces eaux ont de qualités admissibles, convenant à l'irrigation de cultures tolérantes aux sels sur les sols drainés.

Tableau 22: Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R (M. Louvier, 1976- B.R.G.M).

Degré	Qualité	Classe	Possibilité d'utilisation
1	Excellente	C1S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures.
2	Bonne	C2S1 C2S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels, sur sols ayant une bonne perméabilité.
3	Admissible	C2S3 C3S1 C3S2	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes aux sels sur les sols drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	Médiocre	C3S3 C4S1 C4S2	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à certaines espèces bien tolérantes aux sels sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C4S3 C4S4 C3S4	Eau ne convenant pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions.

2.1.2 Diagramme de WILCOX :

Il est reconnu en général que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium (Lourrier 1976).

Pour cette raison Wilcox a établi en 1954 un diagramme qui tient compte du pourcentage de sodium, et de la conductivité électrique, définissant 5 classes d'eau (excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise) dont le pourcentage de sodium sera calculé par la formule :

$$Na^+\% = \left[\frac{Na^+}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)} \right] * 100$$

Avec : Les concentrations du Na, Ca, Mg, Na et K sont en meq/l.

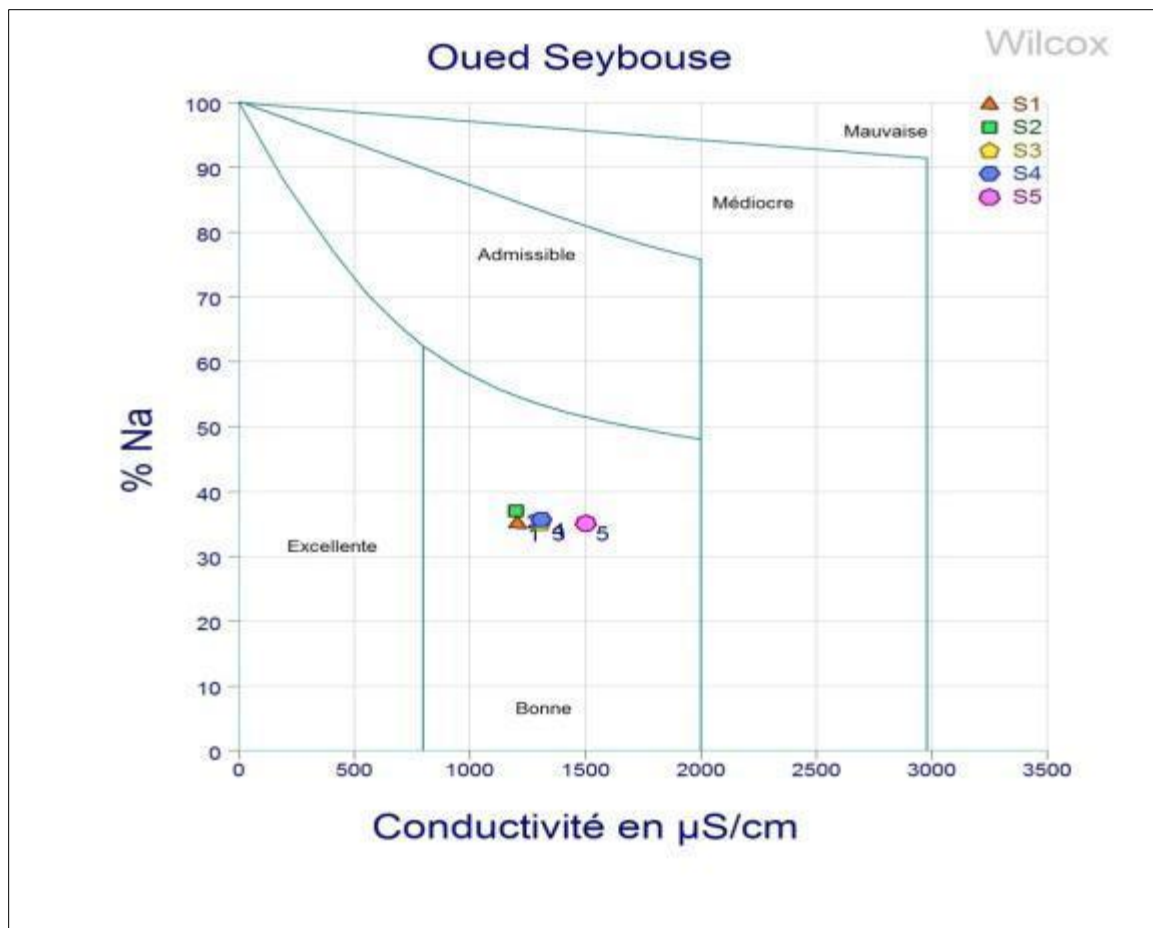


Figure 59 : Classification des eaux d'oued Seybouse a l'irrigation d'après le diagramme de Wilcox (Avril 2016)

D'après le digramme on constate que les valeurs obtenues ont une qualité chimique bonne pour l'irrigation.

Conclusion

L'hydrochimie a porté sur les aspects qualitatifs des eaux de l'oued Seybouse à travers les 5 échantillons prélevés.

On a commence par la balance ionique qui servent à examiner notre résultat d'analyse qui sont fiable par une marge inférieur a 7%.

La classification des eaux selon Piper montre un faciès globale de type Chlorurées sulfatées calciques et magnésiennes. Cette dominance de faciès est liée à la nature géologique de la région, puisque l'interaction entre l'eau et la roche provoque une dissolution.

La classification des eaux selon Stabler nous a permis de constater deux faciès : dans les Station S1 ; S2 ; S4 ; et S5 un faciès **chlorurées calcique** due à la dissolution des

formations évaporitiques, en présence des roches carbonatées, alors dans la troisième station un faciès **Bicarbonaté calcique**, due au rejet de l'unité de l'ENAMarbre à Boumahra qui transforme le marbre.

Par le biais de la matrice de corrélation et de l'analyse en composante principale, nous avons pu statistiquement démontrer les liens existant entre les éléments physico-chimiques ce qui à donner l'influence à l'origine possible de notre résultat, ainsi l'ACP nous a permis de mettre en évidence l'origine de la minéralisation et de la pollution des eaux de la Seybouse.

Les éléments majeurs évoluent de manière croissante en générale, il augmente de l'amont vers l'aval se qui augmente aussi la minéralisation.

Les recensements réalisés au niveau de la zone d'étude montrent que la moyenne vallée de la Seybouse reçoit des rejets urbains. Par ailleurs l'agriculture est intensément pratiquée.

Du fait qu'ils constituent le premier récepteur des différents rejets, la qualité des eaux de l'Oued Seybouse sont affectées par les différents types de pollution :

- Agricole marquée par la forte concentration en nitrates surtout au niveau de la 5ème station.
- Urbaine et organique marquée par la présence du PO₄ à des fortes concentrations, et par la DBO₅ et la DCO.

Enfin, nous avons évalué la qualité des eaux de la Seybouse utilisées en irrigation dans la plaine de Guelma, la qualité des eaux de l'oued Seybouse est bonne à passable, d'où l'irrigation doit être effectuée avec prudence.

Conclusion générale et recommandations

La zone d'étude est située dans le bassin versant de la Seybouse ; elle fait partie de l'ensemble géologique du tell Algérien Nord Orientale. La région présente une forme allongée, avec un relief relativement fort. Cet ensemble permis de dégager certains aspects des conditions de l'écoulement.

L'analyse des données climatiques de la station métrologique de BELKHEIR a montre que la région d'étude possède un climat de type sub-humide, caractérisé par deux saisons l'une saison humide s'étend du mois de Novembre jusqu'au mois Avril et d'une saison sèche qui va du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre.

Elle reçoit une moyenne annuelle de pluie de 640.6 mm sous une température moyenne de l'ordre de 17.9°C, dont 69,9% est perdue par évapotranspiration, le reste des précipitations est partagé presque à part égale entre le ruissellement (16.2 %) qui va rejoindre principalement les Oueds et l'infiltration (13.88%) qui va recharger les nappes souterraine.

L'interprétation du bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite montre qu'à partir du mois de Novembre, les précipitations sont importantes entraînant ainsi une prédominance sur l'évapotranspiration permettant la recharge en eau.

Le bilan est dans son ensemble est déficitaire, mais il est excédentaire du mois de décembre jusqu'à avril d'où la nécessité d'une irrigation en été.

D'un point de vue géologique, 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 flysch et les calcaires.

L'aperçu hydrochimique des eaux de l'Oued Seybouse, a permis de suivre l'évolution des concentrations dans l'espace et d'appréhender l'origine naturelle, industrielle, agricole ou urbaine du chimisme de ces eaux.

La qualité des eaux de l'oued Seybouse est étroitement liée aux conditions physico géographiques, géologiques et anthropiques :

- ❖ Du point de vue géologique ; la dissolution des formations géologiques (évaporitiques et carbonatées) est responsable, par endroit, des concentrations en éléments majeurs (Ca, Mg, Na, HCO₃, Cl,....).
- ❖ L'action anthropique:
 - Urbaine: les affluents domestiques.

- Agricole : l'utilisation massive des fertilisants des sols, l'usage de produits chimique de traitement des plantes (pesticides) et l'épandage excessif des engrais chimiques est responsable des fortes concentrations en NO₃ ;
- Industrielle ; les unités les plus importantes sont : La Sonacome, raffinerie de sucre, La Conserverie de tomate, Limonaderie de Fendjel.
- ❖ La représentation graphique des éléments chimiques selon le diagramme de Stabler a permis de mettre en évidence une prédominance du faciès Chlorurées calciques.

L'analyse statistique (ACP), montre que la minéralisation des eaux de l'Oued Seybouse augmente avec la pollution nitrique de l'amont vers l'aval, les éléments majeurs Cl⁻, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻,..... évoluent ensemble, ce qui implique qu'ils ont une même origine et proviendraient du contact eau roche.

Pour l'irrigation, la représentation des analyses des eaux de la Seybouse sur les diagrammes de Riverside et Wilcox permette-nous à conclure que la qualité des eaux de la Seybouse utilisées en irrigation dans la plaine de Guelma est de qualité passable à bonne.

La première urgence est de réduire de manière significative les facteurs de pollution, ainsi nous préconisons :

- ✓ Un prétraitement des eaux des rejets particulièrement industriel,
- ✓ Le traitement des rejets de petites agglomérations par lagunage pour diminuer la charge polluante.
- ✓ Concernant l'agriculture, il est conseillé de limiter l'utilisation intensive des engrais chimiques dans les sols à forte perméabilité, afin de limiter l'infiltration des éléments chimiques vers la nappe et même vers les eaux superficielles.
- ✓ Des campagnes de contrôle de la qualité des eaux doivent être effectuées d'une manière systématique pour prévoir toute augmentation excessive des teneurs en éléments responsables à la pollution.

Face à l'augmentation des besoins en eau dans le bassin de la moyenne Seybouse, du l'accroissement de la population, au développement de l'industrie, à l'extension de l'irrigation et aux risques réels d'atteinte à la qualité de cette ressource, il semble urgent de mettre en place des mesures à même de réduire les effets de la pollution sur la faune et la flore.

En conclusion la protection de l'environnement est l'affaire de tous ainsi il est souhaitable de sensibiliser et convaincre les associations pour arriver à ce but.

Bibliographie

A.B.H. (1999). Pollution des eaux superficielles. Les cahiers de l'Agence, Agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue. Constantine-Algérie. 19p.

Agence de l'eau .Rhin Meuse 2005

Azzedine Ghachi (1987).Le bassin de la Seybouse, Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie, Office des publications universitaires Alger.

BEAUDRY, Jean-Paul. Traitement des eaux, Ed. Le Griffon d'argile INC, Canada, 1984.

Bechiri. N., (2011): Evolution du chimisme des eaux de surface et Souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Nord-est Algérien) : Université Badji Mokhtar-Annaba. Mémoire d'ingénieur d'état en Hydrogéologie. 100 pages.

BREMAUDE, C. CLAISSE, J-R. LEULIER, F. THIBAUT, J et ULRICH, E. Alimentation, santé, qualité de l'environnement et du cadre de vie en milieu rurale. Edition Educagri. Dijon. FRANCE. (2006). p 220-221.

Brémond R. et Perrodon C., 1979. Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et cadre de vie. 2ème ed : 259 p.

Brémond R. et Vuichard R., 1973. Les paramètres de la qualité de l'eau. Ed. La documentation française. Paris. 173p.

Centre d'information topographique, 2004. Norme et catalogue de la Base de données Géospatiale (BDG). Ressources naturelles Canada, Géomatique Canada, Sherbrooke, pp: 50.

D.P.A.T., (2008) : Direction De La l'Aménagement Du Territoire. Rapport Interne, Monographie de la Wilaya de Guelma. 36p

Djeraba. M .,(1973). Etude agro-pédologique de la plaine alluviale de Guelma. Programme quadriennal 1970-1973. Opération 11.01.0.60.20.78. 86 p.

Dussart B., 1992. Limnologie: étude des eaux continentales. Paris. 638 pp.

Eckenfelder W. W., 1982.Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Techniques de documentation. Ed. Lavoisier, Paris. 503p.

El Morhit M., 2009. Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences écotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Lukkos). Thèse de Doctorat en Toxicologie. Université Mohammed V. Agdal, Rabat, Maroc. 260 p.

Gagnon, H., 1974. La photographie aérienne - son interprétation dans les études de l'environnement et du ménagement du territoire, Editions HRW, Montréal, 278p.

Gaujous D., 1995. La pollution des milieux aquatiques. Aide mémoire. Ed. Technique et Genève, Suisse.

Hutchinson T.C. et Meema K.M., 1987. Lead, mercury and arsenic in the environment. SCOPE 31. Chichester, John Wiley and Sons, 360 p.

Kachi. N, (2015). Impact du périmètre irrigué sur la qualité des eaux souterraines dans le bassin versant de la Seybouse, Thèse de doctorat. Université de 8 mai 1945 Guelma. 173p.

Leynaud G.et Verrel J. L., 1980. Modification du milieu aquatique sous l'influence des pollutions, 1-80 in Pesson P., (La pollution des eaux continentales, incidence sur les biocénoses aquatiques). Gautier-Villard. (Ed.). Paris, 345p.

M. Bedouh. Y., (2014): Évaluation de la toxicité des eaux usées traitées par lac station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « *Allium cepa* ». Thèse de Doctorat L.M.D.

M. Louvier, 1976. La qualité de l'eau de la rivière Eure: son évolution dans le temps et dans l'espace. Bull. BRGM, 77-94.

Nisbet M et Verneaux J., 1970. Composantes chimiques des eaux courantes : discussion et proposition de classes en tant que base d'interprétation des analyses. Ann. De limnologie. Tome 6, n°2, 161-190.

O.M.S, (1994) : Directive de qualité pour l'eau de boisson 2eme édition, recommandations

O.M.S, 2006 : Mondiale de la santé, Organisation. Plan stratégique à moyen terme 2008-2013. Genève.

R.P.A (2003). Règles Parasismiques Algériennes RPA 99.

Ramade F., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2^{ème} Ed. DUNOD. Paris. 1075 pp.

RGPH. (2008-2015): Projection de la population de la willaya de Guelma

Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Champsaur H. et Rodi L., 2005. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 8^{ème} Ed. DUNOD. Paris, 1383 pp.

Rodier J. analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7^{ème} édition 1996.

Rodier, J. (2009). L'analyse de l'eau, 9eme édition. Dunod, Paris, 2009

Vila, J. M., Hernandez, J., & Velde, D. (1974). Sur la présence d'un filon de roche lamproitique (trachyte potassique à olivine) recoupant le flysch de type Guerroch entre Azzaba (ex-Jemmapes) et Hammam-Meskhoutine dans l'Est du Constantinois (Algérie). CR Acad Sci Paris Sér D, 278, 2589-2591.

Villa, J.-M. (1980) – la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-Tunisiens. Thèse doctorat, univ de Pierre et Marie Curie, Paris VI (France), 2 vol, 665p. pp 133-140.

FICHE TERRAIN**ECHANTILLONNAGE DANS UN COURS D'EAU**

Support : _ Eau _ Sédiment

Type d'échantillon : _ Ponctuel _ Composite _ Autre, préciser : _____

PRESTATAIRE DES OPERATIONS D'ECHANTILLONNAGE

Nom de l'organisme : _____ Nom du préleveur : _____

Téléphone : _____

IDENTIFICATION DU PRELEVEMENT

Code Station : _____ Coordonnées (_____) : X : _____ Y : _____

Commune : _____ Cours d'eau : _____

Semaine : _____ Date : ____/____/20____ Heure : _____ h _____

PRE-TRAITEMENT ET CONDITIONNEMENT DES ECHANTILLONS

- Les échantillons ont-ils été filtrés sur site ? _ Oui _ Non si oui, pour quel(s) paramètre(s) ?

MATERIEL D'ECHANTILLONNAGE

- Direct (dans le flacon destiné à l'analyse) drague manuelle carottier
 Avec un intermédiaire (seau muni d'un bec verseur) benne
 jjjjnclffm

RELEVÉ DES MESURES *IN SITU*

Pour chaque paramètre, indiquer le numéro interne de l'appareil utilisé (suivi métrologique), la date d'étalonnage et la valeur relevée pour chaque paramètre en précisant si la mesure a été effectuée *in situ* ou dans un seau

Paramètres	N° interne appareil	Date d'étalonnage	Contrôle sur site avant mesure	Valeur relevée	Unité
pH		____/____/____	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> <i>in situ</i> <input type="checkbox"/> seau	Unité pH
Température de l'eau		____/____/____	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> <i>in situ</i> <input type="checkbox"/> seau	°C
Conductivité à 25°C		____/____/____	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> <i>in situ</i> <input type="checkbox"/> seau	µS/cm

Paramètres	N° interne appareil	Valeur relevée		Unité
Température de l'air			_____	°C
Concentration ⇨ Oxygène dissous		<input type="checkbox"/> <i>in situ</i> <input type="checkbox"/> seau	_____	mg/L O2
Saturation ⇨		<input type="checkbox"/> <i>in situ</i> <input type="checkbox"/> seau	_____	%