

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار-عنابة

Année 2011

Faculté des sciences de la Terre
Département de Géologie

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Option: Qualité des eaux et impact sur l'homme et l'environnement

THEME

***Evolution du chimisme des eaux de surface et
Souterraines dans le bassin versant de la
Seybouse (Nord-Est Algérien)***

Présenté par : BECHIRI Naouel
(Ingénieur d'état en Hydrogéologie)

Directeur de mémoire: Mr M. HANNOUCHE

M.C.A U.B.M. Annaba

Devant le jury:

Président : Mr N. KHERICI

Pr. U.B.M. Annaba

Examineur : Mr A. HANI

Pr. U.B.M. Annaba

Mr F. DERRADJI

Pr. U.B.M. Annaba

Invitée : Mme H. Major

M.C.B U.B.M. Annaba

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.

A cause de leurs bonnes caractéristiques hydroclimatiques et surtout de leurs situations géographiques, les plaines d'Annaba et de Guelma sont sollicitées par deux domaines qui contribuent à la détérioration de leurs eaux : l'agriculture et l'industrie.

L'étude réalisée porte sur la qualité des eaux de surface et souterraines dans le bassin versant de la Seybouse sur la période allant de 2009 à 2010. Cette étude montre une forte pollution évoluant dans le temps et dans l'espace notamment dans l'oued Seybouse et ses affluents d'une part et dans les eaux souterraine d'autre part. L'existence de fortes concentrations essentiellement en métaux lourds tels que le Chrome, le Plomb et le cuivre, en éléments organiques tels que NO_2 , PO_4 et en éléments majeurs de la minéralisation comme le Ca, Mg, SO_4 et surtout le Cl et le Na, indique une origine multiple de la pollution qui semble être respectivement industrielle, agricole et urbaine et naturelle par l'action de lessivage des formations géologiques.

Mots clés : Oued Seybouse, Eau souterraine, Pollution, Nutriments, Métaux lourds, Minéralisation.

Abstract:

The water pollution is a concept, which is in constant evolution. It constitutes today a true threat for the environment and well on the health of the man.

Because of its good hydroclimatic characteristics and especially of its geographical situation, the plain of Annaba and the plain of Guelma are requested by two fields, which contribute to the deterioration of its water: agriculture and industry.

The study carried out on the quality of subsoil waters and the Seybouse wadi in the period the February 2009 shows strong pollution in particular wadi and then of the tablecloths which evolves according to time and of space. The existence of strong concentrations primarily out of heavy metals such as Chromium, Lead and copper, in organic elements such as NO_2 , PO_4 and in major elements of mineralization like Ca, Mg, SO_4 and especially Cl and Na, indicates a multiple origin of the pollution which seems to be industrial for the first, agricultural and urban for the seconds and natural by the action of geological scrubblings of the formation for the third.

Keywords: Seybouse wadi, Groundwater, Pollution, Heavy metals, Mineralization, Organic elements.

الملخص

إن تلوث المياه هو مفهوم دائم التطور. أصبح يشكل في يومنا هذا خطرا حقيقيا يهدد البيئة ومن ثمة صحة الإنسان.

بسبب المناخ الجيد والموقع الجغرافي المناسب الذي يتميز به سهلي مدينتي عنابة و قالمة، استغل هذا الأخير في مجالين ساهما بشكل كبير في تدني نوعية المياه فيه وهما الزراعة والصناعة.

الدراسة التي شملت نوعية المياه الجوفية ومياه واد السيبوس و فروع خلال فترة المعاينة أظهرت نسبة التلوث الكبيرة في فروع واد السيبوس بشكل خاص ثم على مستوى المياه الجوفية.

أظهرت نتائج هذه الدراسة وجود نسب كبيرة من المعادن الثقيلة مثل الكروم، الرصاص و النحاس ومن العناصر العضوية مثل النترت والفوسفات وأخيرا العناصر المعدنية مثل الكالسيوم، المغنزيوم، السلفات وخصوصا الكلور و الصوديوم، هذه النتائج تبين المصادر المختلفة للتلوث و التي قد تكون صناعية بالنسبة للمعادن الثقيلة، زراعية وحضرية بالنسبة للعناصر العضوية وطبيعية عن طريق تحلل الصخور بالنسبة للعناصر المعدنية.

الكلمات المفتاح : واد السيبوس ، المياه الجوفية، التلوث، المعادن الثقيلة،العناصر العضوية،التمعدن.

REMERCIEMENT

Au terme de ce travail, mes vifs remerciements et ma profonde gratitude s'adresse à notre Dieu, le grand créateur qui m'a donné de la patience, du courage et de la volonté afin d'atteindre ce travail.

Je tiens à remercier vivement mon promoteur Monsieur HANNOUCHE MANI pour ses précieux conseils, son amabilité de superviser et critiquer fructueusement le déroulement de cette étude, je lui exprime ici, ma vive reconnaissance.

Messieurs le président et les membres de jury, qui m'ont fait l'honneur d'accepter du juger ce travail et de siéger au jury, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Mes remerciements, vont à l'ensemble du personnel de l'A.N.R.H de Annaba notamment à messieurs A. RAMDANI, N. AOUADI et ABBACI pour l'aide qu'ils ont pu m'apporter.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes qui ont constitué à sa réalisation.

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Cadre général

I. Description du bassin versant.....	4
I.1. Situation géographique.....	4
I.2. Aperçu socio-économique.....	6
I.3. Aspect géomorphologique.....	6
I.4. Réseau hydrographique.....	6
I.5. Couvert végétal.....	7

Chapitre II : Géologie

II. Contexte géologique.....	9
II.1. Cadre géologique de la moyenne Seybouse.....	9
II.1. Stratigraphie.....	9
II.1.1.1. Trias.....	9
II.1.1.2. Néritique.....	9
II.1.1.2.1. Jurassique.....	9
II.1.1.2.2. Crétacé.....	9
II.1.1.3. Domaine des nappes.....	10
II.1.1.3.1. La nappe Numidienne.....	10
II.1.1.3.2. Domaine des flyschs.....	10
II.1.1.3.2.1. Les flyschs de Penthièvre.....	10
II.1.1.3.2.2. Les flyschs de Guerrouche.....	10
II.1.1.3.3. Nappe ultra tellienne.....	10
II.1.1.3.4. Nappe Tellienne.....	11
II.1.1.3.4.1. Unité tellienne à nummulites.....	11
II.1.1.3.4.2. Unité tellienne à globigérines.....	11
II.1.1.4. Le Mio-Pliocène.....	11
II.1.1.5. Le Quaternaire.....	12
II.1.1.5.1. Le quaternaire ancien.....	12
II.1.1.5.2. Le Quaternaire actuel.....	12
II.1.1.5.2.1. Les alluvions anciennes.....	12
II.1.1.5.2.2. Les alluvions actuelles.....	12
II.1.2. Reconstitution paléogéographique.....	13

II.1.3. Schéma structurale.....	13
II.1.3.1. Phase Préabonienne.....	13
II.1.3.2. Phase Tangentielle Tortonienne.....	13
II.1.4. Tectonique.....	14
II.2. Cadre géologique de la basse Seybouse.....	14
II.2.1. Stratigraphie.....	14
II.2.1.1. Formations sédimentaires.....	14
II.2.1.1.1. Le Quaternaire.....	15
II.2.1.1.1.1. Le Quaternaire actuel.....	15
II.2.1.1.1.2. Le Quaternaire récent.....	15
II.2.1.1.1.3. Le Quaternaire moyen.....	15
II.2.1.1.1.4. Le Quaternaire ancien.....	15
II.2.1.1.2. Le Tertiaire.....	15
II.2.1.1.2.1. Le Mio-Pliocène.....	15
II.2.1.1.2.2. L'Oligocène.....	16
II.2.1.1.2.3. L'Eocène inférieur.....	16
II.2.1.1.3. Le Secondaire.....	16
II.2.1.1.3.1. La chaîne de calcaires.....	16
II.2.1.1.3.2. Domaine des flyschs.....	16
II.2.1.2. Formation métamorphique.....	16
II.2.1.2.1. L'unité supérieure.....	17
II.2.1.2.2. L'unité inférieure.....	17
II.2.2. Tectonique.....	17
II.2.2.1. Les unités tectoniques.....	18
II.2.2.1.1. Le cristallin de l'Edough.....	18
II.2.2.1.2. Série de Flyschs d'age Eocène.....	18
II.2.2.1.3. Mio-pliocène.....	18
II.2.2.1.4. Quaternaire.....	18
II.2.2.2. Effondrement de la plaine de Annaba.....	18
Conclusion.....	21

Chapitre III : Hydroclimatologie

III.1. Cadre hydroclimatologique.....	22
III.1.1. Stations des mesures.....	22
III.2. Facteurs climatiques.....	22

III.2.1. Représentations mensuelles des précipitations.....	23
III.2.1.1. Histogramme de la station d'Annaba ville.....	23
III.2.1.2. Histogramme de la station de Pont Bouchet.....	23
III.2.1.3. Histogramme de la station de Guelma.....	24
III.2.1.4. Histogramme de la station de Medjez Ammar.....	24
III.2.1.5. La répartition des précipitations.....	24
III.2.2. La température.....	26
III.2.3. Diagramme ombrothermique.....	27
III.3. Bilan hydrique.....	30
III.3.1. Interprétation du Bilan hydrique de la station d'Annaba.....	32
III.3.2. Interprétation du Bilan hydrique de la station de Pont Bouchet.....	33
III.3.3. Interprétation du Bilan hydrique de la station de Guelma.....	34
III.3.4. Interprétation du Bilan hydrique de la station de Medjez Ammar.....	35
Conclusion.....	39

Chapitre IV : Hydrogéologie

Cadre hydrogéologique.....	40
IV.1. Identification des nappes.....	40
IV.1.1. Les nappes de la plaine de Annaba.....	42
IV.1.1.1. La nappe du cordon dunaire.....	42
IV.1.1.2. La nappe phréatique et la plaine des graviers.....	42
IV.1.2. Les nappes de la plaine de Guelma.....	43
IV.1.2.1. La plaine alluviale de Guelma.....	43
IV.1.2.1.1. Coupe hydrogéologique Nord-Sud.....	44
IV.1.2.2. La plaine de Hammam de Bradâa.....	45
IV.1.2.2.1. Coupe hydrogéologique Est-Ouest.....	45
IV.1.3. Conclusion.....	46
IV.2. Interprétation des cartes piézométriques.....	46
IV.2.1. Interprétation de la carte piézométrique de la plaine de Guelma.....	46
IV.2.2. Interprétation de la carte piézométrique de la plaine de Annaba.....	47
Conclusion.....	49

Chapitre V : Hydrochimie

V. Introduction.....	50
V.1. La pollution des eaux	50
V.1.1. Les principaux types et origines de pollution dans la zone d'étude.....	50

V.1.1.1. Pollution urbaines et domestiques.....	50
V.1.1.2. Pollution industrielle.....	51
V.1.1.3. Pollution d'origine agricole.....	52
V.2. Qualité des eaux.....	54
V.2.1. La plaine d'Annaba.....	54
V.2.1.1. Echantillonnages, méthodes d'analyse.....	54
V.2.1.1.1. Mesures in situ.....	55
V.2.1.2. Interprétations des résultats selon le diagramme de Piper.....	56
V.2.1.2.1. Faciès chimiques des eaux.....	56
V.2.1.2.1.1. Les eaux de surface.....	56
V.2.1.2.1.2. Les eaux souterraines.....	57
V.2.2. La plaine de Guelma.....	58
V.2.2.1. L'échantillonnage.....	58
V.2.2.2. Interprétations des résultats selon le diagramme de Piper.....	60
V.2.2.2.1. Les eaux de surface.....	60
V.2.2.2.2. Les eaux souterraines.....	61
V.3. Evolution des éléments lourds et nutriments.....	62
V.3.1. Evolution spatio-temporelle des éléments de pollution dans la plaine d'Annaba.....	62
V.3.1.1. Evolution spatiale des éléments lourds et nutriments	62
V.3.1.1.1. Evolution spatiale des nutriments.....	62
V.3.1.1.1.1. Evolution spatiale de la teneur en phosphates PO_4	62
V.3.1.1.1.2. Evolution Spatiale de la concentration en NO_2	53
V.3.1.1.1.3 Evolution spatiale des nitrates.....	64
V.3.1.1.1.4. Evolution spatiale de l'ammonium.....	64
V.3.1.1.2. Evolution spatiale des métaux lourds.....	65
V.3.1.1.2.1. L'évolution spatiale de Fer.....	65
V.3.1.1.2.2. Evolution spatiale de cuivre.....	65
V.3.1.1.2.3. Evolution spatiale de Plomb.....	66
V.3.1.1.2.4. Evolution spatiale de zinc.....	66
V.3.1.2. L'évolution temporelle des éléments lourds et nutriments dans la plaine d'Annaba.....	67
V.3.1.2.1. Evolution temporelle des nutriments.....	67
V.3.1.2.1.1. Evolution de phosphate dans le temps.....	67

V.3.1.2.1.2. Evolution temporelle des nitrites.....	67
V.3.1.2.2. Evolution temporelle des métaux lourds.....	68
V.3.1.2.2.1. Evolution temporelle du fer.....	68
V.3.1.2.2.2. Évolution temporelle de Manganèse.....	68
V.3.1.2.2.3. Évolution temporelle de Zinc.....	69
V.3.1.2.2.4. Évolution temporelle de Cuivre.....	69
V.3.1.2.2.5. Évolution temporelle de Plomb.....	70
V.3.2. Evolution spatio-temporelle des éléments lourds et nutriments dans la.....	
plaine de Guelma.....	70
V.3.2.1. Evolution spatiale des éléments de pollution dans la plaine de	
Guelma.....	71
V.3.2.1.1. Evolution spatiale des nutriments.....	71
V.3.2.1.1.1. Evolution des phosphates dans l'espace.....	71
V.3.2.1.1.2. Evolution des nitrites dans l'espace.....	71
V.3.2.1.1.3. Evolution des nitrates dans l'espace.....	72
V.3.2.1.1.4. Evolution de l'ammonium.....	73
V.3.2.1.2. Evolution spatiale des métaux lourds.....	73
V.3.2.1.2.1. Evolution de cuivre dans l'espace.....	73
V.3.2.1.2.2. Evolution de plomb dans l'espace.....	74
V.3.2.1.2.3. Evolution de Manganèse dans l'espace.....	75
V.3.2.1.2.4. Evolution de Zinc dans l'espace.....	76
V.3.2.1.2.5. Evolution de Chrome dans l'espace.....	76
V.3.2.1.2.6. Evolution de Nickel dans l'espace.....	77
V.3.2.2. Evolution temporelle des éléments de pollution dans la plaine de	
Guelma.....	78
V.3.2.2.1. Evolution temporelle des nutriments.....	78
V.3.2.2.1.1. Evolution des Phosphates dans le temps.....	78
V.3.2.2.1.2. Evolution des Nitrites dans le temps.....	78
V.3.2.2.2. Evolution temporelle des métaux lourds.....	78
V.3.2.2.2.1. Evolution de Cuivre dans le temps.....	79
V.3.2.2.2.2. Evolution de Plomb dans le temps.....	79
V.3.2.2.2.3. Evolution de Zinc dans le temps.....	80
V.3.2.2.2.4. Evolution de Nickel dans le temps.....	80
V.3.2.2.2.5. Evolution de Chrome dans le temps.....	81

V.3.2.2.2.6. Evolution de Manganèse.....	81
V.4. Analyses en composante principale (ACP).....	82
V.4.1. L'ACP des eaux de la basse Seybouse.....	82
V.4.1.1. L'ACP des eaux de surface.....	82
V.4.1.1.1. Valeurs propres.....	82
V.4.1.1.2. Cercle F1-F2, plan F1-F2.....	85
V.4.1.2. L'ACP des eaux souterraines.....	86
V.4.1.2.1. Valeur propre.....	86
V.4.1.2.2. Cercle F1-F2, Plan F1-F2.....	88
V.4.1.2.3. Cercle F1-F3, Plan F1-F3.....	89
V.4.2. L'ACP des eaux de la moyenne Seybouse.....	90
V.4.2.1. L'ACP des eaux de surface.....	90
V.4.2.1.1. Les valeurs propres.....	90
V.4.2.1.2. Cercle F1-F2, Plan F1-F2.....	92
V.4.2.2. L'ACP des eaux souterraines.....	93
V.4.2.2.1. Les valeurs propres.....	93
V.4.2.2.2. Cercle F1-F2, Plan F1-F2.....	95
Conclusion.....	96
Conclusion générale et recommandations.....	97
Références bibliographiques	

Liste des Figures

Fig.1. Carte de situation géographique de la zone d'étude.....	5
Fig.2. Carte de réseau hydrographique.....	7
Fig.3. Carte de couvert végétal.....	8
Fig.4. Schéma structural dans la région de Annaba-Guelma.....	19
Fig.5. Esquisse géologique de la région d'étude.....	20
Fig.6. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Annaba ville (1986-2009).....	23
Fig.7. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Pont Bouchet (1980-2009).....	23
Fig.8. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Guelma (1975-2009).....	24
Fig.9. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Medjez Ammar (1978-2009).....	24
Fig.10. Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien.....	25
Fig.11. Variation des températures moyennes mensuelles dans la station de Annaba durant la période (1972-2009).....	26
Fig.12. Variation des températures moyennes mensuelles dans la station de Guelma durant la période (1985-2009).....	27
Fig.13. Régime pluvio-thermique de deux stations climatologique dans la basse Seybouse.....	28
Fig.14. Régime pluvio-thermique de deux stations climatologique dans la Moyenne Seybouse.....	29
Fig.15. Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Annaba (1986-2009).....	32
Fig.16. Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Pont Bouchet (1980-2009).....	33
Fig.17. Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Guelma (1980-2009).....	34
Fig.18. Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Medjez Ammar (1980-2009).....	35
Fig.19. Zones hydrogéologiques dans la zone d'étude.....	41

Fig.20. Coupe schématique de la superposition des nappes souterraines dans la basse plaine de la Seybouse.....	43
Fig.21. Coupe hydrogéologique Nord-Sud dans la plaine de Guelma.....	44
Fig.22. Coupe hydrogéologique Est-Ouest (nappe Hammam Bradâa).....	45
Fig.23. Carte piézométrique de la plaine de Guelma durant la période des hautes eaux (Février 2009).....	47
Fig.24. Carte d'inventaire des points d'eau de la nappe superficielle.....	48
Fig.25. Carte piézométrique hautes eaux de la nappe superficielle.....	48
Fig.26. Carte piézométrique basses eaux de la nappe superficielle.....	48
Fig.27. Carte montrant les différentes sources de pollution dans la zone d'étude.....	53
Fig.28. Carte d'inventaire des points de prélèvement (plaine d'Annaba).....	55
Fig.29. Faciès chimique des eaux de surface de la basse plaine de la Seybouse selon le diagramme de Piper.....	56
Fig.30. Faciès chimique des eaux souterraines (nappe superficielle) de la basse Seybouse selon le diagramme de Piper.....	57
Fig.31. Carte d'inventaire des points de prélèvement (plaine de Guelma).....	59
Fig.32. Faciès chimiques des eaux de surface de la moyenne Seybouse selon Le diagramme de Piper.....	60
Fig.33. Faciès chimiques des eaux souterraines (la nappe alluviale) de la moyenne Seybouse.....	61
Fig.34. Carte de l'évolution de phosphate.....	63
Fig.35. Carte de l'évolution de nitrite.....	63
Fig.36. Carte de l'évolution de nitrate.....	64
Fig.37. Carte de l'évolution de l'ammonium.....	64
Fig.38. Carte d'évolution de fer.....	65
Fig.39. Carte d'évolution de cuivre.....	65
Fig.40. Carte d'évolution de plomb.....	66
Fig.41. Carte d'évolution de zinc.....	66
Fig.42. Carte d'évolution temporelle de phosphate (eaux de surface et souterraines).....	67
Fig.43. Carte d'évolution temporelle de nitrite (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Annaba.....	68
Fig.44. Carte d'évolution temporelle de fer (eaux de surface et souterraines) dans la plaine d'Annaba.....	68

Fig.45. Carte d'évolution temporelle de manganèse (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Annaba.....	69
Fig.46. Carte d'évolution temporelle de zinc (eaux de surface et souterraines) dans La plaine de Annaba.....	69
Fig.47. Carte d'évolution temporelle de cuivre (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Annaba.....	70
Fig.48. Carte d'évolution temporelle de plomb (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Annaba.....	70
Fig.49. Carte de l'évolution spatiale de phosphate dans la plaine de Guelma.....	71
Fig.50. Carte de l'évolution spatiale de nitrite dans la plaine de Guelma.....	72
Fig.51. Carte de l'évolution spatiale de nitrate dans la plaine de Guelma.....	72
Fig.52. Carte de l'évolution spatiale de l'ammonium dans la plaine de Guelma.....	73
Fig.53. Carte de l'évolution spatiale de cuivre dans la plaine de Guelma.....	74
Fig.54. Carte de l'évolution spatiale de plomb dans la plaine de Guelma.....	75
Fig.55. Carte de l'évolution spatiale de manganèse dans la plaine de Guelma.....	75
Fig.56. Carte de l'évolution spatiale de zinc dans la plaine de Guelma.....	76
Fig.57. Carte de l'évolution spatiale de chrome dans la plaine de Guelma.....	77
Fig.58. Carte de l'évolution spatiale de nickel dans la plaine de Guelma.....	77
Fig.59. Carte d'évolution temporelle de phosphate (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.....	78
Fig.60. Carte d'évolution temporelle de nitrite (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.....	78
Fig.61. Carte d'évolution temporelle de cuivre (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.....	79
Fig.62. Carte d'évolution temporelle de plomb (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.....	79
Fig.63. Carte d'évolution temporelle de zinc (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.....	80
Fig.64. Carte d'évolution temporelle de nickel (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.....	80

Fig.65. Carte d'évolution temporelle de chrome (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.....	81
Fig.66. Carte d'évolution temporelle de chrome (eaux de Surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.....	81
Fig.67. Représentation graphique de l'ACP selon les axes F1-F2 (eaux de surface de la base Seybouse).....	85
Fig.68. Représentation graphique de l'ACP selon les axes F1 et F2 (eaux de la nappe superficielle).....	88
Fig.69. Représentation graphique de l'ACP selon les axes F1 et F3 (eaux de la nappe superficielle).....	89
Fig.70. Représentation graphique de l'ACP selon les axes F1-F2 (eaux de surface de la moyenne Seybouse).....	92
Fig.71. Représentation graphique de l'ACP selon les axes F1 et F3 (eaux de la nappe alluviale).....	95

Liste des tableaux

Tab.1. Coordonnées des stations météorologique et période d'observation.....	22
Tab.2. Précipitations moyennes mensuelles en (mm) des quatre stations.....	22
Tab.3. Température moyennes mensuelles en °C à la station d'Annaba (1972-1973/2008-2009).....	26
Tab.4. Température moyennes mensuelles en °C à la station de Guelma (1985-1986/2008-2009).....	27
Tab.5. Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHAITE » pour la station de Annaba.....	31
Tab.6. Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHAITE » pour la station de Pont Bouchet.....	31
Tab.7. Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHAITE » pour la station de Guelma.....	31
Tab.8. Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHAITE » pour la station de Medjez Ammar.....	31
Tab.9. Les différentes composantes du bilan hydrique.....	38
Tab.10. Les récepteurs des eaux usées au niveau de la zone d'étude.....	51
Tab.11. Types de polluants de quelques unités industrielles et leurs milieux récepteurs dans la zone d'étude.....	52
Tab.12. Identification des engrais utilisés dans la zone d'étude.....	52
Tab.13. Tableau des valeurs propres (ACP des eaux de surface de la basse Seybouse).....	83
Tab.14. Tableau de la matrice de corrélation (ACP des eaux de surface de la basse Seybouse).....	84
Tab.15. Tableau des valeurs propres (ACP de la nappe superficielle de la basse Seybouse).....	86
Tab.16. Tableau de la matrice de corrélation (ACP des eaux de la nappe superficielle de la basse Seybouse).....	87
Tab.17. Tableau des valeurs propres (ACP des eaux de surface de la moyenne Seybouse).....	90
Tab.18. Tableau de matrice de corrélation (ACP des eaux de surface de la moyenne Seybouse).....	91

Tab.19. Tableau des valeurs propres (ACP de la nappe alluviale de la basse Seybouse).....	93
Tab.20. Tableau de matrice de corrélation (ACP des eaux de la nappe alluviale de la moyenne Seybouse).....	94

Introduction

INTRODUCTION

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 d'une part ainsi l'exploitation désordonnée des ressources en eau d'autre part. Ces dernières ont produit une modification chimique de l'eau en la rendant impropre aux usages souhaités.

L'Oued Seybouse draine un vaste bassin de 6471 Km², il s'étend vers le sud sur une distance de 160 Km jusqu'aux confins de l'Atlas saharien. Oued méditerranéen, naît dans les hautes plaines semi-arides. La Seybouse est donc continentale par sa naissance et méditerranéenne à sa fin. La Seybouse résulte de la confluence de deux oueds qui sont le Cherf et le Bouhamdanne. Au début des années quatre-vingt (1980) les responsables du secteur hydraulique ont commencé les travaux du barrage de Hammam Debagh, les eaux de ce dernier seront destinées à l'agriculture et à l'alimentation en eau potable de la région de Guelma. La première conséquence de cet ouvrage est la baisse des débits de l'Oued Seybouse, en effet les eaux alimentant ce cours d'eau proviennent uniquement de l'oued Charef.

L'exploitation de cette ressource hydrique a engendré un sérieux problème de pollution.

Les nombreuses données en notre disposition nous ont permis de comprendre que la situation est critique surtout en saison estivale et en absence des lâchées du barrage Hammam Debagh. Cette pollution est le résultat des rejets domestiques, industriels et agricoles.

Au niveau de la moyenne et la base plaine de la Seybouse, les eaux de surface et souterraine sont souvent utilisées pour répondre aux besoins en eau potable et en eau d'irrigation. L'installation de plusieurs unités industrielles au niveau de la plaine et les rejets effectués directement au niveau des oueds a provoqué une dégradation de la qualité de ces eaux.

Le degré de contamination a été si intense que dans certains secteurs, notamment au niveau de la confluence oued Meboudja-oued Seybouse, l'environnement est devenu menacé pour la santé humaine, la faune et la flore.

But de l'étude

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

Méthodologie:

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

- le premier chapitre nous donne un aperçu du cadre général de la région d'étude suivi par une description des caractéristiques géomorphologiques et du réseau hydrographique;
- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude du contexte géologique et structural de la région ainsi que les accidents tectoniques qui l'affecte.
- Le troisième chapitre de ce mémoire est réservé à l'hydroclimatologie et à l'évaluation des différents termes du bilan hydrique et seront présentés par la pluviométrie, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration.
- Le quatrième chapitre sera consacré à l'étude hydrogéologique, elle nous permet d'identifier les différentes aquifères. L'étude piézométrique nous permet de tracer les cartes piézométriques et de définir les grandes lignes d'écoulement souterrain.
- Le cinquième chapitre de ce mémoire est consacré à l'hydrochimie, objet de notre mémoire de recherche.

La partie Hydrochimie devrait permettre une meilleure compréhension des mécanismes d'échange, d'alimentation et de caractériser l'évolution spatiale et temporelle du chimisme des eaux de surface et souterraines de la zone d'étude. Dans ce chapitre nous montrerons l'effet polluant de quelques rejets surtout les éléments traces métalliques, nous suivrons l'évolution spatiale de cette pollution dans l'eau et enfin nous essayerons également de déterminer l'origine de cette pollution. Pour la détermination des caractères dominants dans le milieu, nous avons utilisé l'analyse en composante principale (A.C.P) qui est une méthode multidimensionnelle.

Enfin, le dernier paragraphe de ce mémoire représente les conclusions sur ce travail et les recommandations que nous pouvons envisager.

Chapitre I: Cadre général

I. Description du bassin versant.

I.1. Situation géographique (fig. 1).

La zone d'étude est située au Nord Est Algérien entre les latitudes 36°15' et 37° Nord et longitudes 7°15' et 7°55' Est.

La zone d'étude est une partie intégrante du bassin versant de l'Oued Seybouse d'une superficie de 1796 Km², ses limites naturelles sont :

- Au Nord : la mer méditerranée,
- Au Sud : les monts de Mahouna, Ain larbi et sedrata,
- A l'Ouest : le massif de l'Edough, les monts de Houara et Débagh,
- A l'Est : le prolongement oriental du système aquifère Annaba-Bouteldja et les monts de Nador N'bail.

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

La Seybouse est un des Oueds les plus importants d'Algérie par la longueur de son parcours, le nombre de ses affluents et la superficie de son bassin. La région d'étude fait partie du grand bassin versant de l'Oued Seybouse qui couvre au total une superficie de 6471 Km². Il possède trois parties : les hautes plaines (haute Seybouse), le tell méridional (moyenne Seybouse) et le tell septentrional (basse Seybouse). Ces deux derniers représentent la zone d'étude.

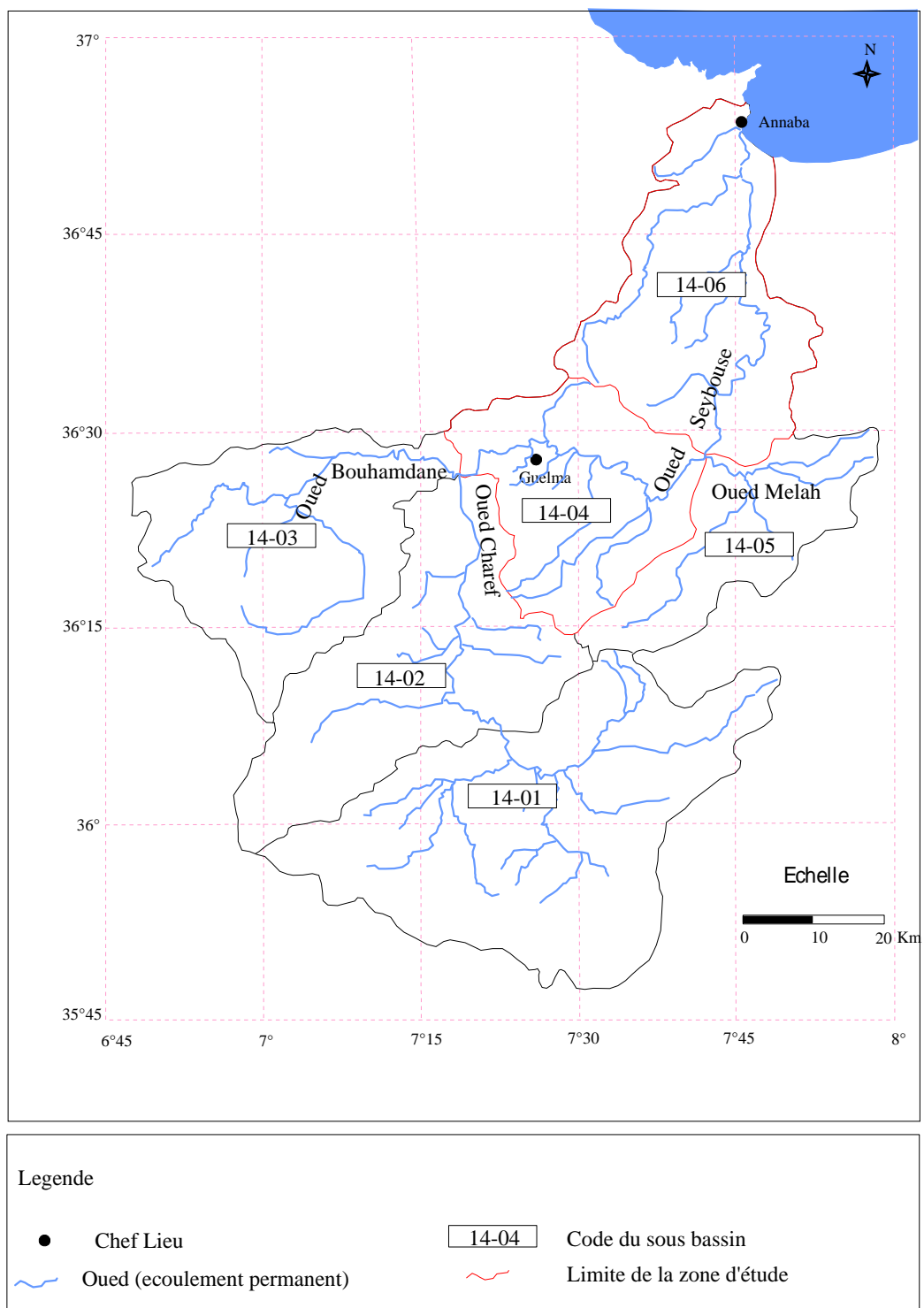


Fig. 1. Carte de situation géographique de la zone d'étude (d'après ABH).

I.2. Aperçu socio économique.

La région d'Annaba-Guelma est une région à vocation agricole et industrielle. L'agriculture est observée sur l'ensemble de la plaine de Guelma avec une très grande variété de culture : céréales, arboricultures et d'élevage de volailles et bétails.

La partie nord de la zone étudiée est la plus industrialisée. On y rencontre différentes branches de l'industrie : industrie lourde (Société Nationale de Sidérurgie, Société nationale de métal...), industrie chimique (complexe d'engrais phosphatés et azotés) et industrie agroalimentaire.

La région se trouve à proximité de la mer méditerranée. Compte tenu de cette situation, la pêche constitue une activité prédominante, néanmoins, le milieu aquatique marin est menacé par la pollution due aux différents rejets.

I.3. Aspect géomorphologique.

L'orographie de la région d'étude est formée en ligne générale des reliefs montagneux et collinaires constituant l'extrémité orientale de la chaîne des monts de Constantine et des contreforts occidentaux de la chaîne de la Medjerda. Ces deux contreforts sont traversés par des vallées profondes où courent les affluents droits et gauches de la Seybouse. Tous les cours d'eaux ont un caractère torrentiel.

Les altitudes les plus élevées que l'on rencontre dans la région de Guelma sont Djebel Mahouna (1411m) et Ras El Alia (1317m).

Dans la partie Sud, les altitudes varient de 100 à 1400m. C'est dans le cycle d'érosion que s'inscrit la région de Guelma qui présente toutes les caractéristiques morphologiques d'une région où les eaux ont été le principal agent modificateur.

La plaine creusée par la Seybouse offre des pentes généralement peu accentuées, plus douces pour les versants exposés au Sud. Son fond est plat et présente une faible pente longitudinale et transversale. Elle est surmontée de terrasses qui s'élèvent à des altitudes diverses.

Les reliefs qui surplombent immédiatement la plaine sont dans leur ensemble des pentes moyennes à sommets arrondies à l'exception des affleurements calcaires qui donnent lieu, étant donné leur plus grande résistance à l'érosion, à des pentes plus raides et escarpées.

I.4. Réseau hydrographique (fig. 2).

La zone d'étude est caractérisée par un réseau hydrographique (fig.2) constitué par un oued principal : la Seybouse qui parcourt la plaine. Ces affluents sont : Oued Maiz, Oued Zimba, Oued Skhoune, Oued Bou Sorra, Oued Fragha, Oued Djefeli, Oued Meboudja....etc.

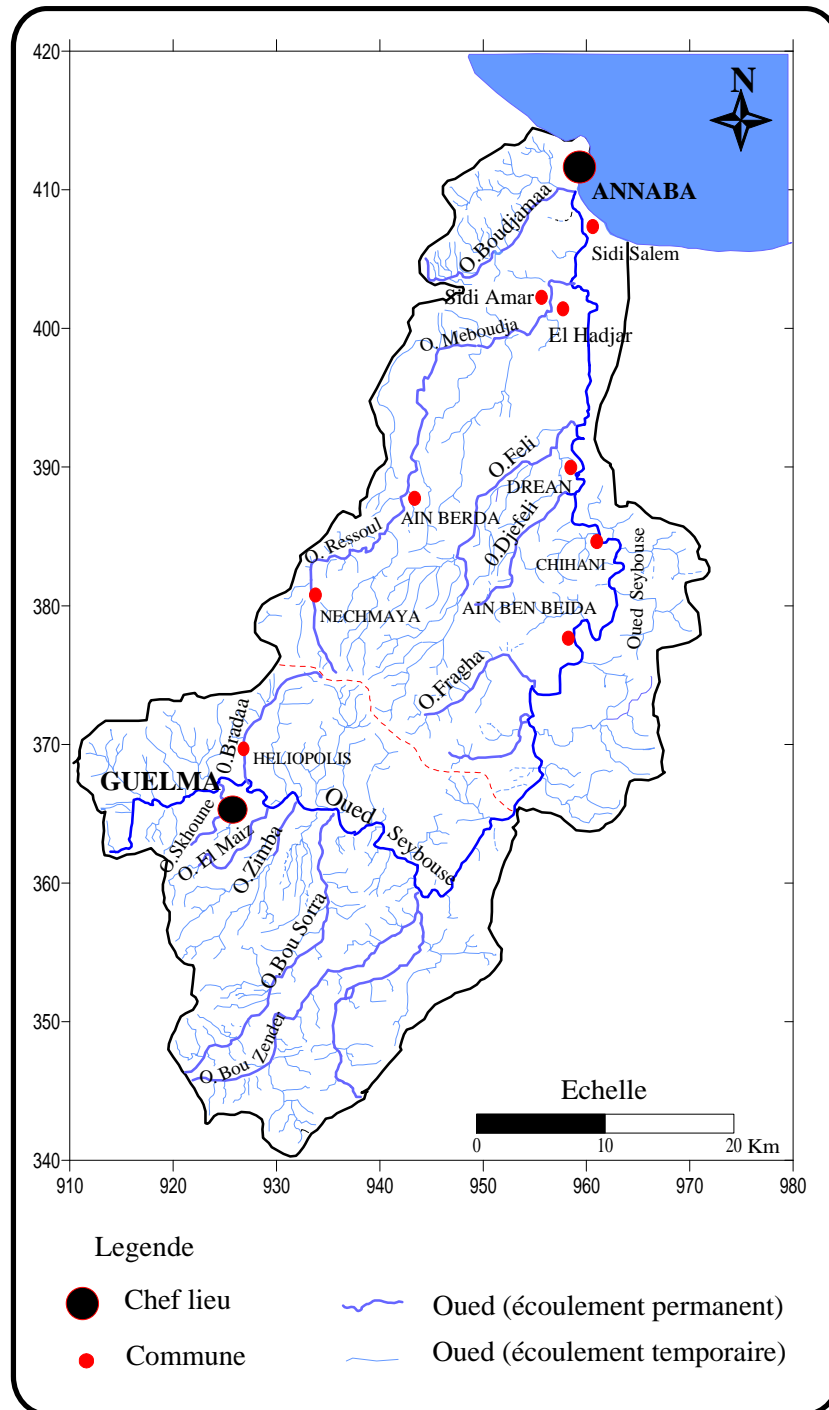


Fig. 2. Carte de réseau hydrographique.

I.5. Couvert végétal (fig. 3).

Le couvert végétal a une influence directe sur l'écoulement fluvial ainsi que les facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense. Dans la région d'étude, les aires agricoles sont localisées essentiellement dans la plaine alluviale. Les cultures pratiquées sont dominées par des

cultures maraîchères et quelques vergers d'agrumes et d'arbres fruitiers. Les forêts, les maquis et les broussailles occupent pratiquement toute la bande des monts.

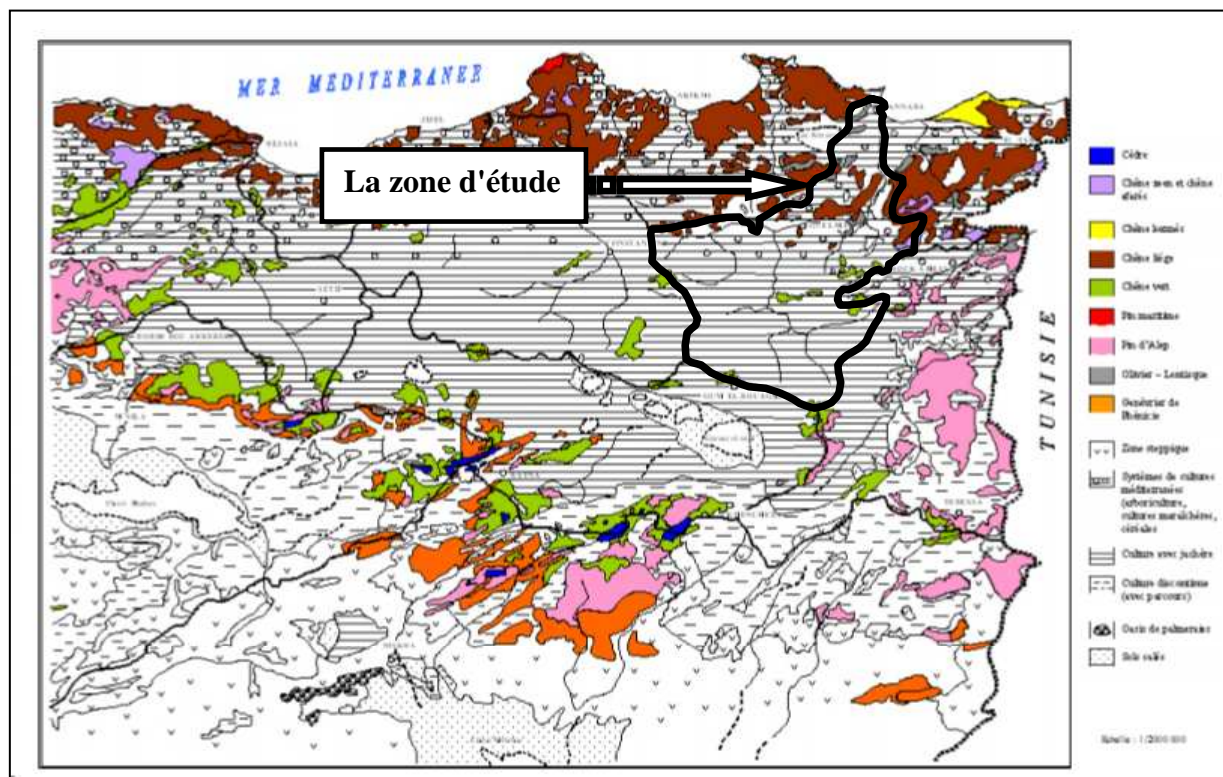


Fig.3. Carte du couvert végétal (d'après carte internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis-Sfax et Alger, complétées).

Chapitre II: Géologie

II. Cadre géologique (fig. 4).

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

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

II.1. Cadre géologique de la moyenne Seybouse.

II.1.1. Stratigraphie.

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

II.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 Dj. Debagh, caractérisé par des alternances de marne et de schiste de faibles épaisseurs.

II.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.

II.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.

II.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.

II.1.1.3. Domaine des nappes.

II.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 Bezioun),
- Au centre et à l'Est (les massifs boisés de Houara et Beni Mezline).

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

II.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 :

II.1.1.3.2.1. 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 grés –micacé 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.

II.1.1.3.2.2. Les flyschs de Guerouche.

Ce flysch affleure au Sud de la pointé orientale de Djebel Debagh et à l'Ouest de la forêt de Beni 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 biomicrites claires, elle affleure au Sud de la pointe orientale de Djebel Debagh.

II.1.1.3.3. Nappe ultra tellienne.

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

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

II.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 :

II.1.1.3.4.1. Unité tellienne à nummulites.

On distingue:

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

II.1.1.3.4.2. 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.

II.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 rubéfiant.

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.

II.1.1.5. Le Quaternaire.

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

II.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.

II.1.1.5.2. Le Quaternaire actuel.

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

II.1.1.5.2.1. 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.

II.1.1.5.2.2. 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.

II.1.2. 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 Nérétique. 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.

II.1.3. 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 :

II.1.3.1. 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.

II.1.3.2. Phase tangentielle Tortonienne.

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

II.1.3.3. 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. Vila, 1974)

II.1.4 La tectonique.

- la tectonique de la zone renferme deux phases : l'Eocène et Tortonien.
- L'allochtonne du Crétacé pélagique Ultra-Tellien du Dj. 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 Dj. 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.

II.2. Cadre géologique de la basse Seybouse.

La région de Annaba a fait l'objet de plusieurs études géologiques, dont celles de H.JOLEAUD (1936), J. HILLY (1980), J.C. LAHONDERE (1987). Ces études ont montré deux types de terrains :

L'un sédimentaire, occupe la majeure partie de la plaine.

L'autre métamorphique, occupe la partie Ouest de la plaine (le massif de l'Edough, Bellilita et Bouhamra).

II.2.1. Stratigraphie.

Selon la chronologie stratigraphique, la région d'étude révèle des terrains géologiques d'âge différents allant du Quaternaire récent au primaire, renfermant à la fois des formations métamorphiques et sédimentaires.

II.2.1.1. Formations sédimentaire.

Sont représentées par des calcaires surmontés tectoniquement par des flyschs schisteux surmontés sur leur tour par des grès numidiens. En commençant par les

terrains les plus récents jusqu'aux les plus anciens suivant l'échelle stratigraphique, on distingue :

II.2.1.1.1. Le Quaternaire.

Il est généralement développé sous forme de formations soient fluviales (les terrasses), soient éoliennes (les dunes) dans la partie côtière de la plaine étudiée (L. JOLEAUD, 1936). Il est subdivisé en quatre niveaux stratigraphiques :

II.2.1.1.1.1. Le Quaternaire actuel.

Formé par des dépôts du lit actuel de l'oued Seybouse, il s'agit de matériaux argileux, sableux et caillouteux résultant de l'érosion des formations traversées par l'oued.

II.2.1.1.1.2. Le Quaternaire récent.

Il correspond à la basse et moyenne terrasse représentée par des dépôts alluvionnaires et limoneux de part et d'autre de la Seybouse.

II.2.1.1.1.3. Le Quaternaire moyen.

Correspondant à la base terrasses de 20 à 50m, constitué par des argiles et des sables. Elle se développe sur toute la région surtout au niveau de la vallée de l'oued Seybouse.

II.2.1.1.1.4. Le Quaternaire ancien

Disposé sous forme de terrasse de 100 à 150 m d'altitude au dessous de la Seybouse et formé essentiellement par des formations alluviales (argile, limons, sables, graviers et galets)

II.2.1.1.2. Le Tertiaire

Présente une épaisseur importante dans la zone d'étude avec trois systèmes.

II.2.1.1.2.1. Le Mio-Pliocène

Constitue le remplissage graveleux et sablo-argileux du bassin de la plaine de Annaba. Ces formations sont d'origine continentale, elles incluent des horizons graveleux et des niveaux de travertins qui constituent le réservoir de la nappe profonde.

II.2.1.1.2.2. L'Oligocène

Comporte des niveaux argilo-gréseux numidiens qui forment le relief des montagnes du Sud de la plaine d'Annaba d'une épaisseur de 150 m.

II.2.1.1.2.3. L'Eocène inférieur

Série transgressive formée de calcaires massifs à faciès épinéritique.

II.2.1.1.3. Le Secondaire.

Ce sont des terrains allochtones composés de Silex du Jurassique et des flyschs du Crétacé.

II.2.1.1.3.1. La chaîne de calcaires

J.M. VILLA (1970) a signalé sur le banc Nord d'El Mellaha, comme sur le flanc Sud de Bellielita du massif de l'Edough, l'existence de terrains probablement transgressifs ayant une couverture sédimentaire de type pré-Kabyle, comportant de bas en haut des calcaires à silex représentant le Lias.

II.2.1.1.3.2. Domaine des flyschs.

Il s'agit essentiellement d'une alternance de microbrches, de marnes et de marno-calcaires dont l'âge va du Barrémien jusqu'au Sénonien ; subdivisé selon J.M. VILLA (1966) en deux types :

- Flyschs Massiliens: occupent la position externe dans le domaine des flyschs
 - Flyschs Mauritaniens : occupent la position interne dans le domaine des flyschs.
- Ces formations flyschoides sont développées surtout dans la région de Ain-Berda, Chétaibi et Ain-Barbar (J.M.VILLA, 1966).

II.2.1.2. Formations métamorphiques

Il s'agit d'un massif cristallin qui occupe la partie Ouest de la wilaya de Annaba (l'Edough, Cap de fer et Bellielita), elles sont datées du Primaire et caractérisées par la superposition de trois unités :

II.2.1.2.1. L'unité supérieure

Elle est datée de l'Ordovicien-Dévonien et caractérisée par trois séries cristallophylliennes :

- Une série des gneiss ocellés et sombres.
- Une série de micaschistes, grenats et cipolins.
- Une série d'amphibolites.

Ces trois unités présentent peu d'importance hydrogéologique à l'exception des gneiss altérés ou les cipolins fissurés qui peuvent constituer le siège d'une nappe aquifère.

II.2.1.2.2. L'unité intermédiaire.

Affleure dans la zone périphérique de l'Edough, elle est constituée par les schistes, des micaschistes riches en Biotite et Muscovite et de Grenat, parfois avec des feldspaths souvent visibles à l'œil nu.

Cette série contient des marbres qui s'intercalent dans les formations des micaschistes sous forme des Skarnes marquant le tracé de l'horizon carbonaté initial.

II.2.1.2.3. L'unité inférieure (ou de base) :

Elle est datée du précambrien et constituée par des gneiss quartzo-feldspathiques et micacés (riches en Biotite) formant le cœur de la structure anticlinale du massif de l'Edough.

Cette description géologique a montré que dans la région d'étude, seuls les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire peuvent constituer des réservoirs d'eaux importants.

II.2.2. Tectonique (fig.5).

La thèse de Numidien autochtone avancée par L. JOLEAUD (1936) est réfutée actuellement par les résultats des travaux de recherche sur la géologie structurale de l'Algérie du Nord-Est.

Il en ressort d'après J.M VILLA (1977), que l'unité numidienne apparaît comme plissée principalement Oligocène, elle n'est pas en place et repose en contacts anormaux sur n'importe quel terme de série sous numidienne et tellienne.

II.2.2.1. Les unités tectoniques.

La tectonique régionale de l'Algérie du Nord est complexe. L'allochtonie pose particulièrement de difficultés ardues dans l'investigation sur la connaissance hydrogéologique des structures qui peuvent constituer des réservoirs d'eau importants.

Les unités tectoniques qui constituent la région d'étude sont :

II.2.2.1.1. Le cristallin de l'Edough.

Il se manifeste très intensivement par les plissements métamorphiques à plusieurs reprises (J. HILLY, 1967) ; le soulèvement de la montagne s'est déroulé au cours du Miocène, il s'agit de l'unité Kabyle.

II.2.2.1.2. Série de flyschs d'âge Eocène.

Se présente comme une unité charriée en nappes de recouvrement et reposant en partie sur le cristallin de l'Edough et en partie sur les unités telliennes qui sont développées en profondeur.

Au dessous des flyschs, cette unité et les unités telliennes sous jacentes sont bien plissées.

II.2.2.1.3. Mio-Pliocène

Il présente une unité post nappe reposant d'une manière discordante, soit sur le cristallin de l'Edough, soit sur les nappes de flyschs d'âge Eocène.

II.2.2.1.4. Quaternaire

Forme la couverture la plus récente sur les unités précédentes.

II.2.2.2. Effondrement de la plaine d'Annaba.

L'effondrement de la plaine de Annaba avait lieu durant le Néogène (Miocène inférieur), l'ensemble de la région a été soumis à des phénomènes orogéniques ayant pour conséquences, la naissance des plis numidiques et l'isolement complet du massif de l'Edough.

Au Pliocène récent, le fossé d'effondrement va connaître un remplissage par les marnes, puis par des matériaux détritiques au Paléo-Quaternaire.

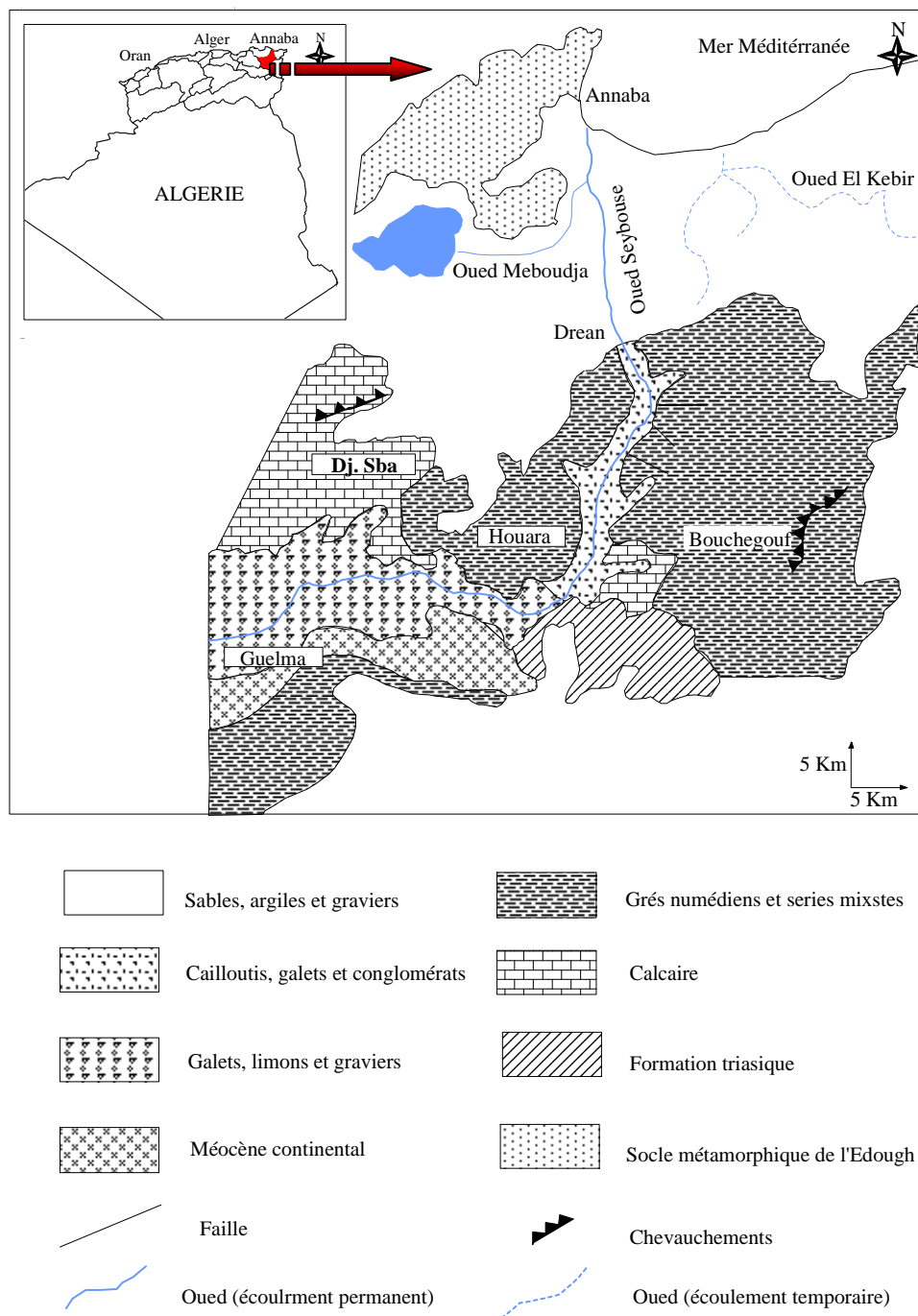


Fig.4. Esquisse géologique de la région d'étude (d'après Debieche. 2002; modifiée)

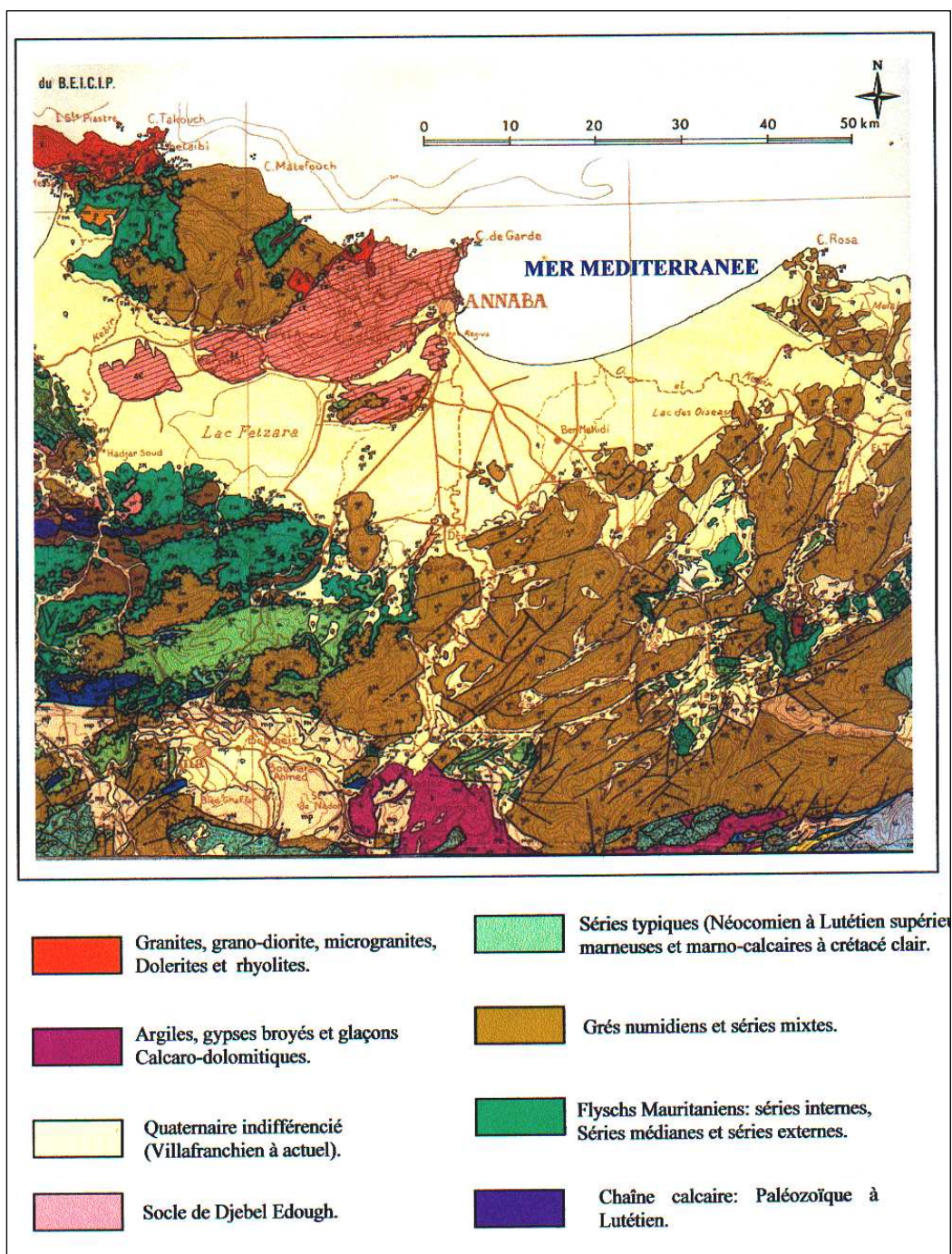


Fig.5. Schéma structural dans la région d'Annaba-Guelma
(extrait de J.M Vila, 1980).

Conclusion :

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, cailloutis,...), les grès, les marnes, les argiles, les flyschs et les calcaires.

Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations des plaines de Guelma et Annaba, nous a permis de distinguer les réservoirs d'eau suivants :

- le réservoir de la nappe superficielle (plaine de Guelma), présenté par les alluvions, constituées essentiellement par des sables, cailloutis, galets, limons et conglomérats.
- le réservoir de la nappe des hautes terrasses (plaine de Guelma), représenté par des galets, conglomérats, limons et sables.
- le réservoir de la nappe superficielle (plaine d'Annaba), représenté par des alluvions argilo-limoneuses au niveau de la nappe phréatique et par les sables de la nappe du cordon dunaire ;
- le réservoir de la nappe des graviers (plaine d'Annaba), représenté par des galets et des graviers intercalés avec des lentilles de sable et d'argile.

Chapitre III: Hydroclimatologie

III. Cadre hydroclimatologique.

L'étude des caractéristiques hydro climatologiques joue un rôle primordial dans la connaissance des comportements des cours d'eaux, les variations des réserves, la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles. Pour cela, l'élaboration du bilan hydrique est indispensable pour mieux comprendre le fonctionnement et les influences d'un système hydraulique de surface.

III.1. Station des mesures.

L'observation s'est faite à travers les stations des Annaba, Pont Bouchet, Guelma et Medjez Ammar.

Tab.1. Coordonnées des stations météorologiques et périodes d'observation.

paramètres Stations	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période d'observations
Annaba ville	07°45' E	37° N	50	1986-2009
Pont Bouchet	07°45'E	36°58'N	06	1975-2009
Guelma	07°28'E	36°28'N	227	1980-2009
Medjez Ammar	07°15'E	36°27'N	350	1978-2009

III.2 Facteurs climatiques.

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

Tab.2. Précipitations moyennes mensuelles en (mm) des quatre stations : Annaba, Pont Bouchet, Guelma et Medjez Ammar (Période 1975-2009).

Mois Station	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Aoû	Total
Annaba	34,75	44,13	99,96	118,83	105,9	65,69	72,96	55,08	29,43	8,78	1,57	6,67	643.8
Pont Bouchet	36.25	54.06	83.57	113.45	97.75	65.63	61.6	52.44	33.98	12.07	2.64	9,59	613.0
Guelma	30,49	44,71	64,54	78,97	69,65	59,81	60,34	55,57	47,51	15,88	3,36	9,08	539.9
Medjez Ammar	40,87	43,12	69,02	93,63	87,33	67,09	65,97	56,64	38,3	14,27	5,27	10,07	591.6

III.2.1. Représentation mensuelle des précipitations.

Pour évaluer la variation des précipitations moyennes mensuelles, nous avons établi les histogrammes relatifs à chaque station.

III.2.1.1. Histogramme de la station d'Annaba ville (fig. 6).

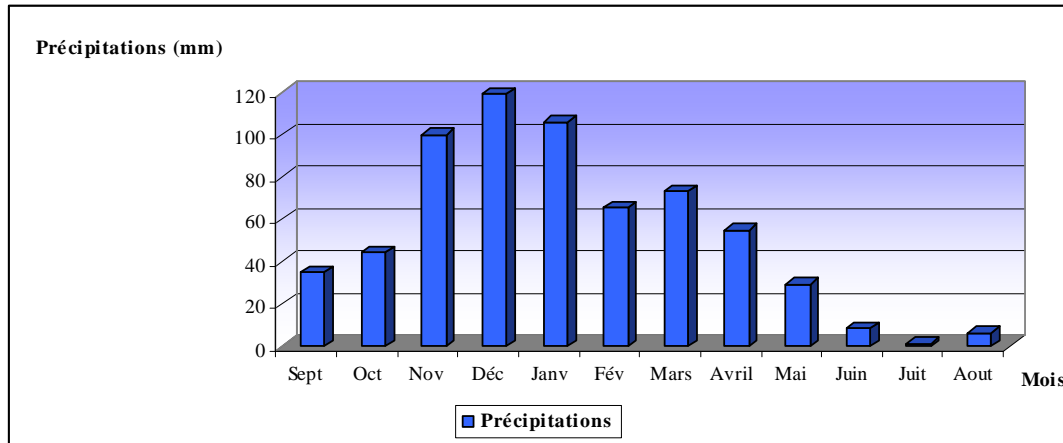


Fig.6. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Annaba ville (1986-2009).

Les précipitations atteignent le maximum au mois de Décembre avec une hauteur de 118.83 mm et le minimum au mois de Juillet avec 1.57 mm.

III.2.1.2. Histogramme de la station de Pont Bouchet (fig.7).

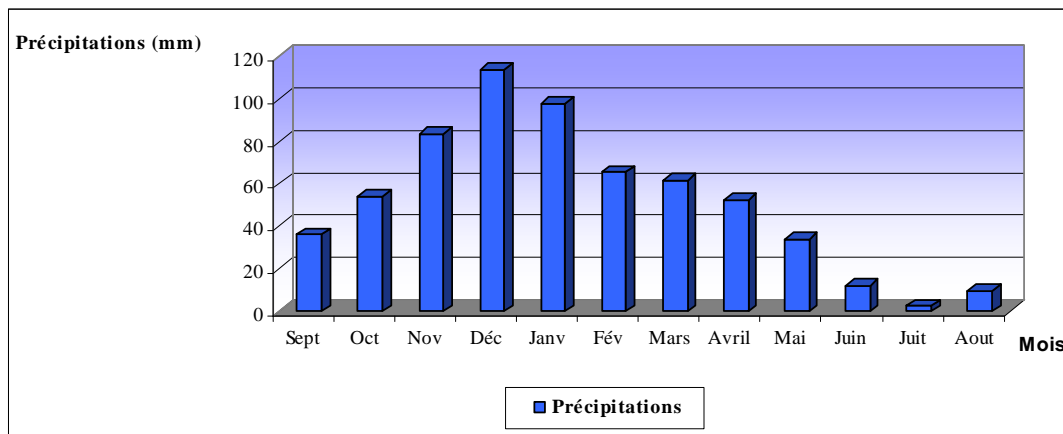


Fig.7. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Pont Bouchet (1980-2009).

Le maximum des précipitations est de l'ordre de 113.45 mm, observé au mois de Décembre et le minimum au mois de Juillet avec 5.27 mm.

III.2.1.3. Histogramme de la station de Guelma (fig. 8).

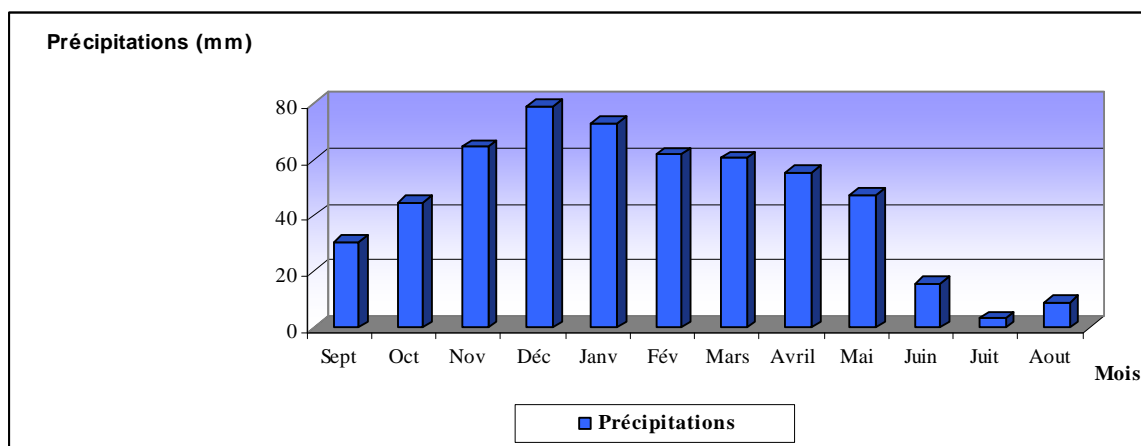


Fig.8. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Guelma (1975-2009).

La plus forte valeur des précipitations est marquée au mois de Décembre avec 78.97 mm, tandis que la plus faible caractérise le mois de Juillet avec 3.3 mm.

III.2.1.4. Histogramme de la station de Medjez Ammar (fig. 9).

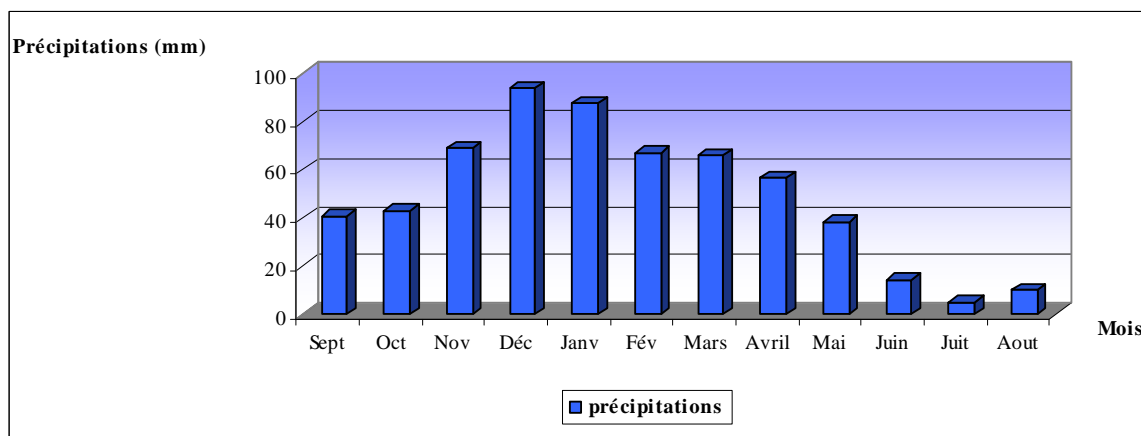


Fig.9. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Medjez Ammar (1978-2009).

Les précipitations atteignent le maximum au mois de Décembre avec une valeur de 93.63mm et le minimum au mois de Juillet avec 5.27mm.

III.2.1.5. La répartition des précipitations.

Les valeurs des précipitations moyennes annuelles observées dans les quatre stations (cf. tableau n° 2) de notre zone d'étude sur une période de 34 ans (1975-2009) sont en concordance avec les valeurs des précipitations moyennes annuelles dressées sur la carte (fig.

10) établie par les services de l'ANRH d'Annaba sur une période de 45 ans (1927-1960 et 1986-1989). Cette carte, montre la répartition spatiale des pluies moyennes annuelles dans la zone d'étude.

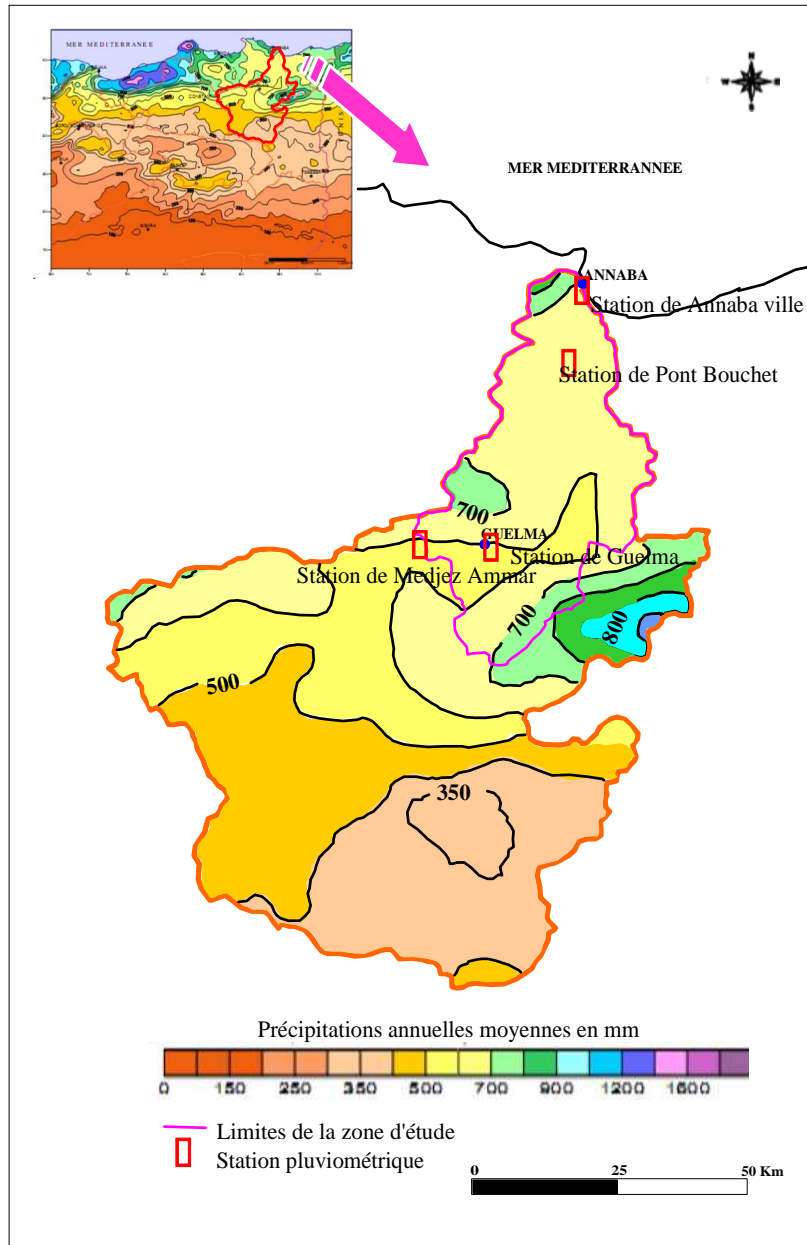


Fig.10. Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien (établie d'après A.N.R.H ., données moyennes de 60 ans, période du 1^{er} septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1^{er} septembre 1986 au 31 août 1989), modifiée.

La pluviométrie dans cette région se caractérise par une forte intensité des précipitations en hiver et d'une diminution des amplitudes pluviométriques en été. Plusieurs facteurs interfèrent pour donner un paysage présentant un climat à fort contraste entre le Nord et le Sud de la région d'étude dont les principaux sont l'importance du volume montagneux à

proximité de la mer, relief très compartiment et position par rapport aux vents humides du Nord.

Au Nord, la zone la plus arrosée étant le massif de l'Edough où la pluie moyenne annuelle est de l'ordre de 1141.57 mm à Séraïdi. Les précipitations annuelles diminuent du Nord vers le Sud (695.01 mm à les Salines, 643.75 à Annaba ville, 613.03 à pont Bouchet, 695.01 à Ain Berda, 545.58 mm à Guelma). Les lois de l'éloignement de la mer, l'orographie et l'exposition des versants aux vents humides justifient les variations pluviométriques d'une zone à l'autre de la région d'étude.

III.2.2. La température (figs. 11 et 12).

La température est le deuxième facteur dans l'étude climatique, car elle agit directement sur le phénomène d'évapotranspiration et par conséquent le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. On dispose des données de températures moyennes mensuelles de la station d'Annaba période de (1972-2009) et la station de Guelma durant la période (1985-2009).

Tab.3. Températures moyennes mensuelles en °C à la station d'Annaba (1972-2009).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Aout
Température (°C)	23,0	19,6	15,3	12,9	11,6	11,7	13,1	15,0	18,1	21,7	25,0	25,4

L'histogramme ci-après montre les variations des températures moyennes mensuelles de la station d'Annaba :

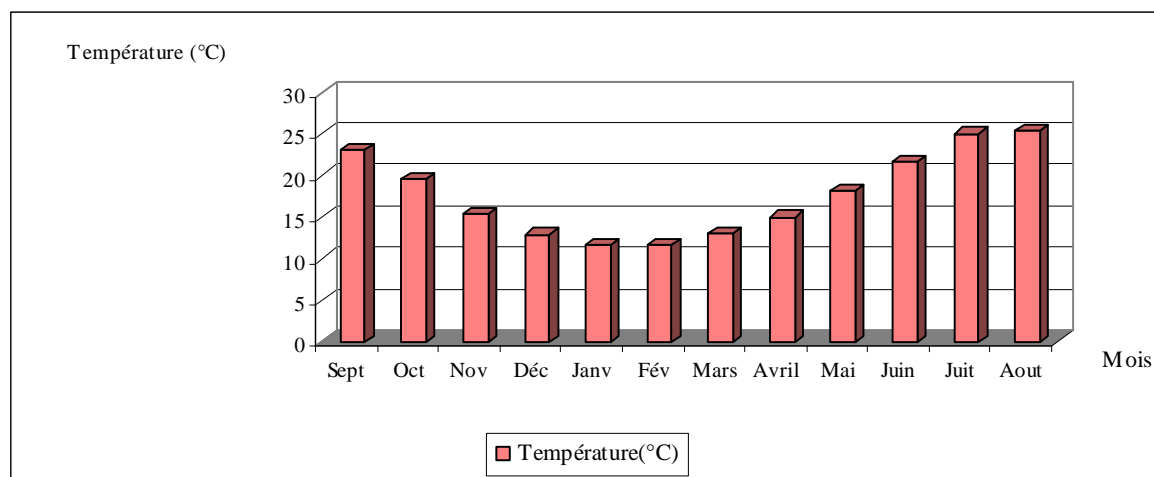
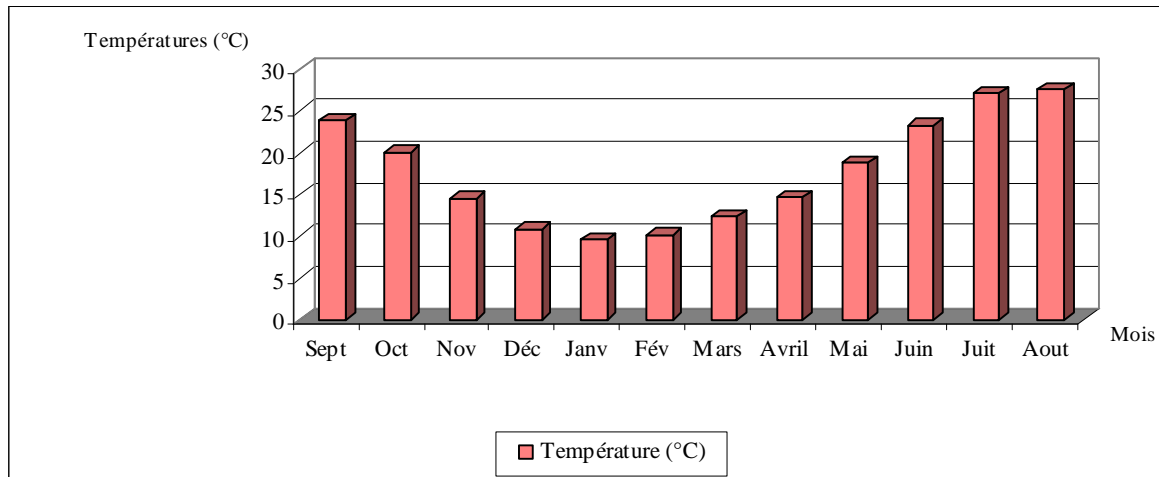


Fig.11. Variation des températures moyennes mensuelles dans la station d'Annaba durant la période (1972-2009).

Tab.4. Température moyennes mensuelles en °C à la station de Guelma (1985-2009).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Aout
Température (°C)	23.9	20.1	14.5	10.8	9.6	10.2	12.3	14.7	18.8	23.3	27.1	27.5

**Fig.12. Variation des températures moyennes mensuelles dans la station de Guelma durant la période (1985-2009).**

D'après les figures 11 et 12, les plus faibles valeurs sont mesurées aux mois de Janvier et février tandis que les plus fortes caractérisent les mois de Juillet et Août.

III.2.3. Diagramme ombrothermique (figs. 13 et 14).

Il s'agit de la combinaison des températures et des précipitations moyennes mensuelles. Il permet de déterminer les saisons sèches et humides, tel qu'il est mentionné ci-dessous :

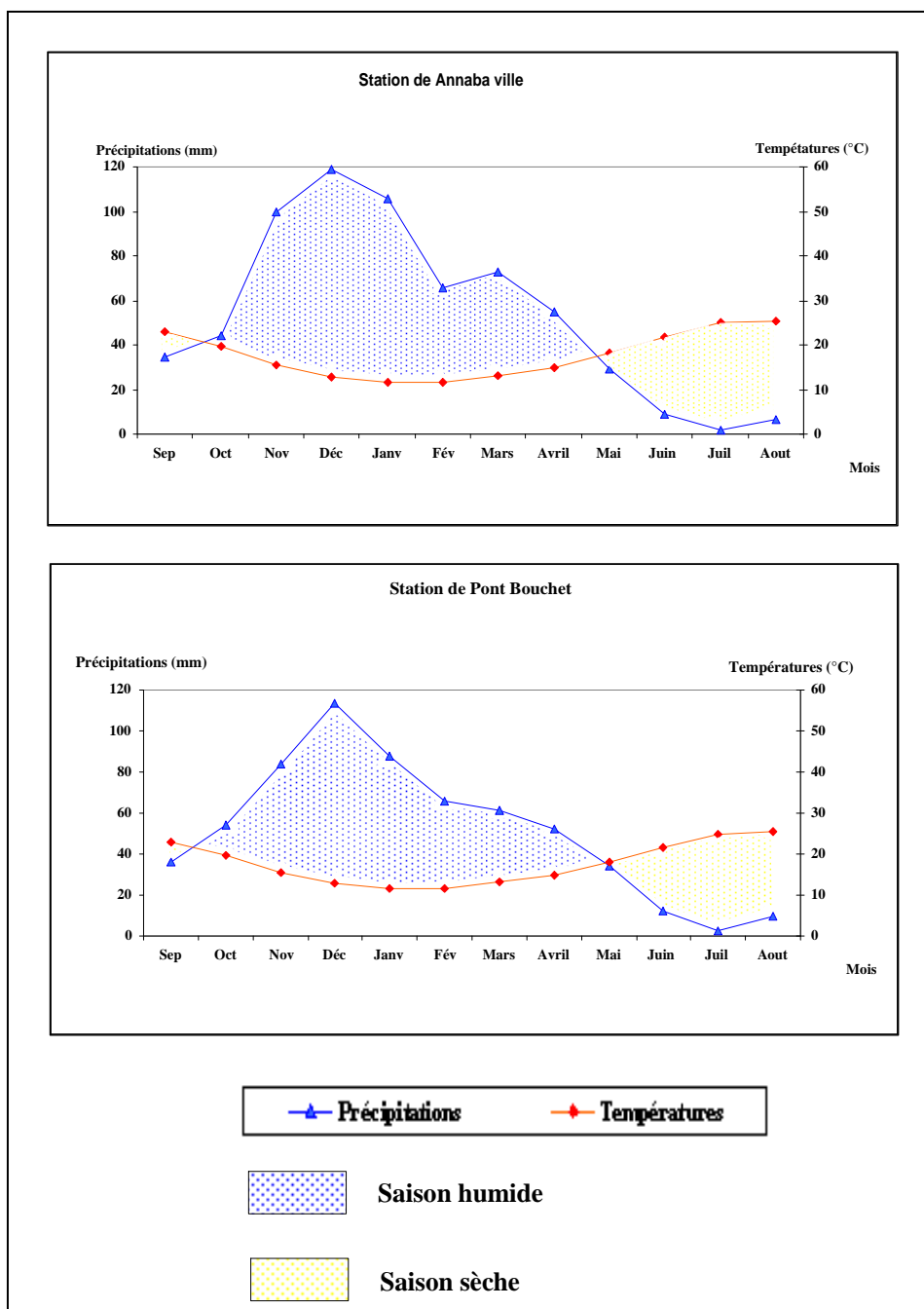


Fig.13. Régime pluvio-thermique de deux stations climatologiques dans la basse Seybouse.

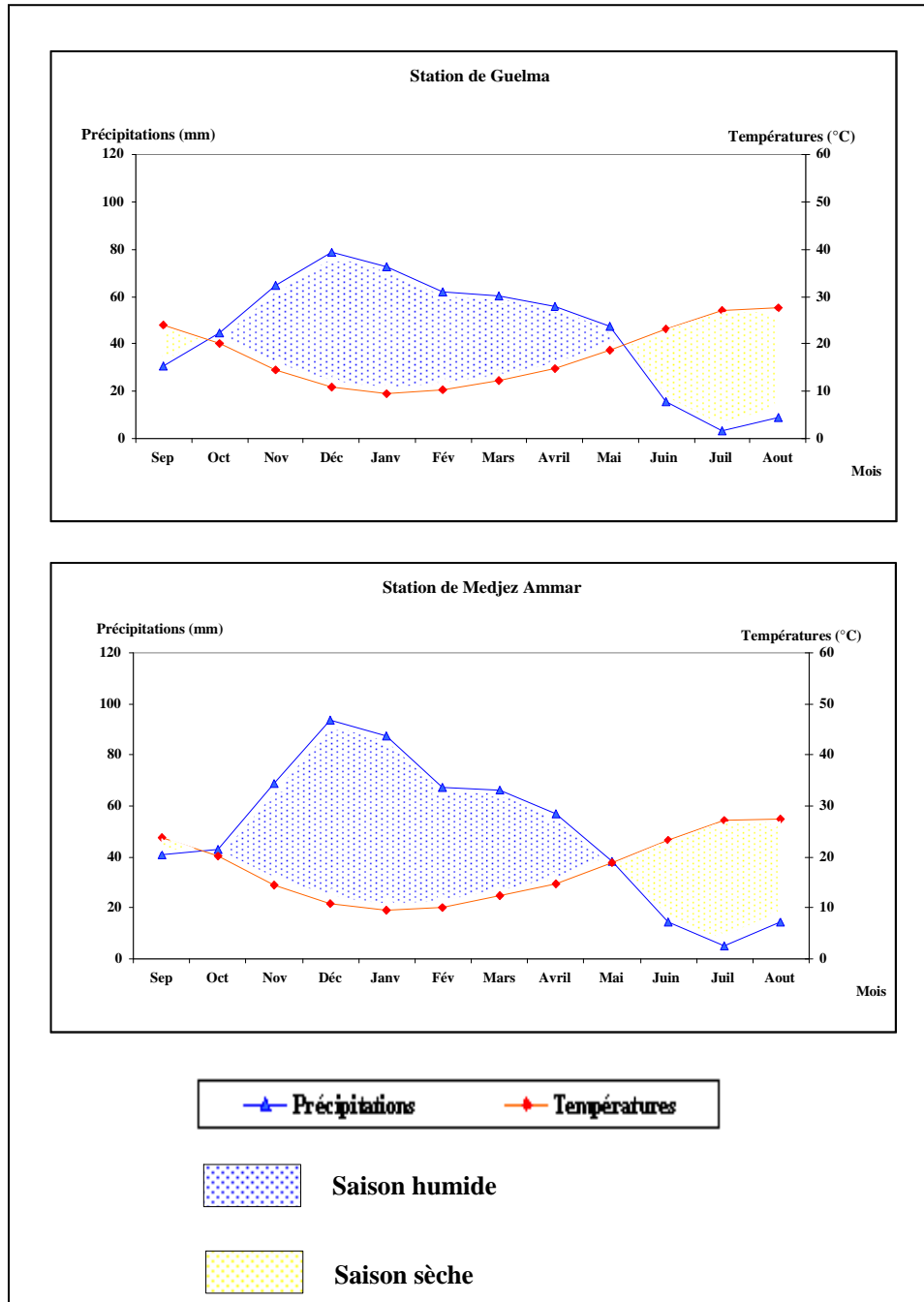


Fig.14. Régime pluvio-thermique de deux stations climatologiques dans la moyenne Seybouse.

Ces diagrammes pluviométriques montrent l'existence de deux saisons bien distincts :

- Une saison sèche et chaude qui s'étale du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre, marquée par une forte évaporation provoquée par l'augmentation de la température.

- Une saison humide plus longue qui s'étend du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai, caractérisée par une précipitation importante qui atteint un maximum au mois de Décembre avec respectivement 118.83 mm et 113.45 mm aux stations d'Annaba et Pont Bouchet.

III.3. Bilan hydrique.

L'étude du bilan hydrique permet d'évaluer la répartition des quantités d'eau reçues par un bassin versant entre ses différents composants (écoulement, infiltration et évaporation). Il est calculé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

Le calcul de l'ETP par la méthode de C.W. THORNTHWAITE.

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon C.W.THORNTHWAITE tient compte de l'indice thermique et de température moyenne mensuelle.

Vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule est applicable dans le bassin. La méthode de THORNTHWAITE permet à partir des données de base (précipitation (mm), température (°C), le coefficient thermique mensuel (K) et l'indice thermique mensuel (I) de calculer l'évapotranspiration potentielle ETP selon la relation suivante :

$$ETP = 1.6 (10t/I)^a \cdot F(\lambda)$$

où :

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.5} \quad \text{et} \quad I = \sum_{1}^{12} i \quad \text{et} \quad a = 1.6/100 \cdot I + 0.5$$

t: température moyenne annuelle

i : indice thermique mensuel

I: indice thermique annuel

F(λ): Facteur de correction intégrant la durée d'insolation et le nombre de jour, de mois et la température.

Cette méthode est basée sur la notion de réserve facilement utilisable (RFU), et nous admettons que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (RFU) qui pourrait reprise par l'ETP. ($RFU_{\max} = 100\text{mm}$).

Nous établirons un bilan à l'échelle mensuelle, seulement pour les deux stations de Annaba et Guelma. Les résultats obtenus sont reportés dans les tableaux suivants :

Tab.5. Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE » pour la station d'Annaba.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Aout	Total
P(mm)	34,75	44,13	99,96	118,83	105,9	65,69	72,96	55,08	29,43	8,78	1,57	6,67	643.8
T (°C)	23,0	19,6	15,3	12,9	11,6	11,7	13,1	15,0	18,1	21,7	25,0	25,4	17.7
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	
i	10.7	8.2	5.0	3.2	2.7	2.9	3.9	5.1	7.4	10.3	12.9	13.2	85.6
ETP	105.7	74.1	42.2	28.7	25.3	25.1	37.5	51.4	79.9	112.5	148.3	142.9	873.5
ETR	34.8	44.1	42.2	28.7	25.3	25.1	37.5	51.4	79.9	58.3	1.6	6.7	435.4
RFU	0.0	0.0	57.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	49.6	0.0	0.0	0.0	
EX	0.0	0.0	0.0	48.0	80.6	40.6	35.5	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	208.3
DA	70.9	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.1	146.8	136.2	438.0

Tab.6. Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE » pour la station de Pont Bouchet.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Aout	Total
P(mm)	36.25	54.06	83.57	113.45	97.75	65.63	61.6	52.44	33.98	12.07	2.64	9.59	623.0
T (°C)	23,0	19,6	15,3	12,9	11,6	11,7	13,1	15,0	18,1	21,7	25,0	25,4	17.7
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	
i	7.9	7.9	5.4	4.2	3.6	3.6	4.3	5.3	7.0	9.2	11.4	11.7	81.6
ETP	80.3	75.5	42.8	29.6	26.3	26.1	38.7	52.8	81.6	114.1	149.8	144.2	861.7
ETR	36.5	54.1	42.8	29.6	26.3	26.1	38.7	52.8	81.6	64.1	2.6	9.6	464.7
RFU	0.0	0.0	40.8	100.0	100.0	100.0	100.0	99.6	52	0.0	0.0	0.0	
EX	0.0	0.0	0.0	24.6	71.5	39.6	22.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	158.6
DA	43.8	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	147.1	134.6	397.0

Tab.7. Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE » pour la station de Guelma.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Aout	Total
P(mm)	30,49	44,71	64,54	78,97	69,65	59,81	60,34	55,57	47,51	15,88	3,36	9,08	539.9
T (°C)	23,9	20,1	14,5	10,8	9,6	10,2	12,3	14,7	18,8	23,3	27,1	27,5	17.7
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	
i	10.7	8.2	5.0	3.2	2.7	2.9	3.9	5.1	7.4	10.3	12.9	13.2	85.6
ETP	112.4	76.6	36.9	20.0	17.2	18.9	32.4	48.4	84.3	126.9	171.1	164.5	909.5
ETR	30.5	44.7	36.9	20.0	17.2	18.9	32.4	48.4	84.3	79.1	3.4	9.1	424.8
RFU	0.0	44.7	36.9	20.0	17.2	18.9	32.4	48.4	84.3	0.0	0.0	0.0	
EX	0.0	0.0	0.0	0.0	39.1	40.9	27.9	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	115.1
DA	81.9	31.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.8	167.7	155.4	484.7

Tab.8. Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE » pour la station de Medjez Ammar.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Aout	Total
P(mm)	40.87	43.12	69.02	93.63	87.33	67.09	65.97	86.64	38.3	14.27	5.27	10.07	591.6
T (°C)	23,9	20,1	14,5	10,8	9,6	10,2	12,3	14,7	18,8	23,3	27,1	27,5	17.7
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	
i	10.7	8.2	5.0	3.2	2.7	2.9	3.9	5.1	7.4	10.3	12.9	13.2	85.6
ETP	112.4	76.6	36.9	20.0	17.2	18.9	32.4	48.4	84.3	126.9	171.1	164.5	909.5
ETR	40.9	43.1	36.9	19.0	17.3	18.9	32.5	48.4	84.4	68.2	5.3	10.1	425.0
RFU	0.0	0.0	32.1	100.0	100.0	100	100.0	100.0	53.9	0.0	0.0	0.0	
EX	0.0	0.0	0.0	6.7	70.0	48.2	33.5	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	166.6
DA	71.6	33.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.8	165.9	154.5	484.3

Afin de visualiser les résultats obtenus du bilan d'eau à la station de Annaba, Pont Bouchet, Guelma et Medjez Ammar, les représentations graphiques suivantes des données sur les figures (15, 16, 17 et 18) illustrent bien la situation.

III.3.1. Interprétation du Bilan hydrique de la station d'Annaba (fig. 15).

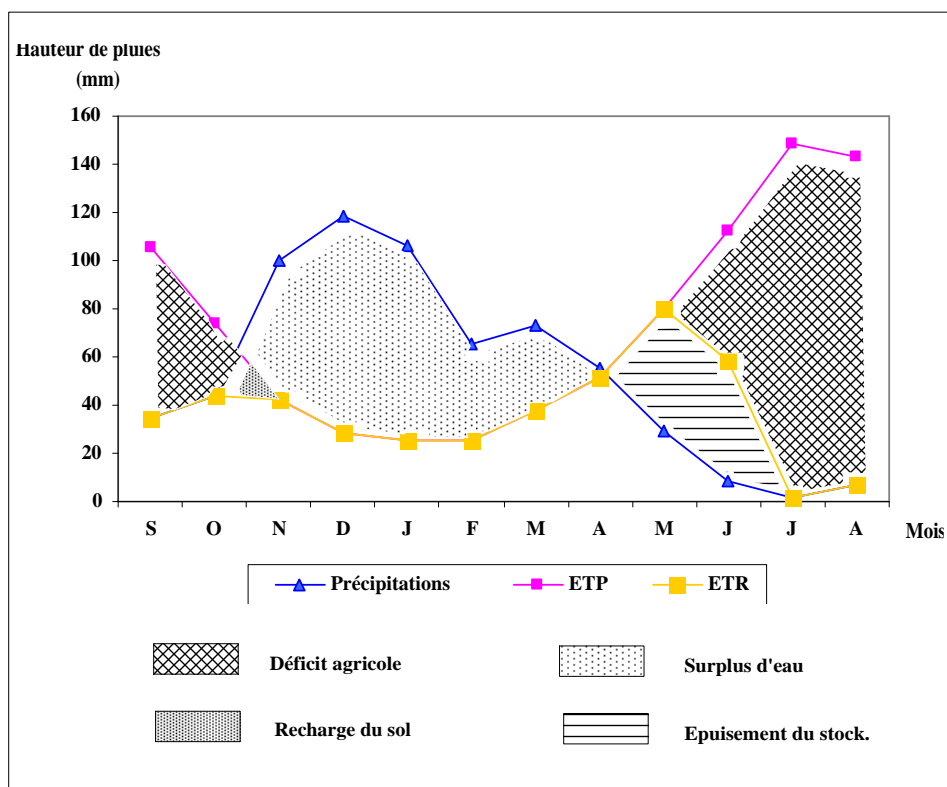


Fig.15. Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station d'Annaba (1986-2009).

La représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite de la station d'Annaba ville montre que l'évapotranspiration maximale a été observée pendant le mois de Juillet avec une valeur de 148.3 mm, ce qui produit un déficit agricole de 146.8 mm, nécessitant une irrigation pour les zones de culture. Cependant, durant les mois de Novembre jusqu'au mois de Mars, on remarque une recharge de la nappe. Lorsque celle-ci dépasse la RFU, le surplus d'eau va partir vers le ruissellement superficiel.

III.3.2. Interprétation du bilan hydrique de la station de Pont Bouchet (fig.16):

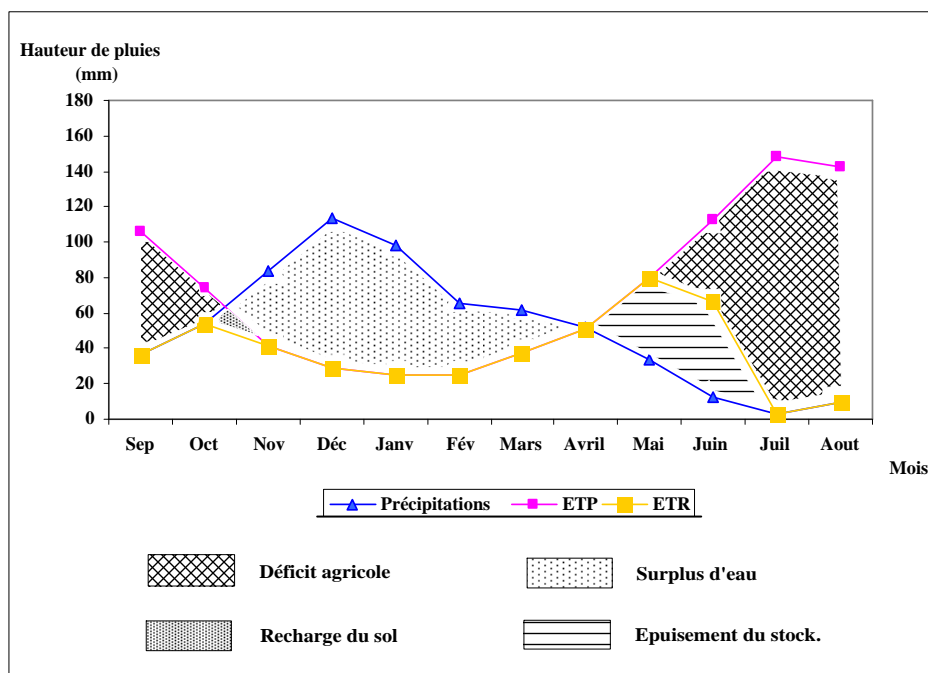


Fig.16. Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Pont Bouchet (1986-2009).

Le bilan d'eau établi par la formule de Thorntwaite montre que l'ETP atteint son maximum au mois de juillet (149.8 mm) et son minimum au mois de février (26.1 mm).

La reconstitution de la RFU s'effectue au mois de novembre (40.8 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 (158.6 mm/an) représentant 25.45% des précipitations annuelles alors que l'ETR est de l'ordre de 464.7 mm représentant 74.6% des précipitations annuelles.

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

III.3.3. Interprétation du bilan hydrique de la station de Guelma (fig. 17):

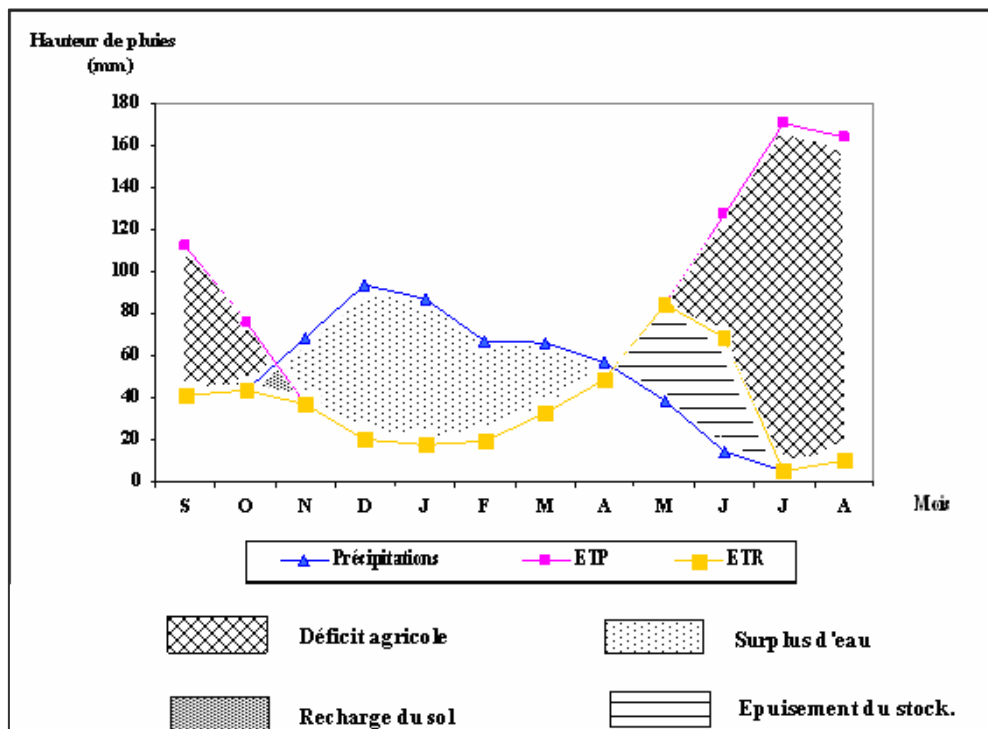


Fig.17. Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Guelma (1980-2009).

A la station de Guelma, et d'après le graphe du bilan d'eau, on constate que la recharge des nappes se fait en période hivernale. Un épuisement des réserves est apparent durant les mois de Mai et Juin. La période déficitaire débute au mois de Juin jusqu'en Octobre, avec un maximum d'évapotranspiration de 171.1 mm au mois de Juillet. Des valeurs de déficit agricole plus ou moins importantes durant cette période déficitaire, nécessitant le recours aux eaux souterraines pour satisfaire les besoins d'irrigation.

III.3.4. Interprétation du bilan hydrique de la station de Medjez Ammar (fig. 18) :

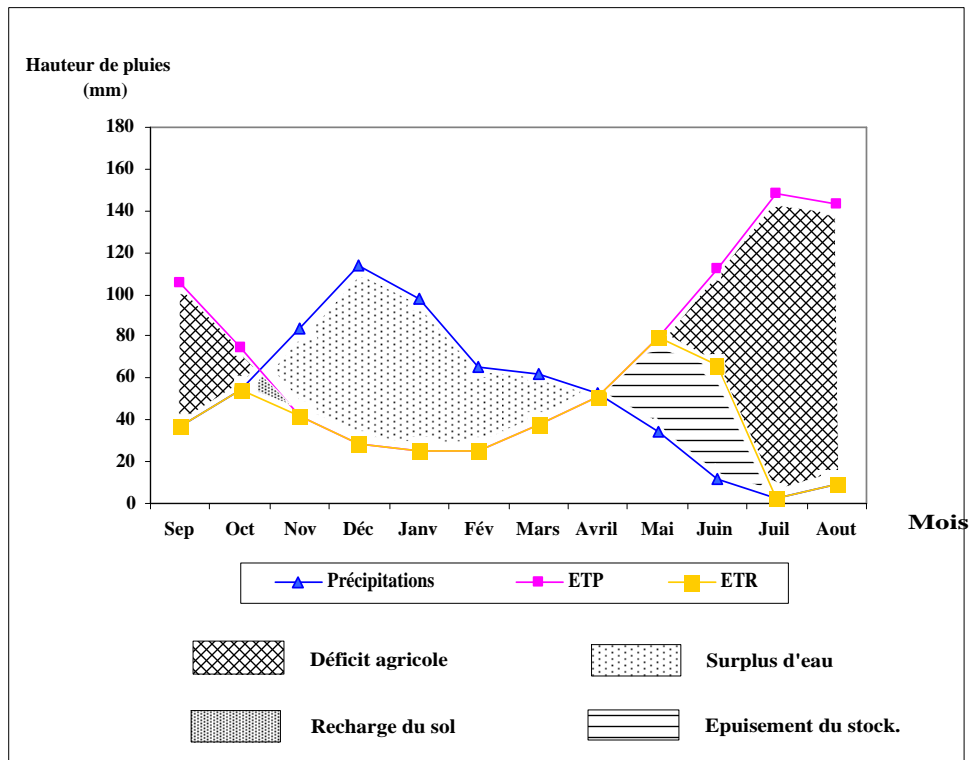


Fig.18. Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Medjez Ammar (1980/1981-2008/2009).

D'après la figure (fig.18), on remarque que la réserve en eau du sol RFU dans la station de Medjez Ammar, commence à se reconstituer à partir du mois de novembre, pour atteindre son maximum 100 mm à partir de décembre jusqu'à avril, période pendant laquelle apparaît un excédent qui va se traduire en écoulement ou une infiltration qui alimente la nappe. A partir du mois de mai la réserve commence à s'épuiser jusqu'au mois de juin où elle devient nulle, période qui traduit un déficit agricole nécessitant une irrigation.

Le calcul de l'ETR par la méthode de Turc :

La formule de Turc permet d'évaluer directement l'ETR annuelle de la zone d'étude à partir de la hauteur annuelle, selon la formule :

$$\boxed{ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}} \quad (\text{en mm/an}) \quad \text{où } L = 300 + 25 T + 0.05 T^3.$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle (mm/an).

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Station de Pont Bouchet :

P = 623.0 mm, T = 17.7 °C, L = 1019.76 \Rightarrow **ETR = 556.25 mm** Soit 89.28 % des précipitations.

Station d'Annaba :

P = 643.8 mm, T = 17.7 °C, L = 1019.76 \Rightarrow **ETR = 564.73 mm** Soit 87.71 % des précipitations.

Station de Guelma :

P = 539.9 mm, T = 17.7 °C, L = 1019.76 \Rightarrow **ETR = 499.9 mm** Soit 92.59 % des précipitations.

Station de Medjez Ammar :

P = 591.6 mm, T = 17.7 °C, L = 1019.76 \Rightarrow **ETR = 532.97 mm** Soit 90.08 % des précipitations.

Le calcul du Ruissellement (R) :

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 ;

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

Avec :

R : Ruissellement (mm)

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

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

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

Avec :

R : Ruissellement (m).

P : Précipitations moyennes annuelles (m)

Station de Annaba :

P = 643.8 mm $\Rightarrow R = 88.94$ mm soit 13.82 % des précipitations.

Station de Pont Bouchet :

P = 623.0 mm $\Rightarrow R = 80.60$ mm soit 12.93 % des précipitations.

Station de Guelma:

P = 539.9 mm, ETP = 909.5 mm $\Rightarrow R = 63.41$ mm soit 11.47 % des précipitations.

Station de Medjez Ammar :

P = 591.6 mm, ETP = 909.5 mm $\Rightarrow R = 83.43$ mm soit 14.1 % des précipitations.

4. Bilan hydrique

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

On a le bilan global :

$$P = R + I + ETR$$

$$I = P - R - ETR$$

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 d'Annaba.

P = 643.8 mm, ETR = 435.4 mm, R = 88.94 mm $\Rightarrow I = 119.46$ mm soit 18.55 % des précipitations.

Station de Pont Bouchet.

$P = 623.0 \text{ mm}$, $ETR = 464.7 \text{ mm}$, $R = 80.6 \text{ mm} \Rightarrow I = 77.7 \text{ mm}$ soit 12.47 % des précipitations.

Station de Guelma.

$P = 539.9 \text{ mm}$, $ETR = 428.8 \text{ mm}$, $R = 63.41 \text{ mm} \Rightarrow I = 47.69 \text{ mm}$ soit 8.83 % des précipitations.

Station de Medjez Ammar.

$P = 591.6 \text{ mm}$, $ETR = 425.0 \text{ mm}$, $R = 83.43 \text{ mm} \Rightarrow I = 83.17 \text{ mm}$ soit 14.05 % des précipitations.

Tab.9. Les différentes composantes du bilan hydrique.

Paramètre station	P (mm/an)	R (mm/an)	I (mm/an)	ETR (mm/an)	ETP (mm/an)	Difcit (mm/an)
Annaba	643.8	88.94	119.46	435.4	873.5	438.0
	100 %	13.82 %	18.55 %	67.62 %	/	/
Pont Bouchet	623.0	80.6	77.7	464.7	861.7	397.0
	100 %	12.93 %	12.47 %	74.59 %	/	/
Guelma	539.9	63.41	47.69	428.8	909.5	484.7
	100 %	11.47 %	8.83 %	79.42 %	/	/
Medjez Amar	591.6	83.43	83.17	425.0	909.5	484.3
	100 %	14.1 %	14.05 %	71.83 %	/	/

Conclusion.

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, appartenant au domaine humide, subhumide à semi-aride. Il est caractérisé par des irrégularités mensuelles et annuelles des précipitations. La répartition spatiale de ces dernières, montre une diminution des précipitations du Nord vers le Sud de la région d'étude.

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

La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 643.8mm de la station d'Annaba ville, de l'ordre de 623.0 mm à la station de Pont Bouchet, de l'ordre de 539.9 à la station de la station de Guelma et de l'ordre 591.6 mm à la station de Medjez Ammar.

Pour le calcul du bilan hydrique, la valeur de la réserve facilement utilisable (RFU) a été choisie en fonction de la nature du terrain (RFU=100 mm).

L'évapotranspiration réelle représente 67.62 % (station de Annaba), 74.59 % (station de Pont Bouchet), 79.42 % (station de Guelma) et 71.83 % (station de Medjez Ammar) des précipitations moyennes annuelles, alors que la lame d'eau ruisselée constituée 13.82 %, 12.93 %, 11.47 % et 14.1 % de la lame d'eau précipitée respectivement à Annaba, Pont Bouchet, Guelma et Medjez Ammar.

L'infiltration varie entre 8.83 % à 18.55 % des précipitations moyennes annuelles qui pourra jouer un rôle important dans la recharge des nappes souterraines.

L'estimation du bilan d'eau par la méthode de Thornthwaite a montré qu'à partir du mois de novembre, l'apport considérable de la pluie, la chute de température et la diminution de l'évapotranspiration permettent la recharge du sol mais avec un déficit agricole enregistré à partir de mois du juin jusqu'au mois d'octobre.

Chapitre IV: Hydrogéologie

IV. Cadre Hydrogéologique.

La connaissance de l'hydrogéologie de la région hydrodynamique 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, on distingue :

IV.1. Identification des nappes (fig. 19).

La région de Guelma est constituée de terrains sédimentaires d'âge Crétacé Oligocène, Mio-Pliocène et Quaternaire. Le fond du bassin est occupé par une plaine alluviale correspondant à un synclinal comblé par des argiles, des conglomérats marno-calcaires, des grès numidiens et des calcaires lacustres. Les formations numidiennes se développent largement au Sud de Guelma. Ce sont surtout les calcaires Yprésiens qui dominent, viennent en suite les grès numidiens du flanc de Mahouna, les séries marno-calcaires et les argiles. L'ensemble est fortement tectonisé. Il en résulte des facteurs qui favorisent la présence de plusieurs unités aquifères dans les marno-calcaires (Crétacé supérieur).

L'oued Seybouse a creusé dans la même série et a mis à jour trois petites sources, c'est un indice de la présence d'une nappe à faible ressource.

Les bancs de calcaires Yprésien de la région Sud de Guelma, affleurent largement jusqu'à la région de Sédrata. Ces calcaires sont fortement fissurés. Ce qui permet la constitution de ressources aquifères importantes, mais rapidement restituées. Les formations numidiennes dans la région de Guelma sont constituées d'une alternance d'assises gréseuses et de séries argileuses ou argilo-gréseuses.

Au Nord de Héliopolis, d'El Fedjoudj et de Guelâat bou Sbaa, affleurent des formations marneuses et schisteuses pauvres en eaux souterraines, alors qu'à l'Ouest de cette zone s'élèvent les calcaires Sénoniens du Djebel Debagh et Taya où l'infiltration est probablement importante, donc présence d'eau.

Le centre du bassin est occupé par des dépôts quaternaires dont lesquels on peut distinguer plusieurs terrasses.

Quant à la dépression de Boucheghouf, elle est encadrée à l'Ouest et au Nord par des grès, au Sud par des formations triasiques marneuses et gypseuses et au centre elle est comblées par les alluvions déposées par la Seybouse qui forment trois niveaux : la haute, la moyenne et la basse terrasse. Les alluvions de cette dernière peuvent receler des eaux souterraines alimentées par l'Oued Seybouse là où elles ne sont pas trop argileuses.

Le bassin de Guelma présente plusieurs ensembles lithologiques qui impliquent des zones hydrogéologiques différentes. Au Sud, des formations fracturées, indice d'une bonne infiltration donc importante accumulation d'eau souterraine. 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.

Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations de la plaine, a permis de distinguer un ensemble du remplissage Mio-Plio-Quaternaire capable de constituer deux réservoirs d'eau :

- le réservoir de la nappe superficielle, représenté par des alluvions argilo-limoneuses au niveau de la nappe phréatique et par les sables de la nappe du cordon dunaire ;
- le réservoir de la nappe des graviers, représenté par des galets et des graviers intercalés avec des lentilles de sable et d'argile.

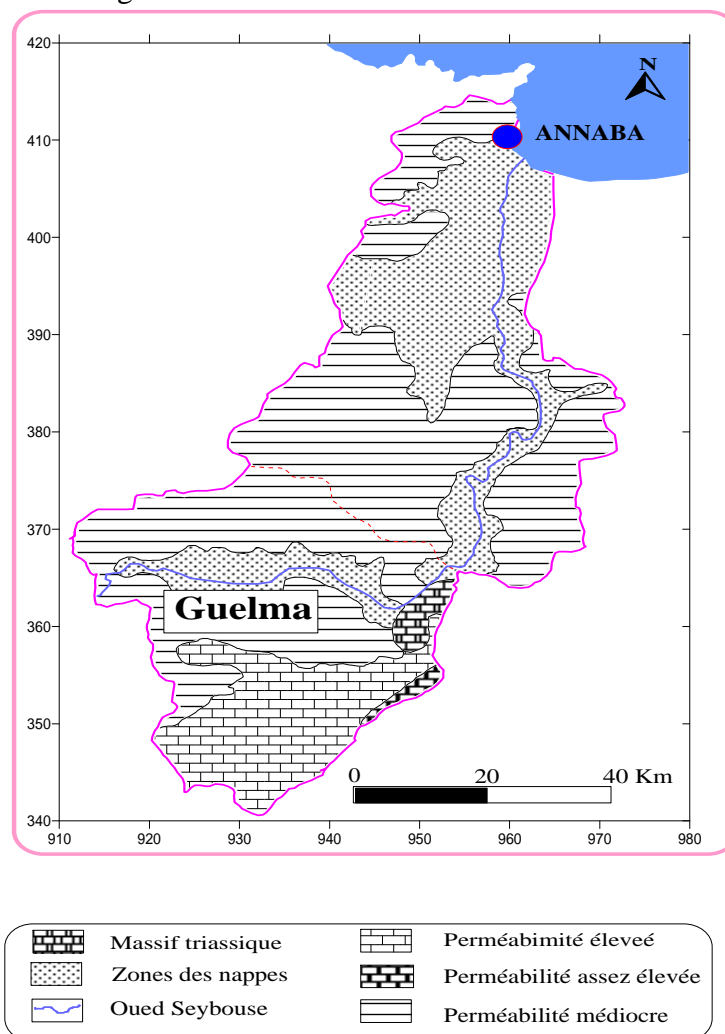


Fig.19. Zones hydrogéologiques dans la zone d'étude (D'après Ghachi, 1982).

IV.1.1. Les nappes de la plaine d'Annaba (fig.20).

La basse plaine de la Seybouse renferme trois nappes souterraines avec des potentialités hydrauliques différentes : deux sont superficielles (la nappe du cordon dunaire et la nappe sablo argileuse) et l'autre peu profonde dans la partie Sud et profonde dans la partie Nord (nappe des graviers).

IV.1.1.2. La nappe du cordon dunaire.

La nappe du cordon dunaire est une nappe littorale constituée par le sable dunaire. La transmissivité moyenne est de l'ordre de 10^{-3} m²/s et la perméabilité est de 10^{-3} m/s. Cette nappe est exploitée par des puits.

IV.1.1.2. La nappe phréatique et la nappe des graviers.

Ce sont des nappes superposées qui s'étendent sur toute la plaine. La nappe phréatique est constituée par des sables argileux et des limons, Son épaisseur varie entre 0 et 20 m, elle est exploitée par des puits pour l'irrigation et les usages domestiques. La nappe des graviers constituée par des graviers, des galets et des sables est située en dessous de la nappe phréatique. Elle est exploitée par des forages pour l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation.

D'autres nappes locales peuvent apparaître au niveau du socle métamorphique sous l'effet de l'altération des formations rocheuses du cipolin ou des alluvions des terrasses supérieures.

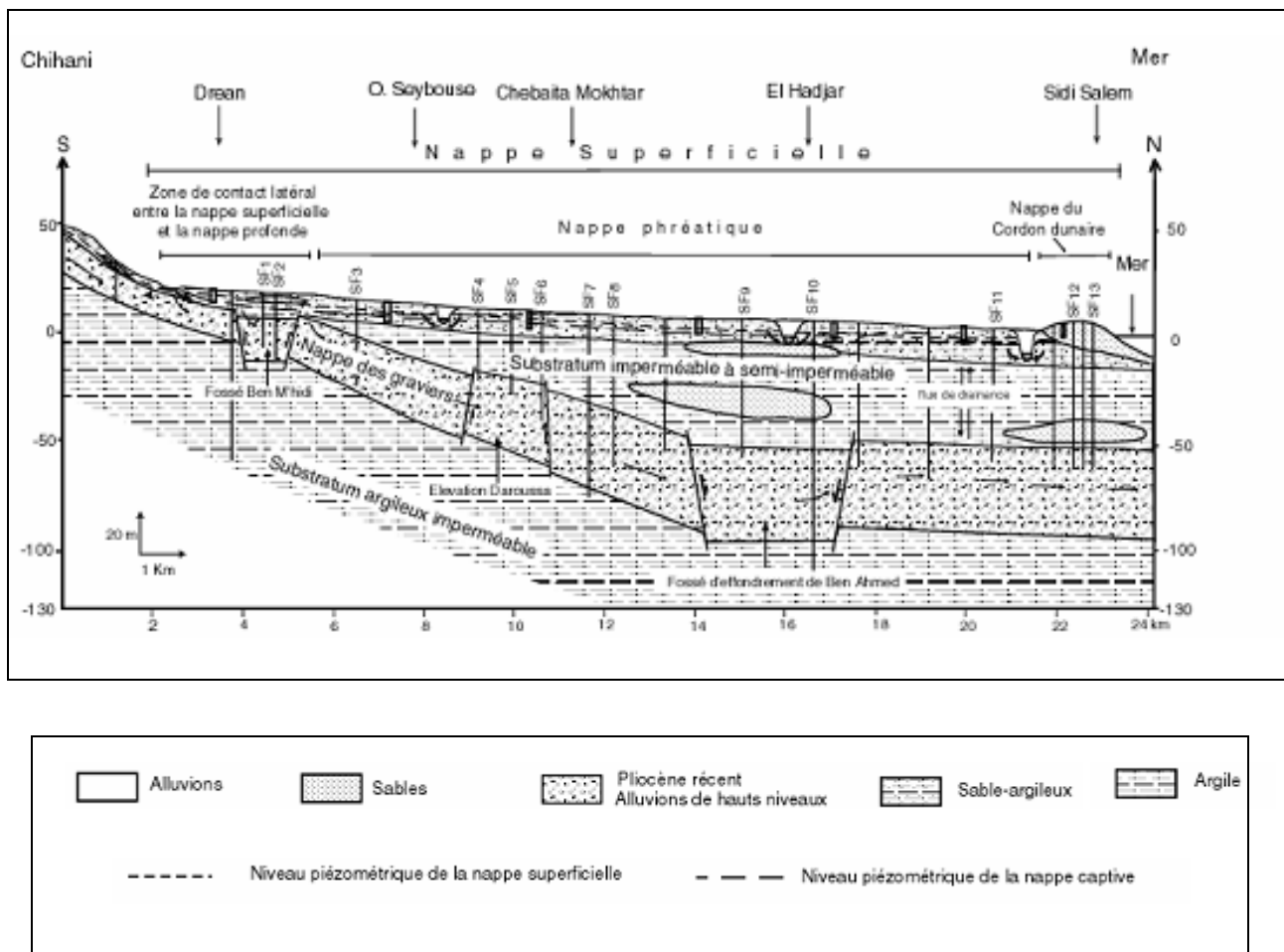


Fig.20. Coupe schématique de la superposition des nappes souterraines dans la basse plaine de la Seybouse (d'après Debièche, 2002).

IV.1.2. Les nappes de la plaine de Guelma.

Dans la plaine de Guelma, on peut distinguer deux systèmes aquifères différents, le premier se localise au centre de la plaine, c'est la nappe alluviale de Guelma et l'autre, c'est la nappe des calcaires de Hammam Bradaa.

IV.1.2.1. La nappe alluviale de Guelma.

Elle est constituée par des alluvions quaternaires (poudingues, graviers, galets, marnes et limons). C'est une zone d'effondrement comblée par des dépôts miocène et quaternaire. Ces alluvions sont souvent très perméables et surtout très épaisses renfermant une nappe importante alimentée par les infiltrations des eaux de pluies et les apports latéraux du bassin versant de la Seybouse

IV.1.2.1.1. Coupe hydrogéologique Nord-Sud.

Cette coupe est localisée à l'Ouest de Belkheir d'orientation Nord-Sud, selon la coupe, on constate les nappes aquifères suivantes (**fig. 21**).

- La nappe de la basse terrasse: est constituée par des alluvions grossières d'une épaisseur de l'ordre de 10 m reposant sur un substratum marneux à gypse.
- la nappe de la moyenne terrasse est constituée d'un matériel relativement fin en alternance avec des passées argileuses d'une épaisseur de l'ordre de 40m reposant sur un substratum marneux à gypse.
- la nappe de la haute terrasse se caractérise par un remplissage alluvionnaire formé essentiellement de sable, graviers et cailloutis avec des petites intercalations argileuses d'une épaisseur dépassant les 90 m.
- Le substratum est marneux témoigne de l'ancien trajet de la Seybouse, qui était plus au Sud que son parcours actuel.
- Au Sud, les calcaires travertineux du Pliocène dominant. Les données du piézomètre (P3) montrent un faciès variable: tufs vacuolaires ou spongieux, calcaires blancs crayeux fissurés avec de nombreuses recristallisations de Calcite.

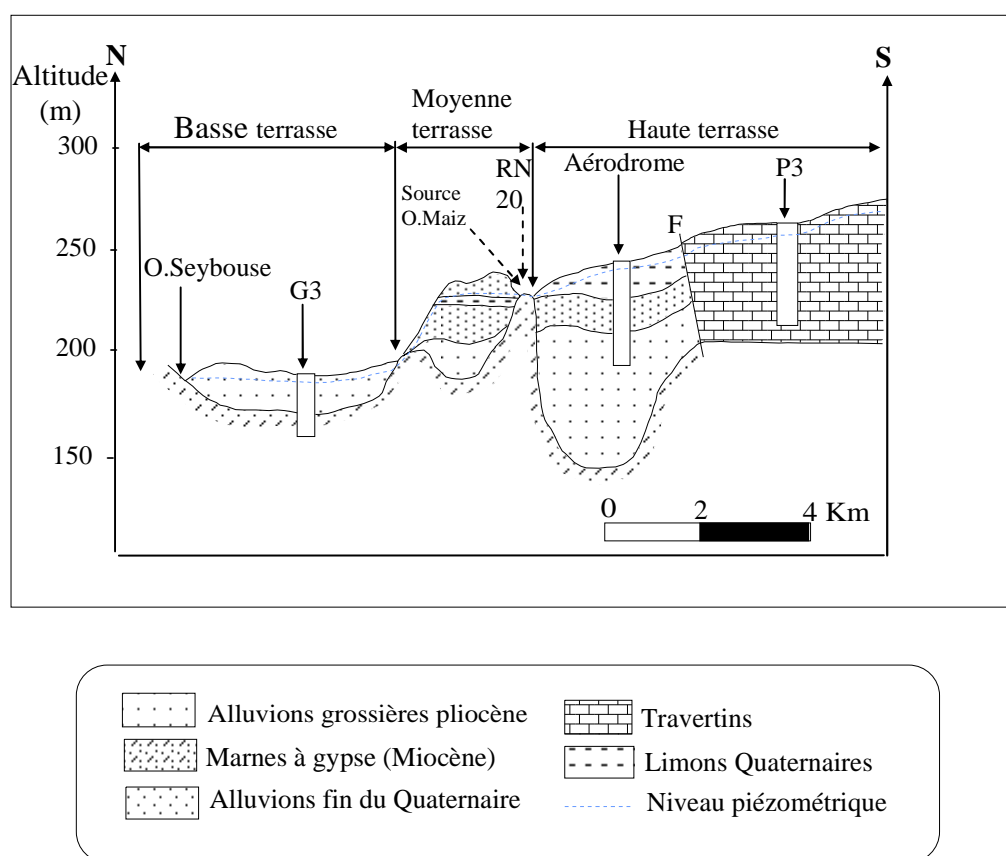


Fig.21. Coupe hydrogéologique Nord-Sud dans la plaine de Guelma.
(d'après Brahmia, 2009. modifiée)

IV.1.2.2. La nappe de Hammam Bradâa (fig. 22).

Les calcaires Néritiques forment le Djebel Debagh (Sud-Est de Guelma). Ils se prolongent en profondeur vers le Nord-Est pour réapparaître sous forme de fenêtre au niveau de Hammam Ouled Ali et Hammam Bradâa.

IV.1.2.2.1. Coupe hydrogéologique Est-Ouest.

Dans la région de Hammam Ouled Ali les formations Carbonatées sont représentées par quelques dizaines de mètres d'un calcaire sénonien supérieur calcaire, calcaire biodétrique ou micritique analogue à celui de Douar Bouzitoune (Héliopolis). Ces formations plongent en profondeur vers l'Est, sous les nappes de charriage pour réapparaître d'abord dans la région de Bouzitoune, puis en petite fenêtre près de la source romaine. Elles sont exploitées par un seul forage de 173 m de profondeur qui donne un débit de 20 l/s, alimentant le village. La réalisation du forage de El Fedjoudj a permis de superposer la continuité de cette formation depuis Djebel Debagh jusqu'à Hammam Bradaa.

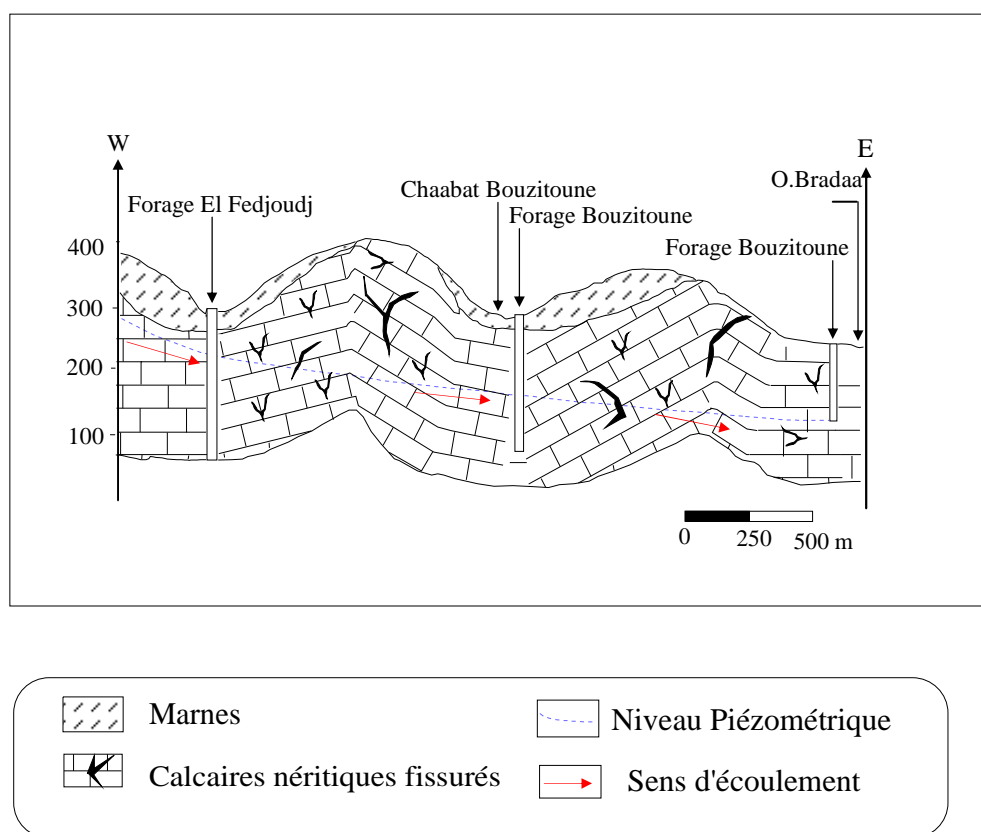


Fig.22. Coupe hydrogéologique Est-Ouest (nappe Hammam Bradâa).
(d'après Brahmia, 2009. modifiée)

IV.1.3. Conclusion.

La plaine d'Annaba comporte trois nappes souterraines qui sont :

- La nappe du cordon dunaire est une nappe littorale constituée par le sable dunaire.
- La nappe phréatique est constituée par des sables argileux et des limons.
- La nappe des graviers constituée par des graviers, galets et sables. Cette nappe située en dessous de la nappe superficielle.

La plaine de Guelma renferme deux nappes qui sont :

- La nappe alluviale est constituée par des poudingues, graviers, galets, marnes et Limons.
- La nappe de Hammam Bradâa est constituée par des formations carbonatées.

IV.2. Les cartes piézométriques.

La carte piézométrique permet de visualiser la morphologie de la surface piézométrique (la forme et l'espacement des isopièzes), définit le sens de l'écoulement et déduit les zones d'alimentation et de sortie des eaux de la nappe souterraine dans la plaine de la moyenne Seybouse et la plaine de la basse seybouse.

IV.2.1. Interprétation de la carte piézométrique de la plaine de Guelma (fig. 23).

D'après cette carte, on remarque que le sens d'écoulement est dirigé vers l'oued Seybouse du Sud vers le Nord et les courbes isopièzes se resserrent dans la partie Sud-Ouest de la ville de Guelma qui est une zone formé de travertins alimentent la nappe des alluvions.

La partie centrale de la plaine (entre Belkheir et Boumahra) est marqué par une augmentation de l'espacement des courbes ce qui indique une bonne transmissivité de la nappe avec une diminution sensible du gradient hydraulique avec des valeurs de l'ordre de 0,025. Le sens d'écoulement est toujours du Sud vers le Nord.

La partie Sud-Est est une zone d'alimentation qui se localise aux limites de la plaine des alluvions bordée par la mollase argileuse gréseuse. Les valeurs du gradient hydraulique sont moyennes de l'ordre de 0,04.

Les alluvions se situent sur la rive Nord de l'oued Seybouse et se caractérisent par un écoulement du Nord vers le Sud à partir du piémont de Djebel Houara vers l'oued Seybouse.

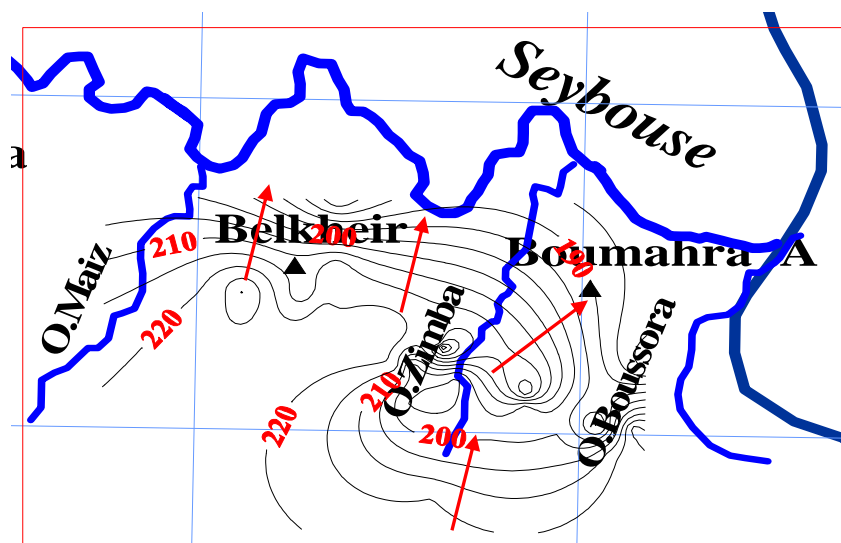


Fig. 23. Carte piézométrique de la plaine de Guelma durant la période des hautes eaux durant la période de février 2008 (d'après Bechiri et Mourdi).

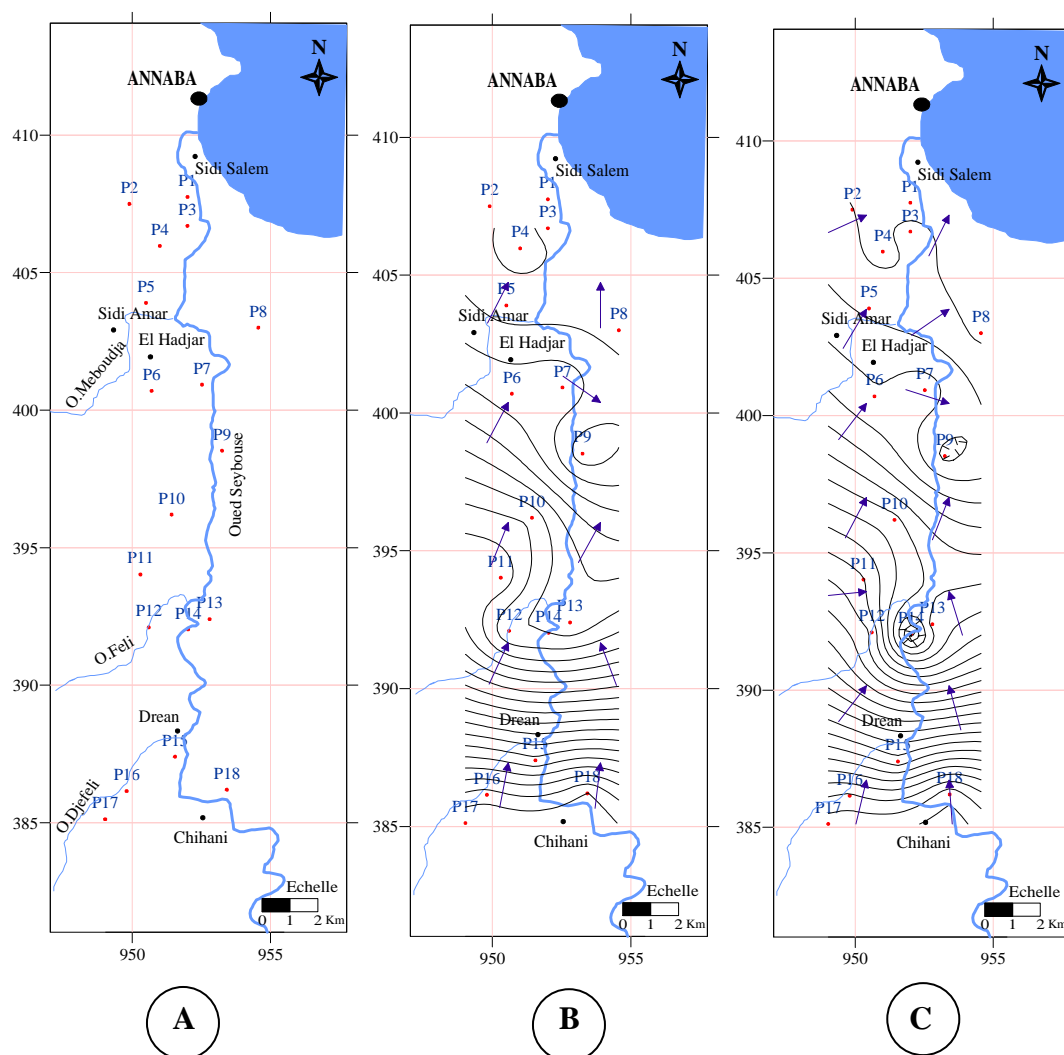
IV.2.2. Interprétation de la carte piézométrique de la plaine d'Annaba (figs. 25 et 26).

Les deux cartes piézométriques sont globalement identiques, avec un petit changement dans l'allure des isopièzes entre basses et hautes eaux, l'examen des courbes isopièzes montre une surface piézométrique assez régulière.

La direction générale de l'écoulement est SW-NE, l'espacement des courbes augmente progressivement dans cette direction due à la topographie.

On constate une convergence des lignes de courants vers l'oued ce qui indique une alimentation de la Seybouse par la nappe, et une zone d'alimentation de la nappe par l'oued au niveau de la confluence de l'oued Seybouse et l'oued Meboudja.

Les courbes piézométriques sont serrées dans la partie amont de la région traduisant un fort gradient hydraulique ($1,6 \cdot 10^{-2}$), il marque un écoulement rapide dû à la pente et une perméabilité faible. Vers la partie avale de la basse Seybouse, les courbes sont plus espacées avec un gradient hydraulique faible de $3,5 \cdot 10^{-3}$ ce qui indique une forte perméabilité et un écoulement lent.



A : Fig. 24. Carte d'inventaire des points d'eau de la nappe superficielle.

B : Fig. 25. Carte piézométriques hautes eaux de la nappe superficielle (Février 2009).

C : Fig. 26. Carte piézométriques basses eaux de la nappe superficielle (Juillet 2009).

IV.3. Conclusion.

L'étude hydrogéologique nous a permis de déterminer les principales caractéristiques de la plaine, le mode d'alimentation et le sens d'écoulement.

Dans la moyenne Seybouse on distingue deux nappes ; la nappe alluviale de Guelma et la nappe de Hammam Bradâa.

L'interprétation des coupes hydrogéologiques montre que la zone favorable à l'implantation des forages et des puits qui se situent au centre de la plaine, entre Guelma et Boumahra Ahmed.

L'interprétation de la carte piézométrique montre que la surface piézométrique a une morphologie non uniforme avec un écoulement de direction Sud –Nord (vers l'oued Seybouse) et un gradient hydraulique variable (0.025 à 0.04).

Dans la basse Seybouse on distingue deux principales nappes; la nappe superficielle contenue dans les argiles sableuses et la nappe des graviers. Ces deux nappes sont largement exploitées par de nombreux ouvrages de captage.

Dans la basse plaine de la Seybouse ; L'écoulement dans son ensemble se fait du Sud vers le Nord (la mer méditerranée) présentant des cônes d'alimentation de la nappe ; les deux oueds Seybouse et Méboudja drainent la nappe dans la partie sud, alors que dans l'extrémité Nord avant et juste après la confluence des deux oueds il s'agit d'une zone de dépression où il s'effectue l'inverse, c'est-à-dire la nappe alimente les oueds.

Chapitre V: Hydrochimie

V. Introduction

Le développement urbain anarchique et l'industrie particulièrement polluante dans la région d'étude ont engendré une dégradation significative de l'environnement. De ce fait le problème de l'eau surtout du point de vue qualitative se pose avec acuité dans notre zone d'étude.

V.1. La pollution des eaux :

La gestion très insuffisante de l'assainissement et l'absence de traitement dans la zone d'étude ont aggravé la pollution du milieu, et particulièrement les ressources en eau. Les eaux usées domestiques et industrielles sont rejetées à l'état brut dans le milieu naturel et occasionnent des pollutions de plus en plus dangereuses pour les ressources en eaux donc pour la santé humaine.

V.1.1. Les principaux types et origines de pollution dans la zone d'étude :

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

V.1.1.1. Pollution urbaines et domestiques:

La pollution urbaine constitue une source de pollution importante, en effet toutes les agglomérations situées le long du cours d'eau déversent leurs eaux usées dans l'oued Seybouse ou ses affluents sans traitement préalable sauf pour la ville de Guelma où on a une station d'épuration récemment mise en service.

Dans le cas d'assainissement, collectif ou individuel défectueux ou un contact hydraulique avec les nappes, les substances indésirables contenues dans les eaux ménagères (matières organiques, solvants, détergents micro-organismes, antibiotiques...), peuvent atteindre la nappe.

Les trois décharges publiques à savoir celles situées respectivement au Nord de Guelaât Bou Sbâa, à l'Est de d'Héliopolis et au Nord de la ville de Guelma du côté de Djebel Hallouf, contribuent eux aussi à la pollution par leur lexiviat.

Notons que d'autres décharges sauvages existent également dans notre zone d'étude

Tab.10. Les récepteurs des eaux usées au niveau de la zone d'étude.

Commune	Wilaya	Lieu de rejet
Guelma	24	Oued Seybouse
Ben Djarah	24	Chaâbat
Guelaat Bou Sbaa	24	Chaâbat
Nechmaya	24	Chaâbat
Belkheir	24	Chaâbat
Boumahra	24	Oued Seybouse
Djeballah K	24	Chaâbat
Beni Mezline	24	Chaâbat
Khezaras	24	Chaâbat
Bouhachana	24	Chaâbat
Héliopolis	24	Oued Seybouse
El Fedjoudj	24	Chaâbat
Bouhegouf	24	Oued Seybouse
Oued Fragha	24	Oued Seybouse
Chiihani	36	Oued Seybouse
Drean	36	Oued Seybouse
Chebaita Mokhtar	36	Oued Seybouse
El Hadjar	23	Oued Meboudja
Sidi Ammar	23	Oued Meboudja
El Bouni	23	Oued Seybouse
Sidi Salem	23	La mer

V.1.1.2. Pollution industrielle :

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

Les stations de lavage et de carburants au nombre de 33 et les unités industrielles déversent également leurs déchets dans les affluents de l'oued Seybouse (O.Skhouné, O.Maiz, O.Zimba, O.Boussora et O.Meboudja).

Ces rejets peuvent occasionner des modifications aux eaux de surface et souterraine et compromettent la santé de l'homme.

Tab.11. Types de polluants de quelques unités industrielles et leurs milieux récepteurs dans la zone d'étude.

Unité	Nature de l'activité	Milieu récepteur	Caractéristiques du rejet
ENA Sucre	Raffinerie de sucre	Oued Maïz	Forte concentration en matière organique dissoute en suspension
SYCMA	Fabrication des cycles et motocycles	Oued Maïz	Ni, Cr, Fe
ECVE	Production de céramique	Oued Maïz	Teneur élevée en MES, Kaolin. Cd, Pb, Cr.
SONATRACH (33 stations)	Carburant et station de lavage et graissage	Oued Skhoun Oued Maïz Oued Zimba Oued Seybouse Oued Meboudja	Graisse, Pb
SIDER	Sidérurgie	Oued Meboudja	Fe (T), Mn, NH_4^+
ASMIDAL	Complexe d'engrais phosphatés et azotés	La mer	NH_4^+ , PO_4^{3-}

V.1.1.3. Pollution d'origine agricole :

Les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. L'utilisation massive des engrais et des pesticides dans notre zone d'étude contribuent à la dégradation des eaux de surface et souterraine. Le transfert des engrais et pesticides vers la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans les puits perdus et gouffres.

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

Les nitrates sont des engrais azotés les plus utilisés dans l'agriculture, ce sont des sels très solubles qui sont soumis au processus de lessivage dans le sol et s'enfoncent progressivement pour atteindre la nappe.

Tab.12. Identification des engrais utilisés dans la zone d'étude.

Types d'engrais	Observations
N.P.K 15.15.15	$\text{NP}_2\text{O}_5\text{K}_2\text{O}$: Azote: 15% P_2O_5 : 15% K_2O : 15%
Urée 46%	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$: hydrolyse --> ammonification --> nitritation --> nitratisation (NHO_3)
U.A.N 32%	Azote total : 32% Azote ammoniacal : 7% Azote nitrique : 7.8% Azote uréique : 16.4%

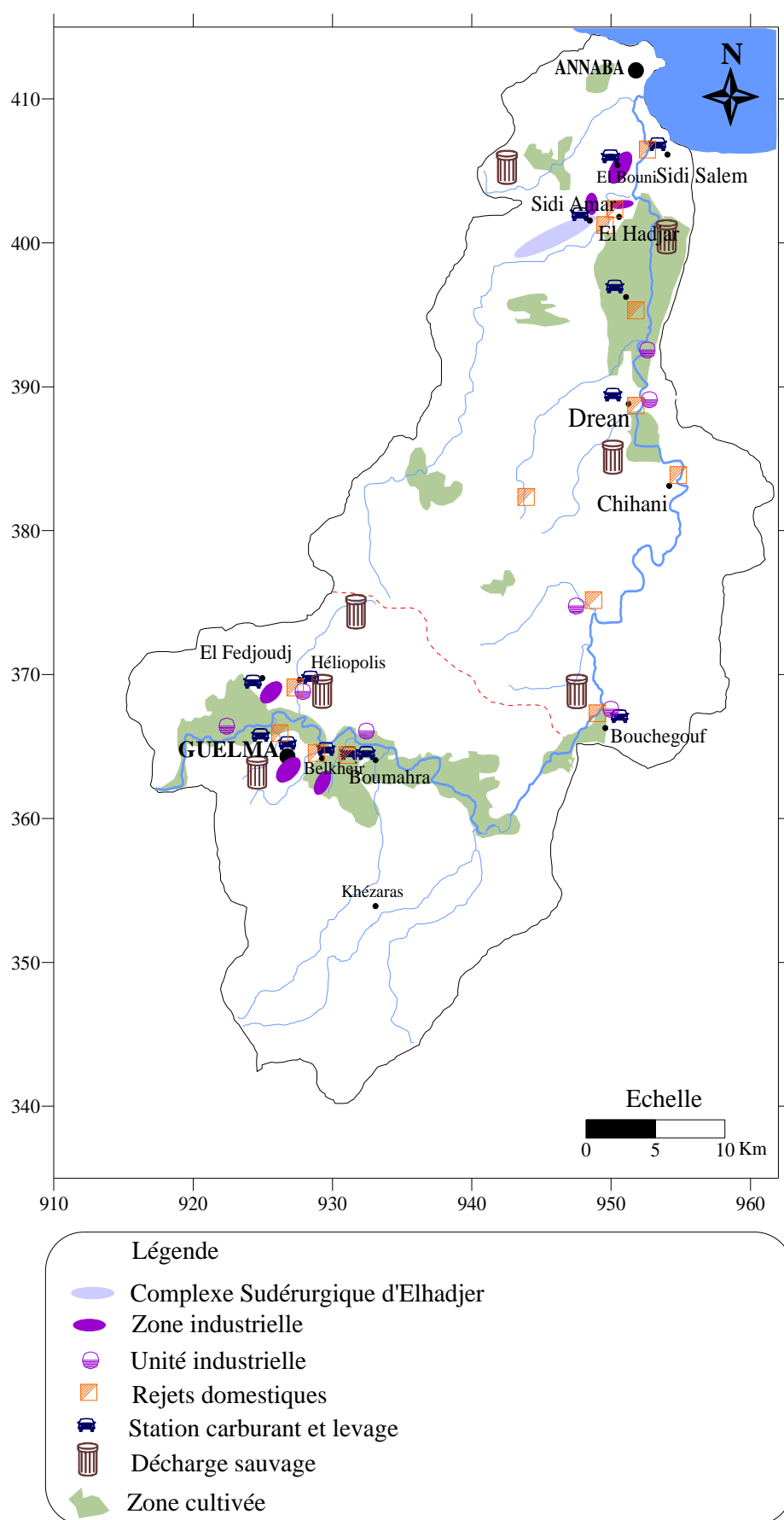


Fig.27. Carte montrant les différentes sources de pollution dans la zone d'étude

V.2. Qualité des eaux

L'objectif principal de cette étude, est de mieux caractériser la qualité des eaux de surface et souterraines de la moyenne et la basse Seybouse, ses variations dans l'espace et dans le temps afin de contribuer à la connaissance du système de point de vue pollution anthropique et naturelle.

Les nombreux travaux réalisés dans la région (Hannouche M., 1990, Khérici N., 1993, Djabri L., 1996, , Debièche., 2002, Hani A.,2003, Brahmia N., 2009, Khadri S 2009, Mouchara N.,2009...) ont permis de suivre l'hydrochimie des eaux de la basse et la moyenne Seybouse. Cette étude a été menée afin de contrôler l'état actuel du chimisme des eaux, son évolution dans le temps et l'espace, en fonction de la variation des paramètres physico-chimiques de l'eau.

Dans le cadre de ce travail notre étude est faite dans les secteurs qui semblent être les plus sujettes à la pollution dans la plaine d'Annaba (Arcelor Métal Steal et l'oued Méboudja...) et la plaine de Guelma (les effluents des zones industrielles).

V.2.1. La plaine d'Annaba.

V.2.1.1. Echantillonnages, méthodes d'analyse (fig. 28).

Les échantillons destinés aux analyses physico chimiques sont prélevés dans des flacons en plastiques à partir des points d'eaux pendant la période de Mars 2009. Ces flacons sont rincés à l'eau distillée et égouttés avant d'être rincés plusieurs fois et remplis par l'eau à analyser.

Les échantillons sont prélevés selon une répartition qui couvre toute la zone d'étude : Vingt-deux (22) échantillons ont été prélevés durant la période de Février 2009 et se répartissant comme suit :

- Onze (11) échantillons pour les eaux de surface (six au niveau de l'oued Seybouse et cinq points localisés sur ses affluents dont trois sur la Méboudja). Les points prélevés se situent à l'entrée ou la sortie d'une zone industrielle ou agricole.
- Onze (11) échantillons caractérisant les eaux de la nappe superficielle, les prélèvements sont serrés dans les zones industrielles.

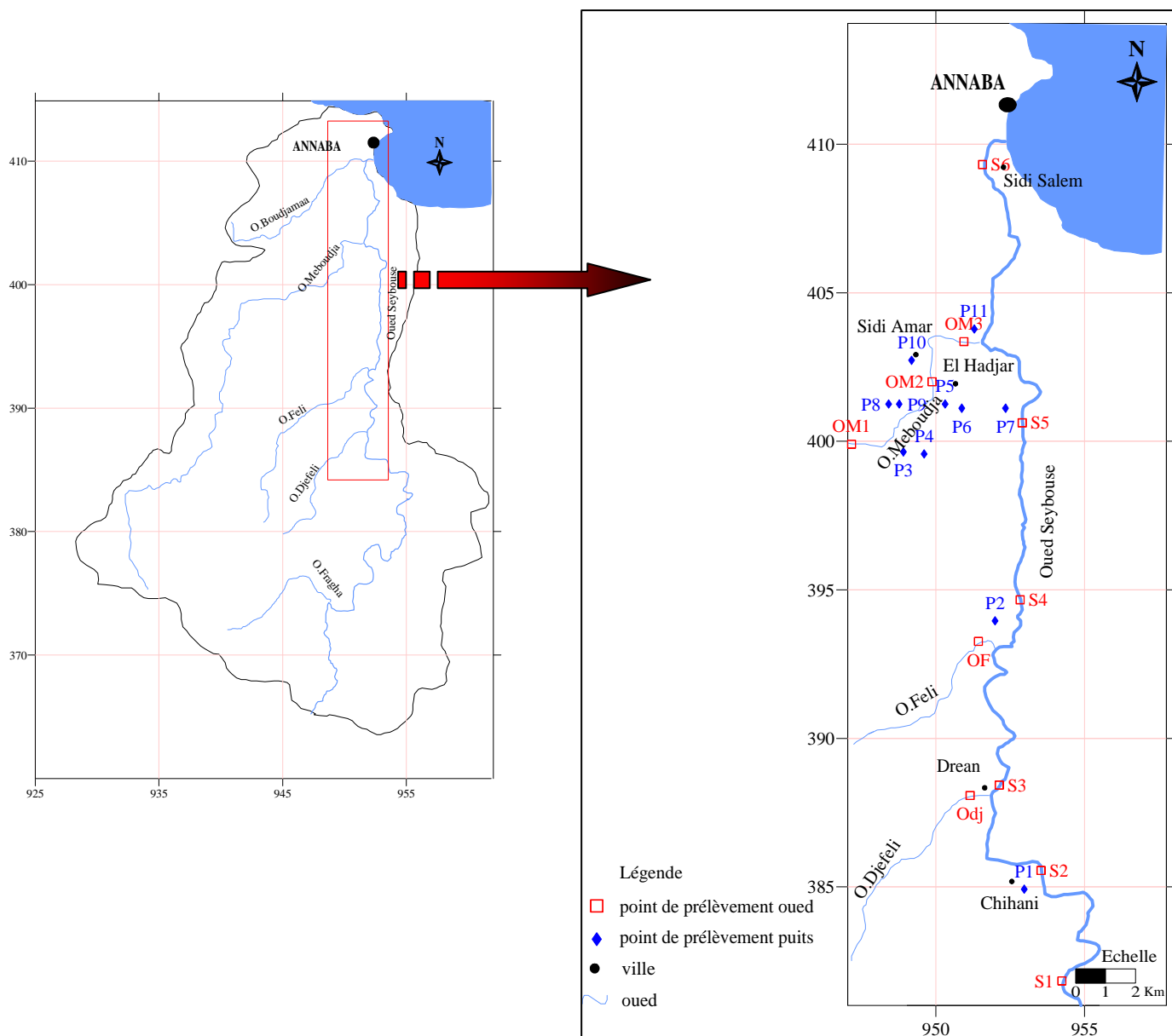


Fig. 28. Carte d'inventaire des points de prélèvement (plaine d'Annaba).

V.2.1.1.1. Mesures in situ.

Quatre paramètres physico-chimiques (T, PH, Eh et conductivité) sont mesurés in situ directement après le prélèvement des échantillons à l'aide d'un appareil multi paramètres de marque WTW.

Les analyses effectuées ont porté sur les paramètres physico chimiques suivants : la température (T), le potentiel d'hydrogène (pH), conductivité électrique (CE), le potentiel Redox (Eh), les éléments majeurs (Ca, Mg, Na, K, SO_4 , HCO_3 , Cl) et les métaux lourds (Cr, Pb, Fe total, Cu et Ni) et les paramètres organiques (PO_4 , NO_3 , NO_2 , NH_4).

V.2.1.2. Interprétations des résultats selon le diagramme de Piper :

V.2.1.2.1. Faciès chimiques des eaux :

Le diagramme de piper permet la visualisation d'un grand nombre d'analyse et de suivre l'évolution de chimisme de la nappe et des eaux superficielles.

V.2.1.2.1.1. Les eaux de surface (fig. 29).

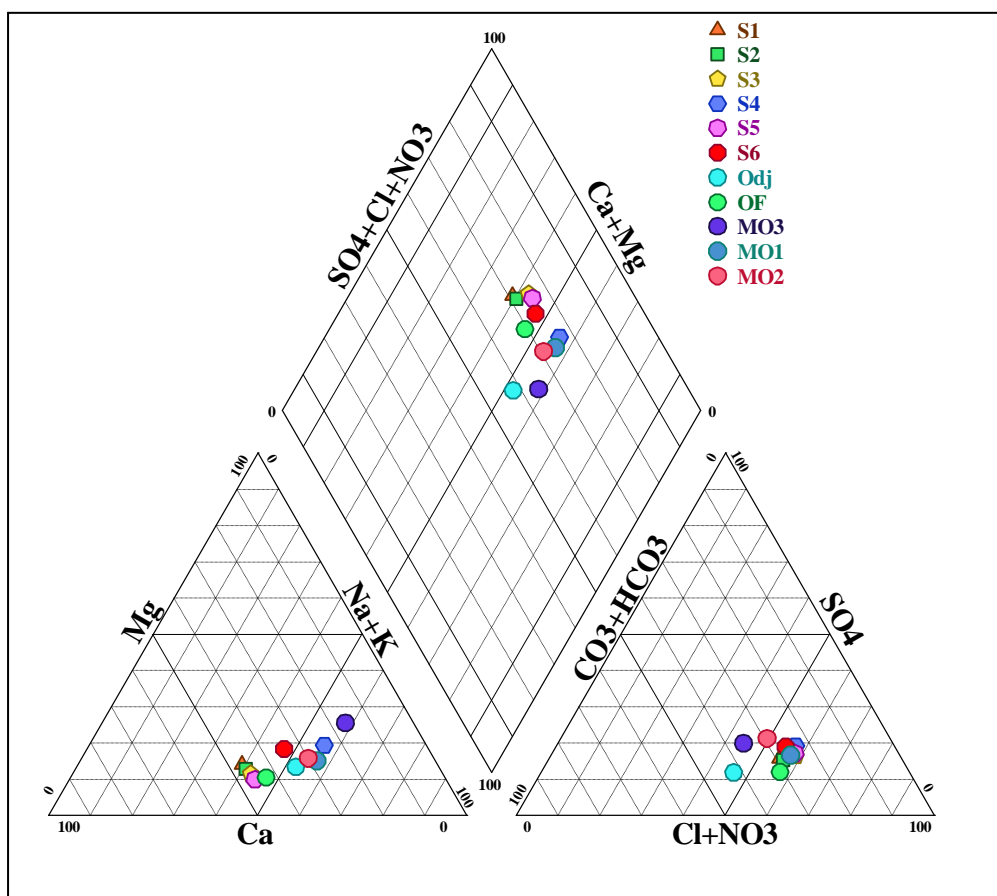


Fig. 29. Faciès chimiques des eaux de surface de la basse Seybouse selon le diagramme de Piper (Février 2009).

Le report de onze (11) échantillons prélevés dans les oueds sur le diagramme de piper montre deux familles : l'une pour les eaux de l'oued Seybouse caractérisée par des eaux chlorurées calciques à sulfatées calciques. Ce faciès indique une dissolution évaporitique riche en sels et en gypses. Par contre la deuxième famille

représente des eaux chlorurées sodiques caractérisant les eaux des affluents de l'oued Seybouse.

V.2.1.2.1.2. Les eaux souterraines (fig. 30).

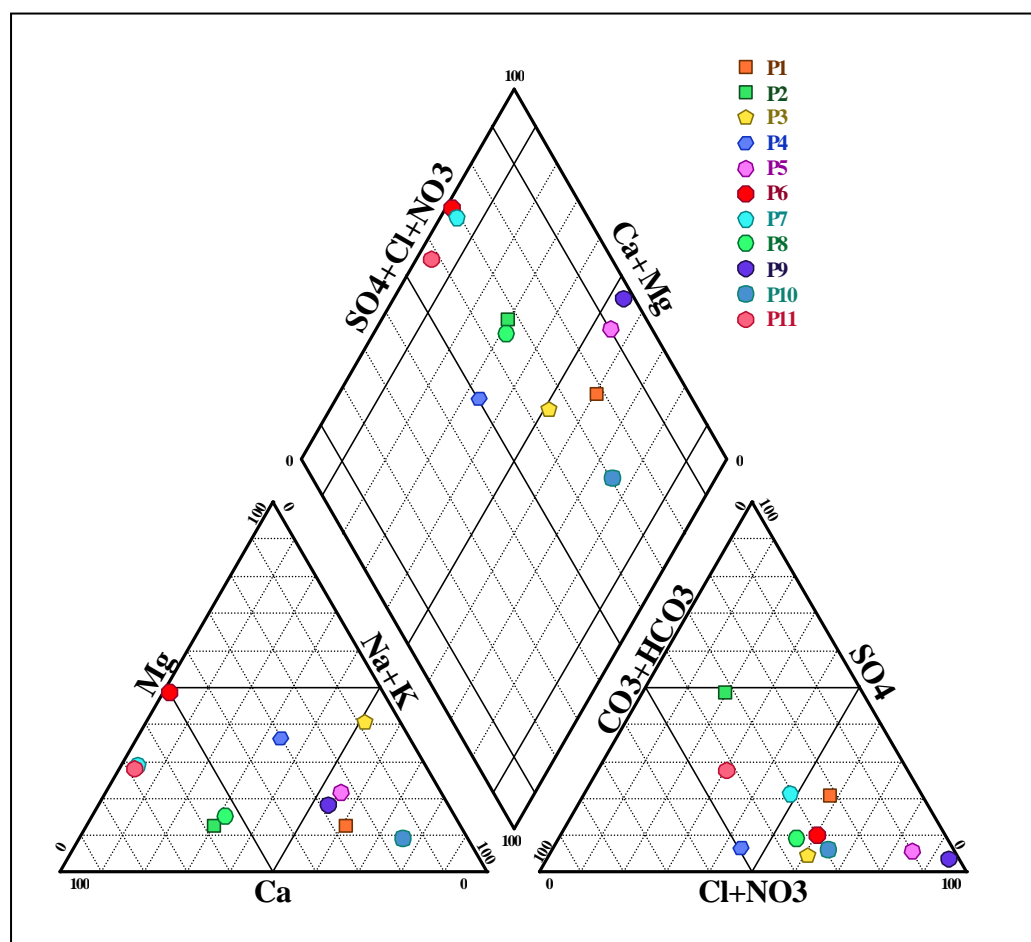


Fig. 30. Faciès chimiques des eaux souterraines (la nappe superficielle) de la basse Seybouse selon le diagramme de Piper (Février 2009).

Le diagramme de piper des eaux souterraines montre une grande variabilité du faciès chimique. Ces derniers apparaissent comme suit:

- Faciès chloruré sodique: se manifestant au niveau des puits (P9, P1, P5, P3, P10). Ce faciès indique une dissolution évaporitique riche en sels, cela est dû à l'existence des lentilles évaporitiques.

- Faciès chloruré calcique ou sulfaté calcique: Ce faciès se rencontre au niveau des puits (P2, P8, P6, P7, P11). En général, les eaux de ce faciès sont issues des formations marneuses, argileuses et gréseuses.

- Faciès bicarbonaté calcique se trouve au niveau du puit P4, dû à la dissolution du cipolin du socle métamorphique.

V.2.2. La plaine de Guelma.

V.2.2.1. L'échantillonnage (fig. 31).

La carte ci-dessous représente l'inventaire des points d'eau du système aquifère de la plaine de Guelma. Ces points d'eau sont répartis comme suit:

- neuf (9) points à partir de l'oued Seybouse et ses affluents (Oued Skhoun, Maiz, Zimba et Bou Sorra).
- six (6) puits échantillons caractérisant les eaux de la nappe alluviale de la plaine de Guelma. Ces derniers se localisent au centre de la plaine.

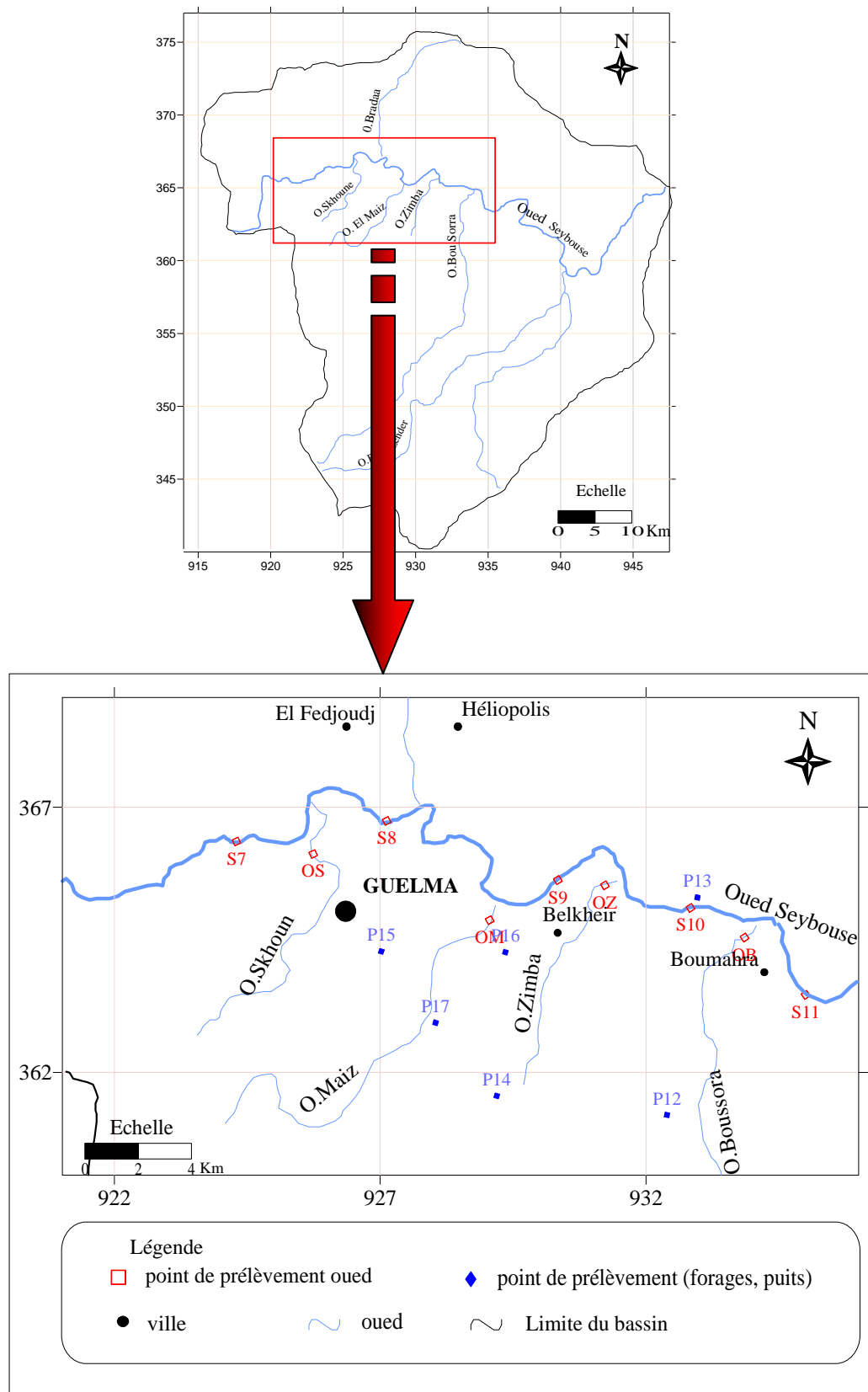


Fig. 31. Carte d'inventaire des points de prélèvement (plaine de Guelma).

V.2.2.2. Interprétations des résultats selon le diagramme de Piper.

V.2.2.2.1. Les eaux de surface (fig. 32).

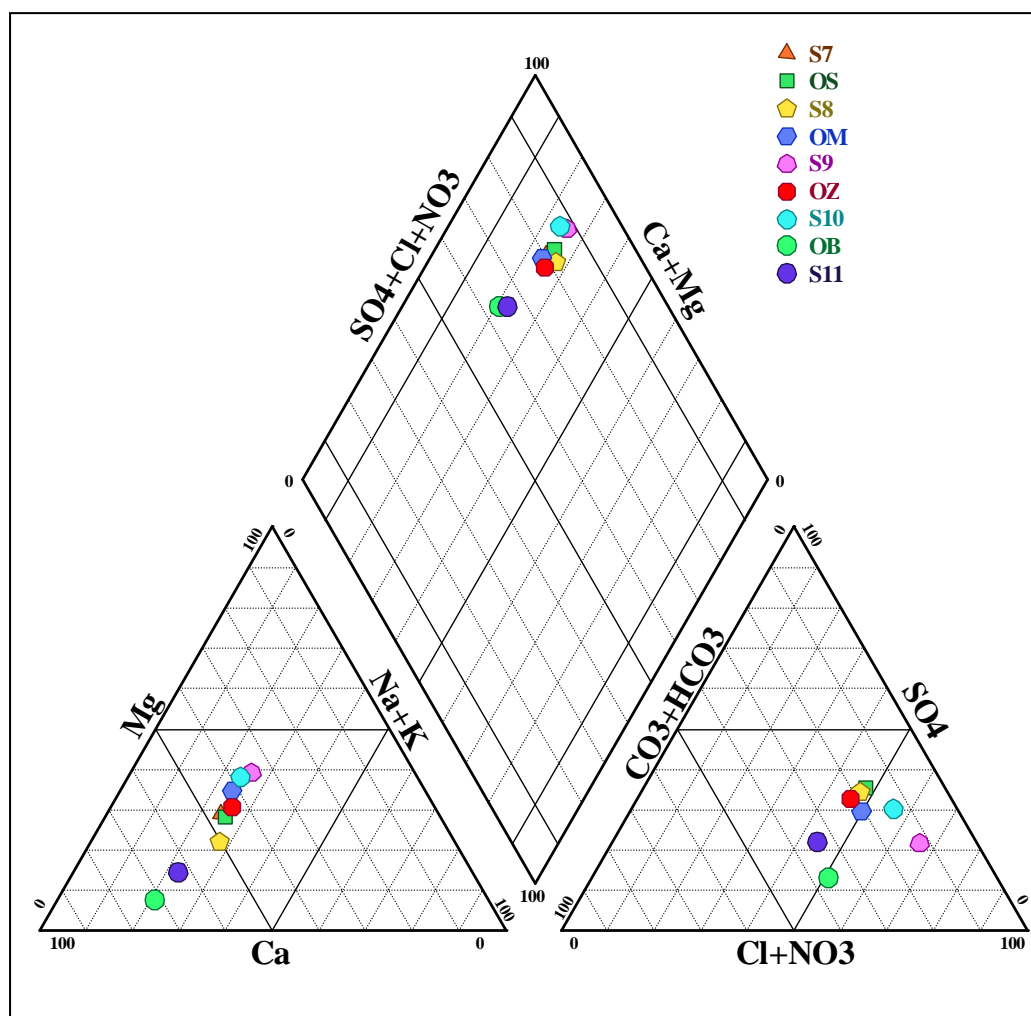


Fig. 32. Faciès chimiques des eaux de surface de la moyenne Seybouse selon le diagramme de Piper (Février 2009).

Les résultats selon le diagramme de Piper nous donnent un faciès Chloruré Calcique. Ce faciès est marqué dans les points prélevés à partir de l'oued Seybouse (S7, S8, S9, S10, S11) et ses affluents (OS, OM, OZ, OB), il indique une dissolution des roches évaporitiques riches en sels et en gypses.

V.2.2.2.2. Les eaux souterraines (fig. 33).

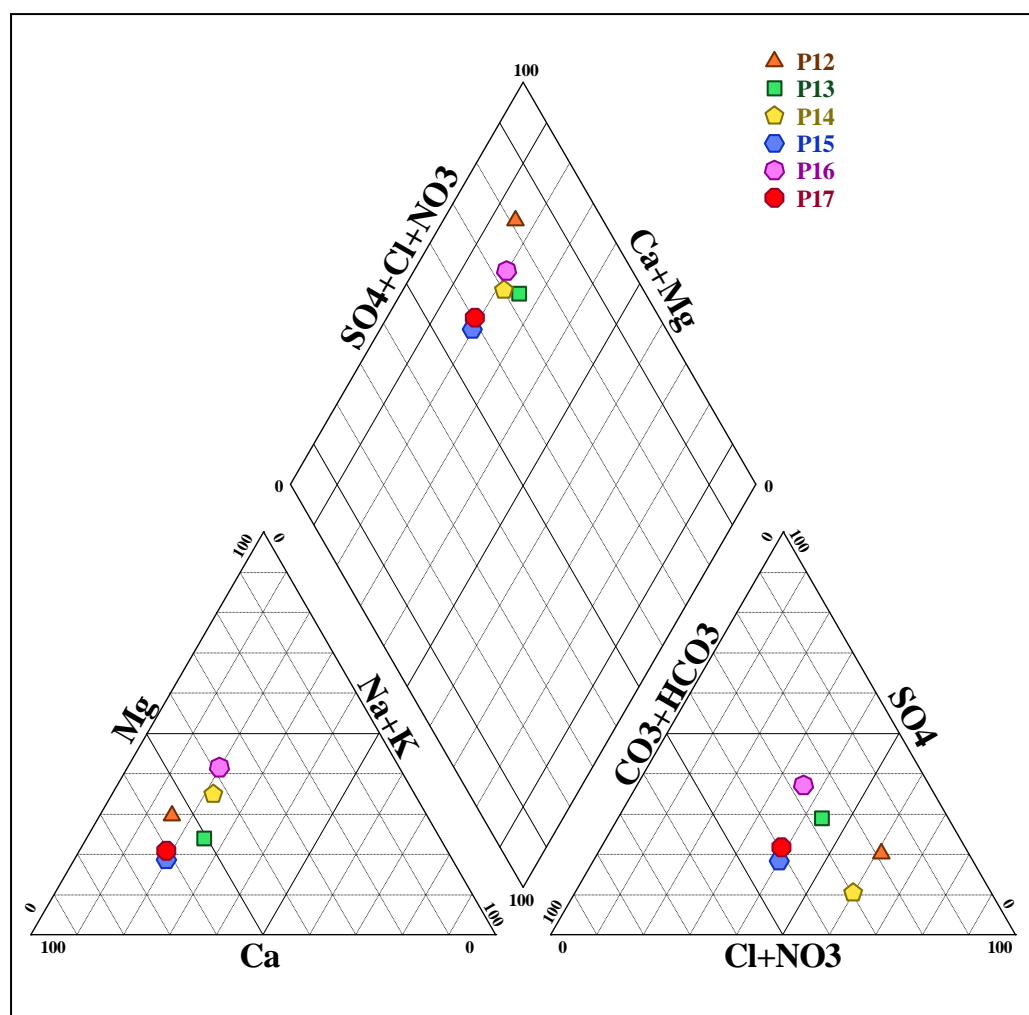


Fig. 33. Faciès chimiques des eaux souterraines (la nappe alluviale) de la moyenne Seybouse selon le diagramme de Piper (Février 2009).

D'après le diagramme, on distingue :

- Faciès Chloruré Calcique: Se manifeste au niveau des puits (P12, P13, P14). Ce faciès indique une dissolution évaporitique riche en sels et en gypse.
- Faciès bicarbonaté calcique: Proviens des puits (P15, P17). Ce faciès indique la présence des calcaires travertineux qui sont à l'origine du Calcium et du Bicarbonate.
- Faciès sulfaté magnésique: Ce faciès se rencontre au niveau du puit P16, il provient des formations gypsifères qui forment le seul séparant des terrasses de la vallée ancienne et celle de la vallée actuelle.

V.3. Evolution des éléments lourds et nutritifs.

La pollution la plus dangereuse provient des métaux lourds et des éléments nutritifs. Au niveau de la basse et moyenne Seybouse, les eaux contiennent les teneurs variables.

Nous disposons des analyses chimiques des eaux de surface et souterraines effectuées dans la région d'étude.

Nous ne prendrons en compte que certains métaux lourds et nutriments des eaux de surface et souterraines.

V.3.1. Evolution spatio-temporelle des métaux lourds et nutriments dans la plaine d'Annaba.

Les concentrations de ces éléments dans l'eau, varient d'un endroit à un autre au cours de l'année dans l'espace et le temps.

Les variations des métaux lourds et les nutriments, de trois campagnes (Décembre 1989- Février 1999- Février 2009) sur les mêmes points de prélèvements ont permis de constater une évolution spatiale et temporelle.

V.3.1.1. Evolution spatiale des éléments lourds et nutriments.

Les teneurs en métaux lourds dans les eaux de la nappe superficielle et les eaux de l'oued Seybouse et ses affluents sont variables d'un point à un autre. Les figures qui suivent illustrent ces variations en fonction de l'espace.

V.3.1.1.1. Evolution spatiale des nutriments.

V.3.1.1.1.1. Evolution spatiale de la teneur en phosphates (fig. 34).

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

Dans les eaux souterraines la variation de la teneur en phosphates reste faible (0 à 2.5 mg/l) et sont en dessous de la norme de potabilité 5 mg/l (OMS, 2006).

Dans les eaux de l'oued Seybouse et l'oued Meboudja, les concentrations sont faibles. Tandis que dans les eaux de l'oued Djefli et l'oued Feli les teneurs sont fortes (10 mg/l) et dépassent les normes.

V.3.1.1.1.2. Evolution Spatiale de la teneur en nitrite (fig. 35).

Considéré comme un élément toxique, le nitrite est la forme la moins stable dans le cycle de l'azote. Il est issu de la réduction de l'ammonium NH_4 . Son origine est liée à l'agriculture ou aux rejets urbains et industriels.

Le nitrite est présent dans la nappe superficielle en dessous de la norme (0.1 mg/l), ainsi que dans les puits P3 et P11 où la teneur atteint 0.38 mg/l. Ces puits se localisent dans des terrains agricoles.

Dans l'oued Meboudja cet élément marque des teneurs élevées avec une valeur maximale de 1.2 mg/l au point OM1.

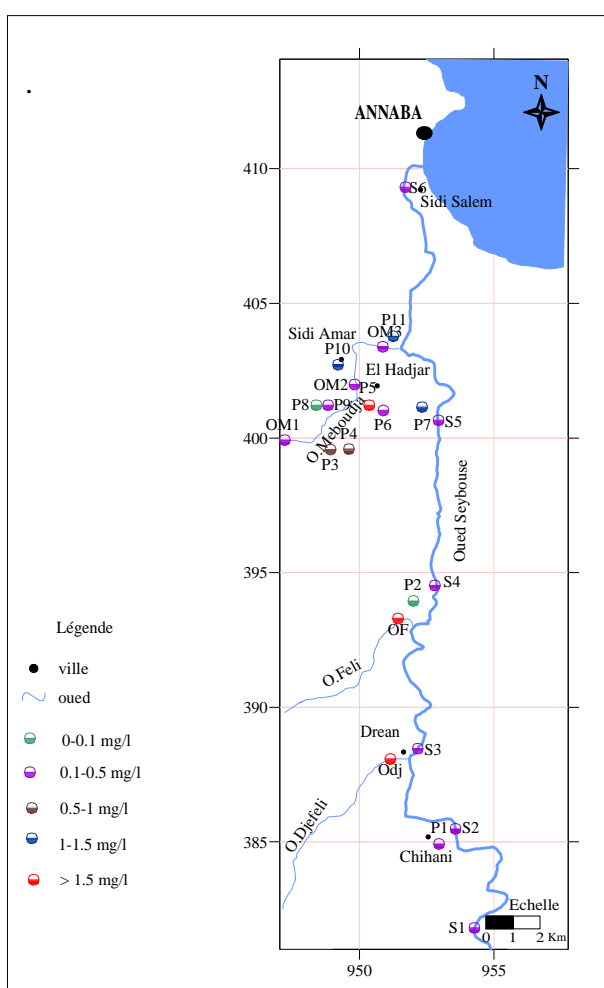


Fig.34. Carte de l'évolution des phosphates dans la plaine de Annaba (Février 2009).

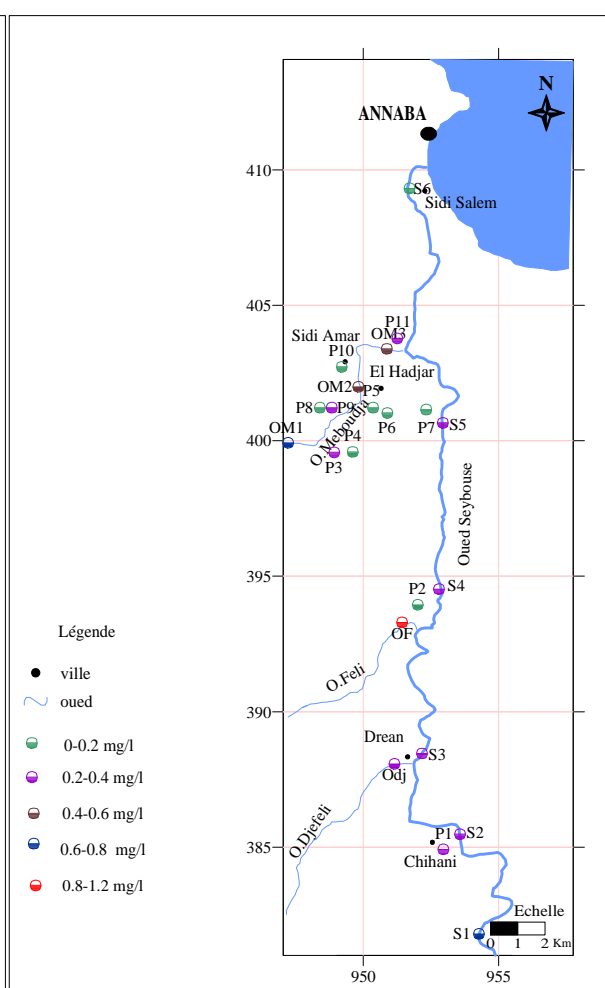


Fig.35. Carte de l'évolution des nitrites dans la plaine de Annaba (Février 2009).

V.3.1.1.1.3 Evolution spatiale des nitrates (fig. 36) .

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote. C'est une forme très soluble et sa présence est liée à l'utilisation intensive des engrais chimique. Sous cette forme, l'azote est un sel nutritif utilisable par la majorité des végétaux.

La teneur maximale est observée au niveau des points S4 et S6 avec 14.5 mg/l et les concentrations sont faibles dans la plus part des points (0 à 4 mg/l). Les valeurs au niveau de l'oued Seybouse et ses affluents sont inférieures aux normes (50 mg/l).

V.3.1.1.1.4. Evolution spatiale de l'ammonium (fig. 37).

C'est la forme d'azote la plus toxique. Sa présence dans l'eau est liée aux rejets urbains et industriels. La teneur maximale est observée au niveau de l'oued Meboudja (10mg/l au point OM3). Par contre, au niveau de l'oued Seybouse, les concentrations sont faibles et n'atteignent pas les normes (1 mg/l).

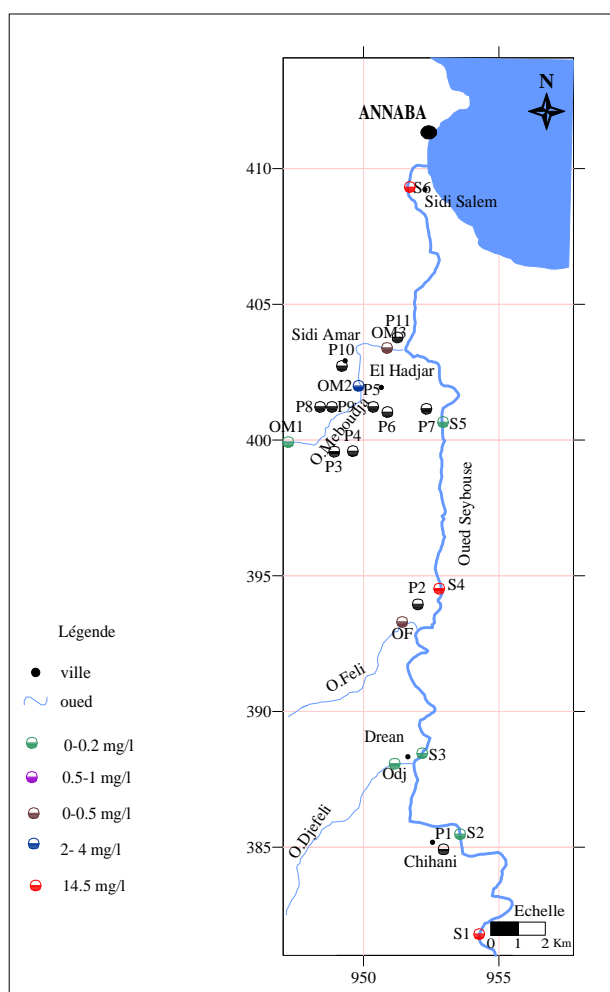


Fig.36. Carte de l'évolution des nitrates dans la plaine de Annaba (Février 2009).

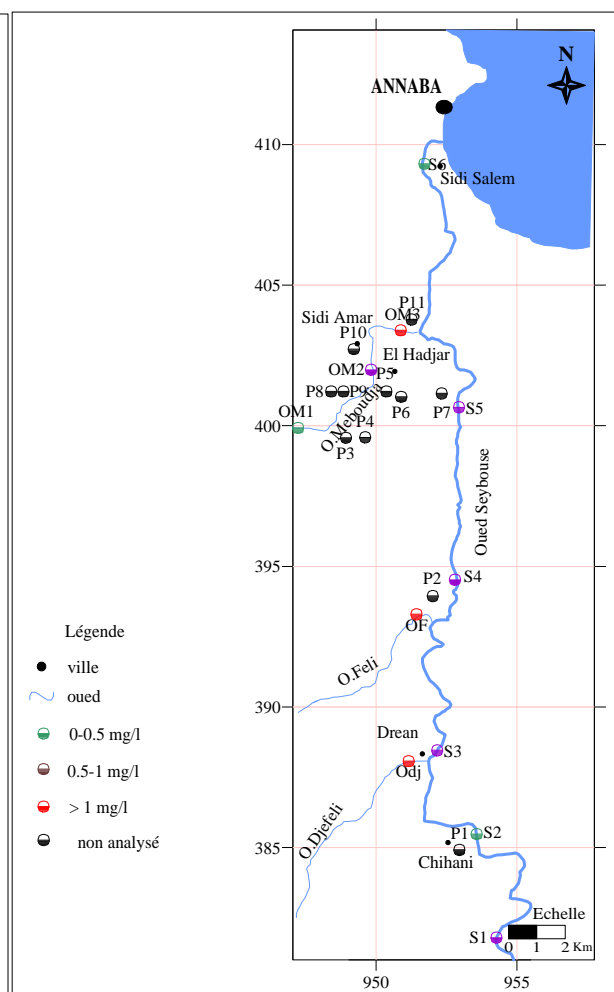


Fig.37. Carte de l'évolution de l'ammonium dans la plaine de Annaba (Février 2009).

V.3.1.1.2. Evolution spatiale des métaux lourds.

V.3.1.1.2.1. L'évolution spatiale du Fer (fig. 38).

La présence du fer dans l'eau peut avoir diverses origines soit naturelle par le lessivage des formations argileuses, soit industrielle (rejets). Les plus faibles valeurs sont marquées au niveau des eaux de la nappe superficielle (0.01 à 0.03 mg/l) sauf au puit P1 où la concentration du fer est égale à 0.97 mg/l. Par contre au niveau des eaux de surface les valeurs sont plus élevées avec des teneurs importantes dans l'oued Meboudja (0.42 à 4.1 mg/l) que celles de l'oued Seybouse (0 à 0.67 mg/l).

V.3.1.1.2.2. Evolution spatiale de cuivre (fig. 39).

La présence de cuivre dans l'eau est liée à l'industrie. Il est employé dans les alliages (laiton, bronze,), l'industrie électrique, la galvanoplastique ainsi que dans les traitements agricoles. Les concentrations en cuivre observées dans les eaux de surface et souterraines sont faibles, elles varient entre 0 et 0.18 mg/l et ne dépassent pas les normes préconisées par l'OMS (1 mg/l).

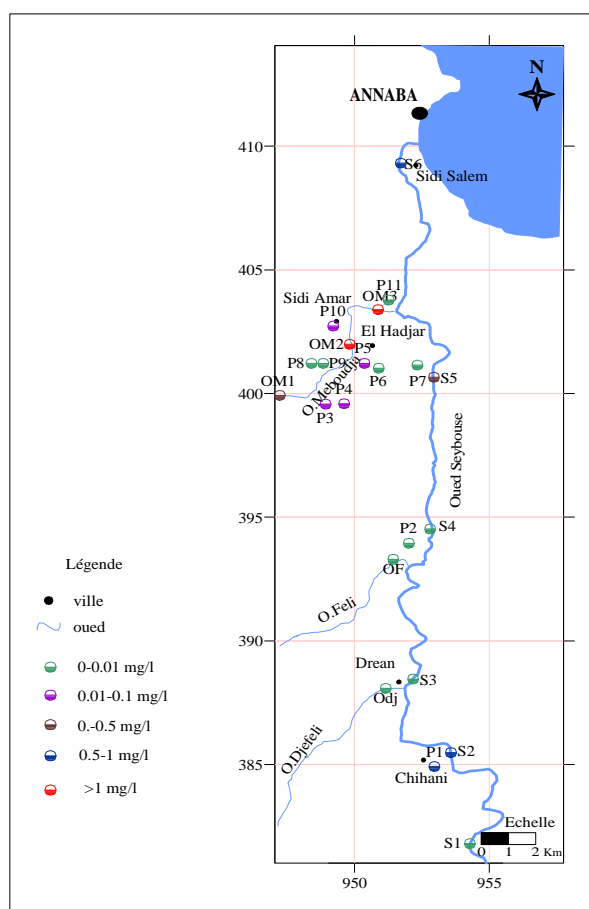


Fig. 38. Carte d'évolution du fer dans la plaine de Annaba (Février 2009).

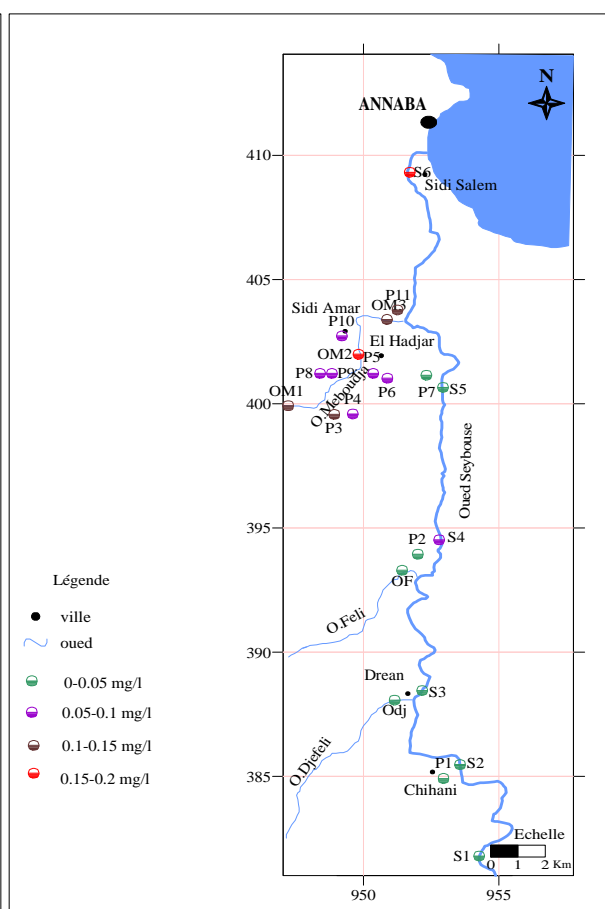


Fig. 39. Carte d'évolution du cuivre dans la plaine de Annaba (Février 2009).

V.3.1.1.2.3. Evolution spatiale de Plomb (fig. 40).

Le plomb se présente sous la forme de sulfures (galène), de carbonates (cérusite) et phosphates (pyrophosphite). Dans l'industrie, on le trouve dans la fabrication des accumulateurs acides, de la soudure et des pigments. Les concentrations en Plomb dans les eaux de l'oued Meboudja, sont très élevées et dépassent les teneurs correspondant aux normes des eaux (0.25 mg/l). La teneur la plus élevée est observée au point OM2 où elle atteint une valeur maximale de 0.5 mg/l

Dans les eaux souterraines, les teneurs observées aux puits P3, P4, P5, P6 et P10 sont élevées et supérieures aux normes (0.05 mg/l) et varient de 0.05 à 0.07 mg/l.

V.3.1.1.2.4. Evolution spatiale de zinc (fig. 41).

Dans l'industrie, le zinc est employé dans la galvanisation ainsi que dans la fabrication des pigments pour la teinture. Les concentrations en zinc au niveau de la nappe superficielle varient de 0 à 0.1mg/l et dans les eaux de surface de 0 à 0.04 mg/l, se trouvent faibles dans tous les points de mesure sauf au puit P10 avec une valeur de 2 mg/l.

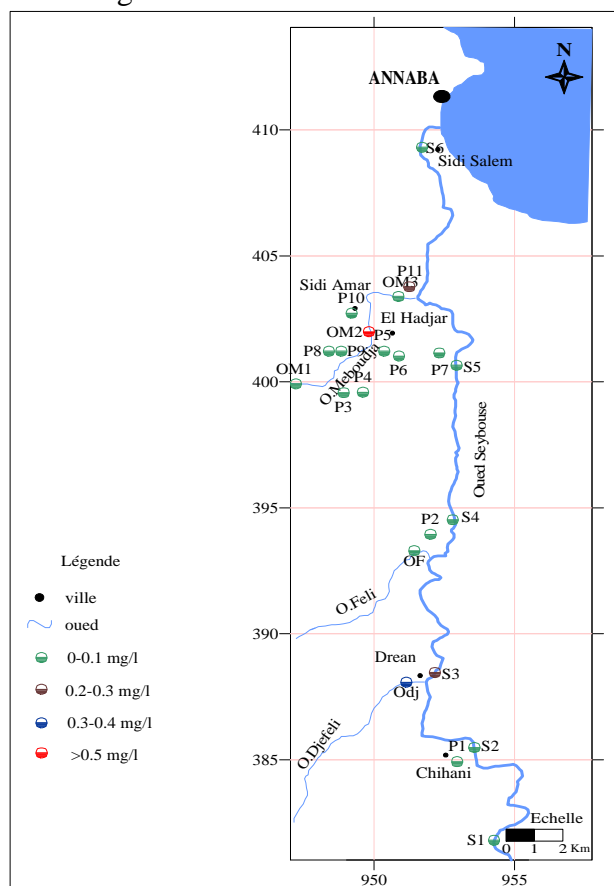


Fig.40. Carte d'évolution du Plomb dans la plaine d'Annaba (Février 2009).

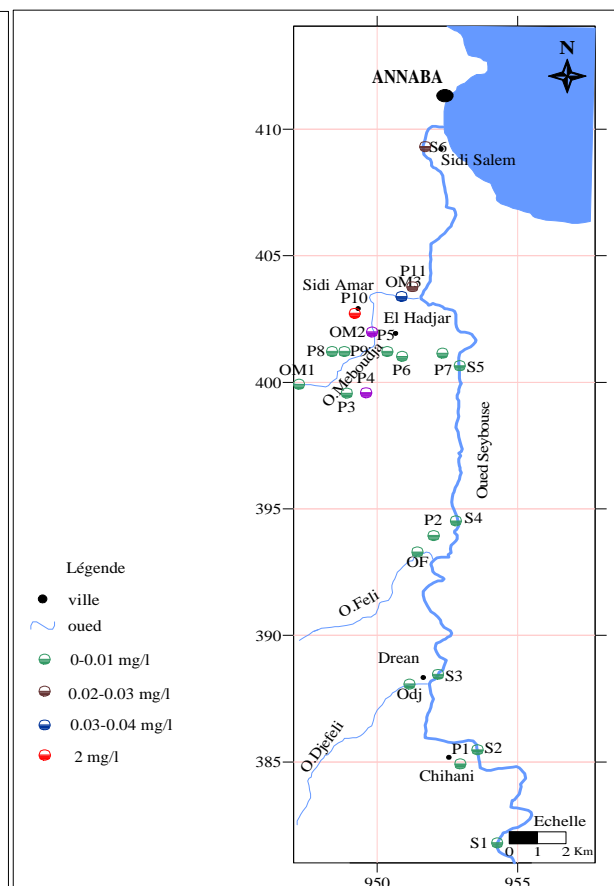


Fig.41. Carte d'évolution du zinc dans la plaine Annaba (Février 2009).

V.3.1.2. L'évolution temporelle des nutriments et métaux lourds dans la plaine d'Annaba.

Pour évaluer les concentrations en éléments traces métalliques dans les eaux de surface (S4, S5, S6, OM1, OM2, OM3) et dans les eaux de la nappe superficielle (P4, P6, P8, P9, P10 et P11), on a essayé de suivre l'évolution temporelle des ions chimiques sur des périodes différentes (Décembre 1989, Février 1999 et Février 2009)

V.3.1.2.1. Evolution temporelle des nutriments.

V.3.1.2.1.1. Evolution des phosphates dans le temps (fig. 42).

Dans les eaux de surface, les fortes concentrations se localisent au niveau de l'oued Meboudja mais restent inférieures à la norme pour les trois périodes.

Dans les eaux souterraines, on observe que les teneurs en phosphates sont plus importantes durant la période de février 2009 par rapport aux deux autres périodes.

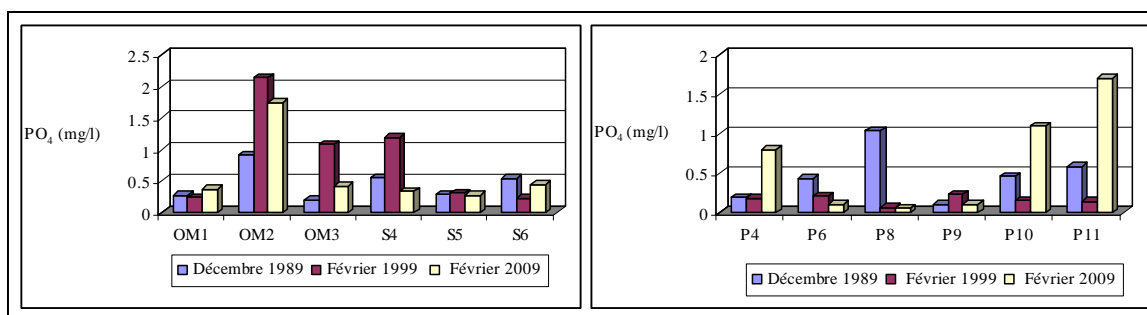


Fig. 42. Carte d'évolution temporelle des phosphates (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Annaba.

V.3.1.2.1.2. Evolution temporelle des nitrites (fig. 43).

Dans les eaux de surface, les teneurs en nitrites sont fortes, dépassant la norme (0.1mg/l) durant la période de février 1999 où elles atteignent 3 mg/l pour les stations OM2, OM3 et S4 puis on observe une chute significative durant la période de février 2009. Dans les eaux souterraines, on observe une augmentation brutale dans les puits P10 et P11 et une chute significative au puits P4.

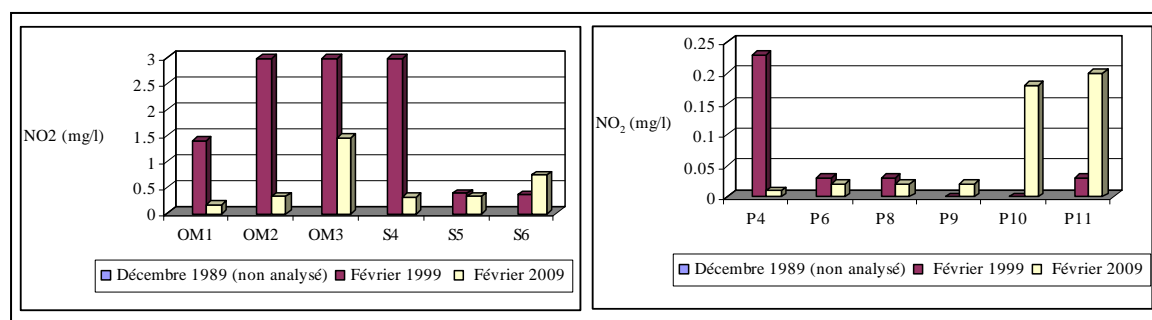


Fig.43. Carte d'évolution temporelle des nitrites (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Annaba.

V.3.1.2.2. Evolution temporelle des métaux lourds.

V.3.1.2.2.1. Evolution temporelle du fer (fig. 44).

Selon les profils de la concentration en fer en fonction de la période (1989,1999 à 2009); nous constatons de faibles teneurs au niveau des eaux souterraines qui restent inférieures à la norme pour les trois périodes et atteignent son maximum en Février 1999.

Pour les eaux de surface la concentration en fer est augmentée au cours du temps sauf au point S4 où la teneur en fer a diminuée en Février 2009 par rapport à celles de Décembre 1989 et Février 1999.

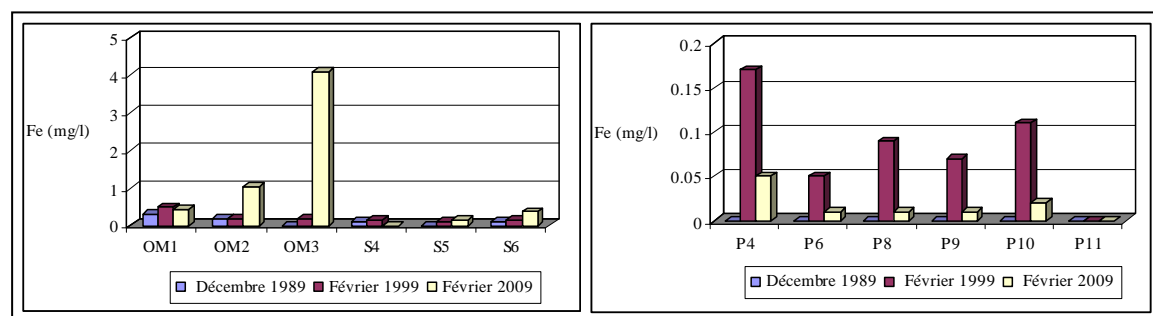


Fig.44. Carte d'évolution temporelle du Fer (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Annaba.

V.3.1.2.2.2. Évolution temporelle du Manganèse (fig. 45).

D'après l'histogramme ci-dessous, on observe que les concentrations de manganèse au niveau de l'oued Meboudja augmentent.

Au niveau de la nappe les teneurs en manganèse sont nulles en Décembre 1989 puis augmente dans la période de février 1999 et Février 2009 sauf le puit P11 où la teneurs de manganèse reste nulle au cours de temps.

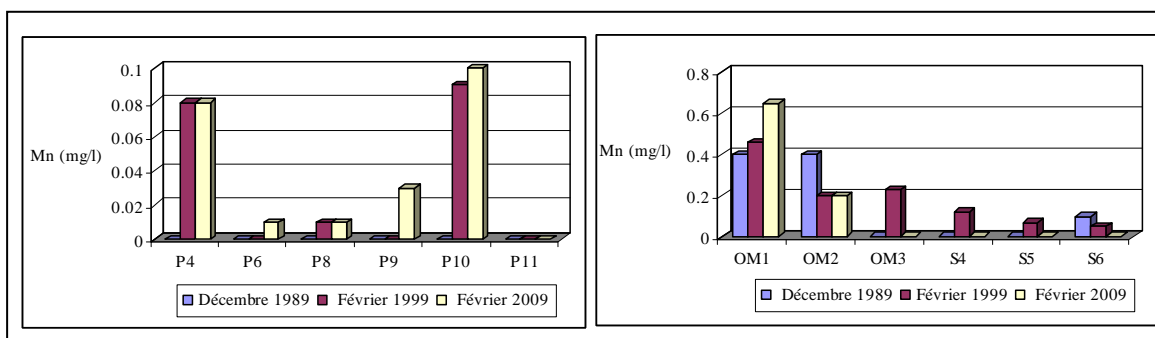


Fig.45. Carte d'évolution temporelle du manganèse (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Annaba.

V.3.1.2.2.3. Évolution temporelle du Zinc (fig. 46).

D'après la figure ci-dessous, on observe que les concentrations en zinc dans les eaux de surface sont plus importantes durant la période de décembre 1989 que celles de février 2009.

Dans les eaux souterraines, l'évolution de zinc est insignifiante sauf pour le puit P10 où nous constatons une diminution remarquable durant les périodes de février 1999 et février 2009 par rapport la période de décembre 1989.

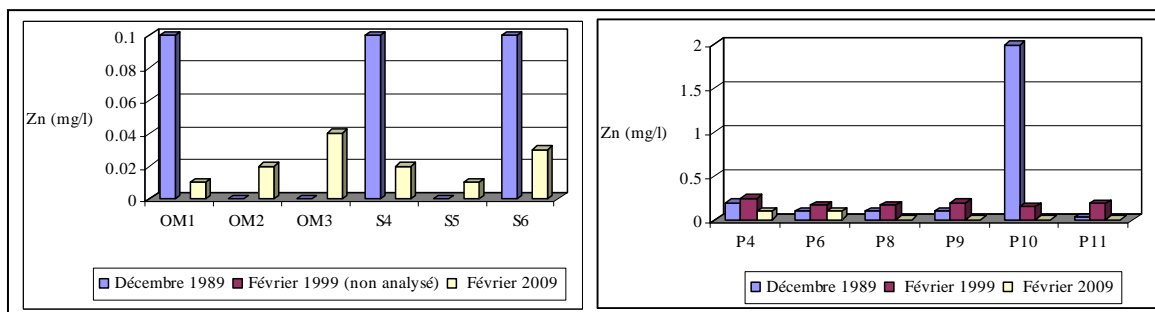


Fig.46. Carte d'évolution temporelle du zinc (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Annaba.

V.3.1.2.2.4. Évolution temporelle du Cuivre (fig. 47).

Selon les histogrammes, on constate que les teneurs en cuivre sont nulles pour la période de Décembre 1989 (eaux de surface) et Février 1999 (eaux de surface et souterraines).

Pour la période de février 2009, les teneurs en cuivre restent inférieures à la norme (1mg/l) dans tous les points.

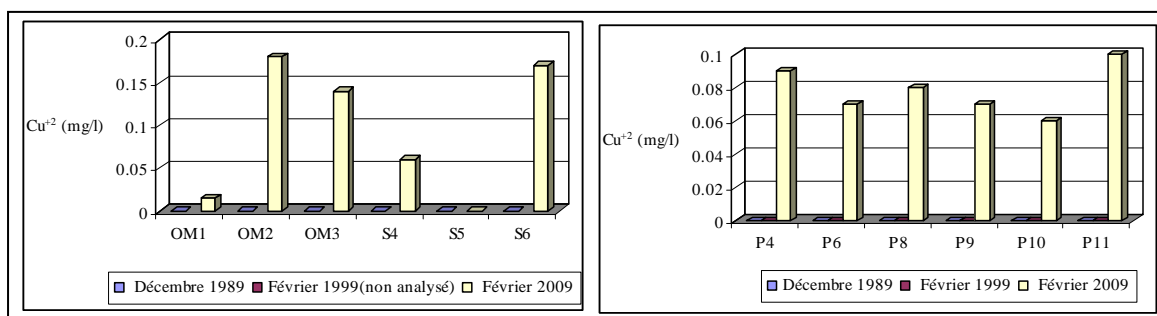


Fig.47. Carte d'évolution temporelle du cuivre (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Annaba.

V.3.1.2.5. Évolution temporelle du Plomb (fig. 48).

Dans les eaux de l'oued Seybouse, on constate l'absence des teneurs en plomb sauf au point S4 où elles atteignent 0.1 mg/l durant la période de décembre 1989 alors que les teneurs dans eaux de l'oued Meboudja augmentent au mois de février 2009.

Pour les eaux de la nappe (P4, P6, P9) les concentrations tendent à diminuer au mois de février 2009).

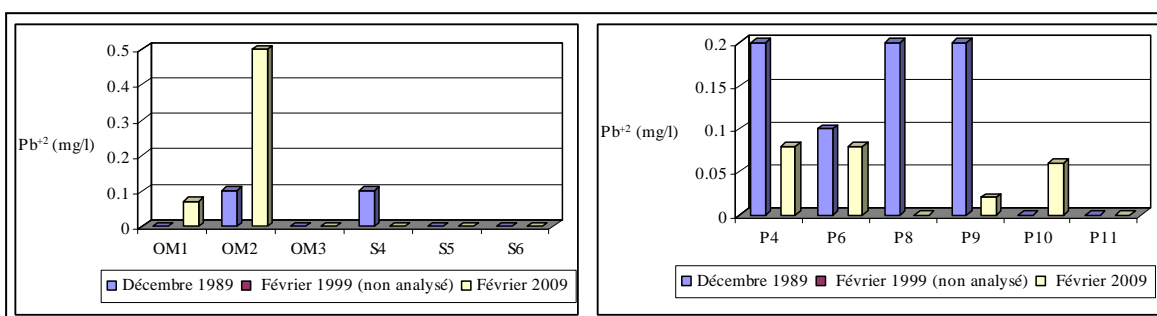


Fig.48. Carte d'évolution temporelle du Plomb (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Annaba.

V.3.2. Evolution spatio-temporelle des éléments lourds et des nutriments dans la région de Guelma.

Les variations des éléments lourds et des nutriments des trois campagnes (Février 1990, station de Medjez Ammar -Mars 2001, Ghariche et Madi et février 2009) aux mêmes points de prélèvements ont permis de constater une évolution spatiale et temporelle.

V.3.2.1. Evolution spatiale des éléments lourds et nutriments dans la plaine de Guelma.

V.3.2.1.1. Evolution spatiale des nutriments.

V.3.2.1.1.1. Evolution des phosphates dans l'espace (fig. 49).

Dans les eaux de surface la teneur en phosphate est variable et ne dépasse pas la norme des eaux.

Les concentrations maximales sont observées au niveau de l'oued Maïz, et l'oued Seybouse à la station S8 (3.2 mg/l), les teneurs élevées dans les affluents de la Seybouse sont liées à l'effet des rejets urbains.

Par contre dans les eaux souterraines les valeurs sont faibles et restent inférieurs aux normes admises par l'OMS (5 mg/l).

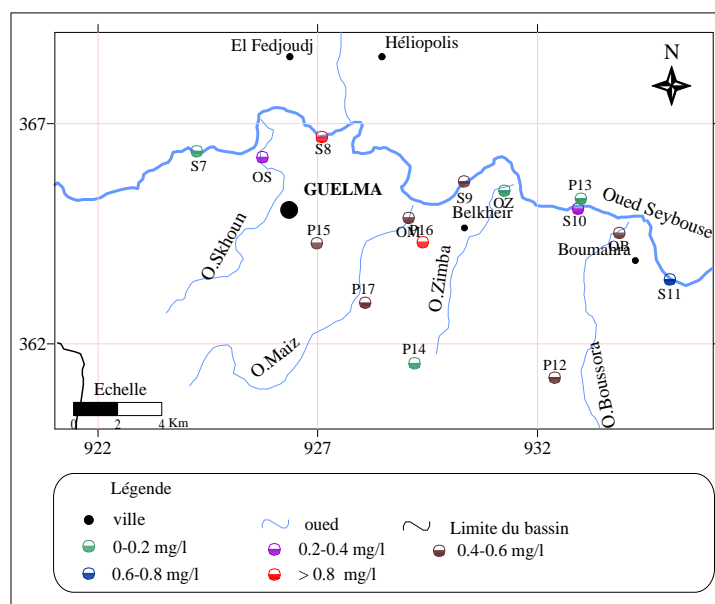


Fig.49. Carte de l'évolution spatiale des phosphates dans la plaine de Guelma (Février 2009).

V.3.2.1.1.2. Evolution des nitrites dans l'espace (fig. 50).

Les valeurs les plus élevées sont observées au niveau de l'oued Seybouse. Elles sont dues à l'effet d'oxydation de la forme ammonium. Dans l'ensemble de la plaine de Guelma les concentrations sont très élevées (0.1 à 1.2 mg/l) et dépassent les normes admises par l'OMS (0.1 mg/l).

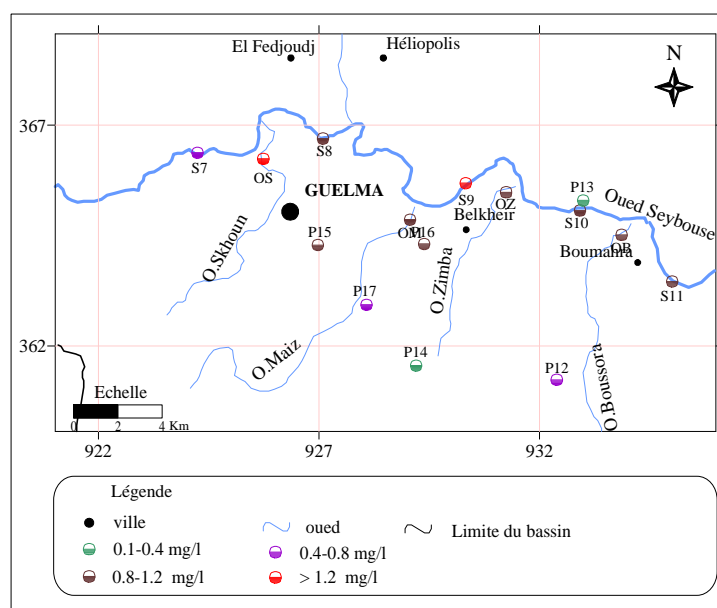


Fig.50. Carte de l'évolution spatiale des nitrites dans la plaine de Guelma (Février 2009).

V.3.2.1.1.3. Evolution des nitrates dans l'espace (fig. 51).

Les concentrations en nitrates au niveau des eaux de l'oued Seybouse sont inférieures à la norme des eaux. Par contre au niveau des eaux souterraines, seules les eaux des puits présentent des teneurs élevées, elles varient entre 1 et 9 mg/l mais restent inférieures à la norme. De ce fait, les eaux de l'oued Seybouse et ses affluents ne peuvent être la source de pollution des eaux de la nappe et les engrais chimiques sont la principale source des nitrates dans les puits.

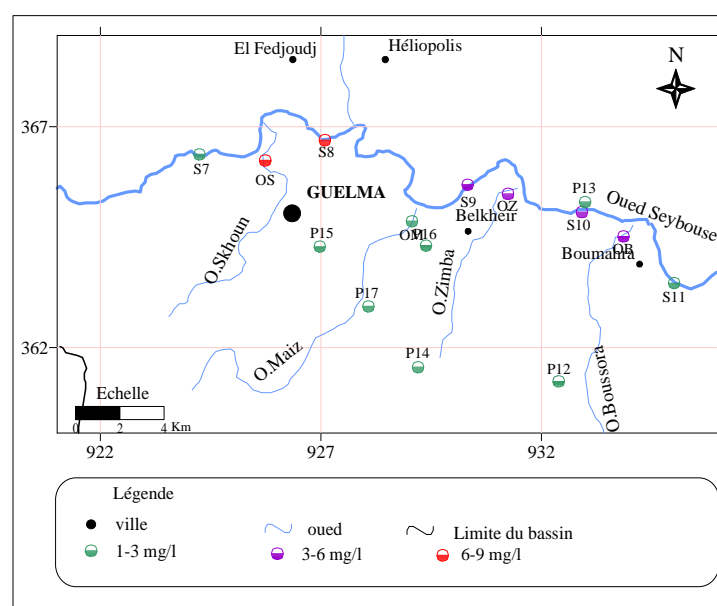


Fig.51. Carte de l'évolution spatiale des nitrates dans la plaine de Guelma (Février 2009).

V.3.2.1.1.4. Evolution de l'ammonium (fig. 52).

Dans les eaux des oueds, les concentrations les plus élevées se localisent au niveau des affluents atteignant 2.7 mg/l à l'oued Maïz et 3.2 mg/l à l'oued Skhoun.

Dans les eaux souterraines, les concentrations sont inférieures à la norme (0.2 mg/l).

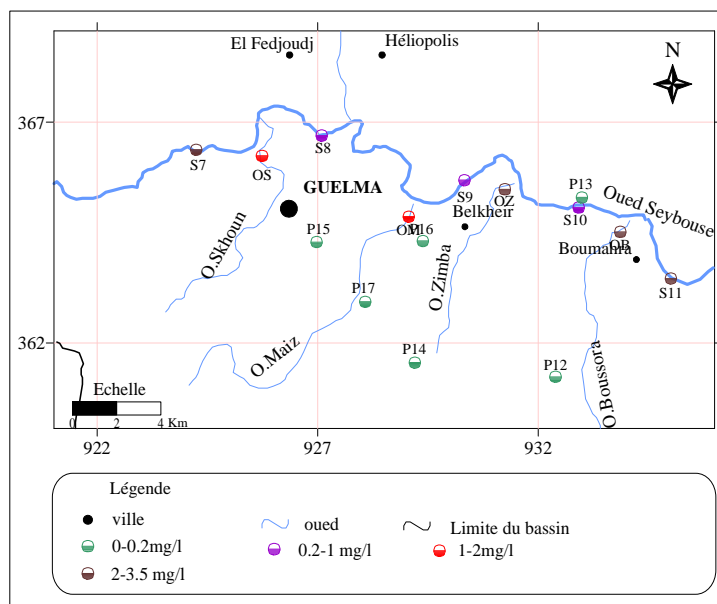


Fig.52. Carte de l'évolution spatiale de l'ammonium dans la plaine de Guelma (Février 2009).

V.3.2.1.2. Evolution spatiale des métaux lourds.

V.3.2.1.2.1. Evolution de cuivre dans l'espace (fig. 53).

Les teneurs en cuivre, dans les eaux de l'oued Seybouse sont faibles et inférieurs à aux normes (1 mg/l). La plus grande teneur, est observée à la station S9 avec 0.1 mg/l). Dans les oueds Maïz et Zimba, on a enregistré respectivement les plus grandes teneurs (0.3 et 0.23 mg/l).

Dans les eaux de la nappe alluviale, les teneurs sont faibles et varient entre 0 à 0.05 mg/l sauf au puits P15 avec 0.09 mg/l.

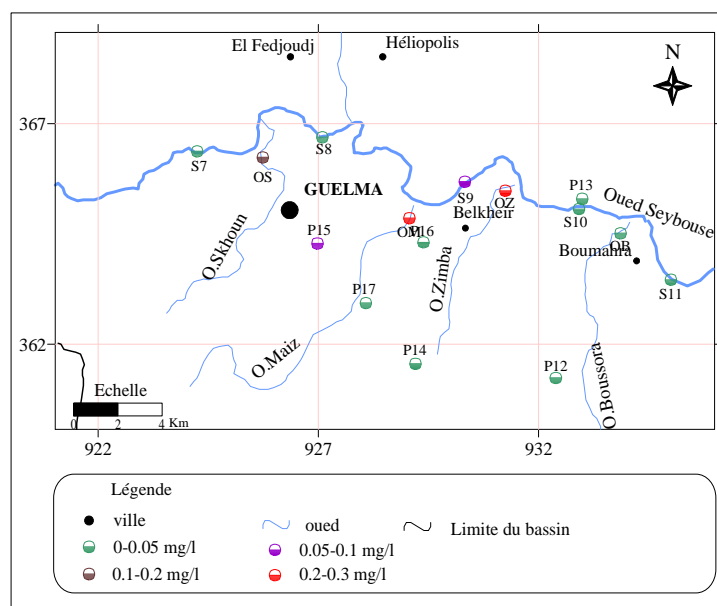


Fig.53. Carte de l'évolution spatiale du cuivre dans la plaine de Guelma (Février 2009).

V.3.2.1.2.2. Evolution du plomb dans l'espace (fig. 54).

Les teneurs en plomb au niveau de l'oued Seybouse sont inférieures aux normes préconisées par l'OMS (0.25 mg/l).

Le plomb se trouve dans les affluents avec des concentrations élevées et excèdent les teneurs correspondant aux normes (0.01 mg/l). Ainsi, la teneur la plus élevée est observée aux points OM et OZ, où elles atteignent respectivement les valeurs 0.28 et 0.32mg/l.

Par contre dans les eaux souterraines les valeurs restent supérieures à la norme (0.01mg/l). Il est probable que ce soit les retombées atmosphériques du plomb qui proviennent des axes routiers qui sont à l'origine de cette pollution combinée avec les apports des rejets des stations de lavage et carburants situées sur les deux rives de l'oued.

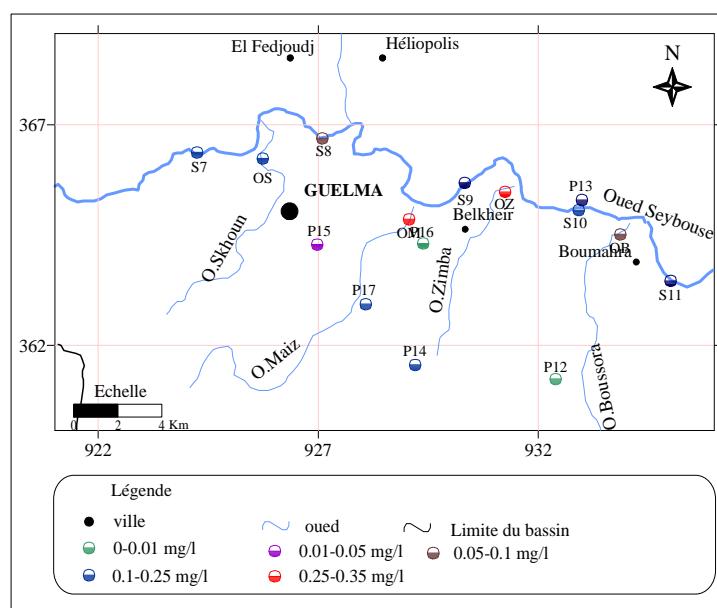


Fig.54. Carte de l'évolution spatiale du plomb dans la plaine de Guelma (Février 2009).

V.3.2.1.2.3. Evolution du Manganèse dans l'espace (fig. 55).

Les concentrations les plus élevées sont observées au niveau des affluents de l'oued Seybouse (Maïz, Zimba et Bou Sorra) avec des concentrations qui atteignent 3.4 mg/l à la station OM au niveau de l'oued Maïz. Cependant, les concentrations des eaux de l'oued Seybouse sont inférieures aux normes des eaux (0.1 mg/l).

Pour les eaux de la nappe, les teneurs varient entre 0 et 0.05 mg/l sauf au puits 14 avec 0.09 mg/l. Ces teneurs sont inférieures à la norme (0.05 mg/l).

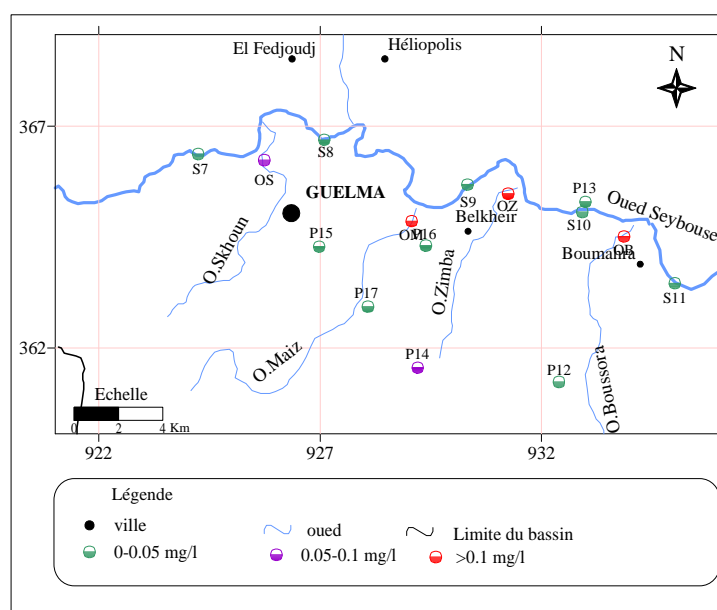


Fig.55. Carte de l'évolution spatiale du manganèse dans la plaine de Guelma (Février 2009).

V.3.2.1.2.4. Evolution du Zinc dans l'espace (fig. 56).

Le zinc est absent au niveau de la majorité des points de l'oued Seybouse avec une valeur maximale de 0.01 mg/l au point OZ. La plus grande valeur pour les eaux des affluents est enregistrée au niveau de l'oued Maïz avec 0.6 mg/l.

Pour les eaux de la nappe, les concentrations sont faibles sauf au puits P14 qui atteint un maximum de 2.5 mg/l.

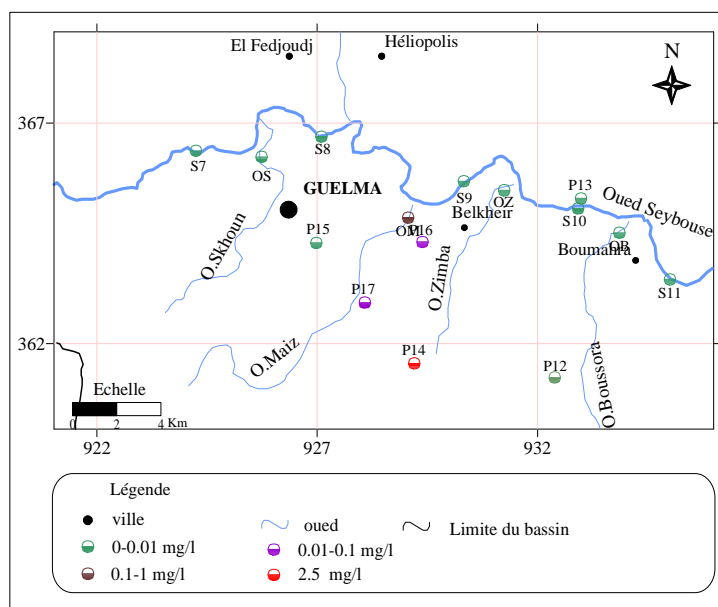


Fig.56. Carte de l'évolution spatiale du zinc dans la plaine de Guelma (Février 2009).

V.3.2.1.2.5. Evolution du Chrome dans l'espace (fig. 57):

Les teneurs en chrome, dans les eaux de l'oued Seybouse et la nappe, sont faibles (0 à 0.02 mg/l) et inférieures à la norme 0.05 mg/l.

La concentration la plus élevée dans les affluents, est observée au point OM situé à l'oued Maïz (0.45 mg/l), l'origine du chrome est industrielle (peinture), il est utilisé dans la fabrication de la faïence.

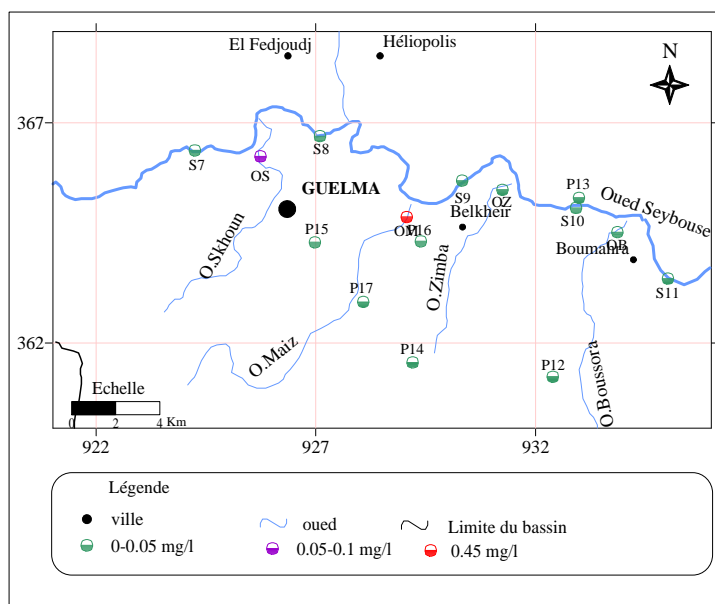


Fig.57. Carte de l'évolution spatiale du chrome dans la plaine de Guelma (Février 2009).

V.3.2.1.2.6. Evolution du Nickel dans l'espace (fig. 58).

La présence du nickel au niveau des eaux de la nappe superficielle est très élevée, Supérieures à la norme (0.07 mg/l) sauf pour les puits P12 et P13 qui restent inférieures avec respectivement 0.03 et 0.06 mg/l.

Par contre au niveau des eaux de surface, les concentrations sont importantes dans l'oued Maïz (0.11 mg/l) et l'oued Zimba (0.12 mg/l) que celles de l'oued Seybouse. L'origine du nickel est les rejets de l'unité de fabrication des cycles et motocycles qui déversent directement dans l'oued Maïz.

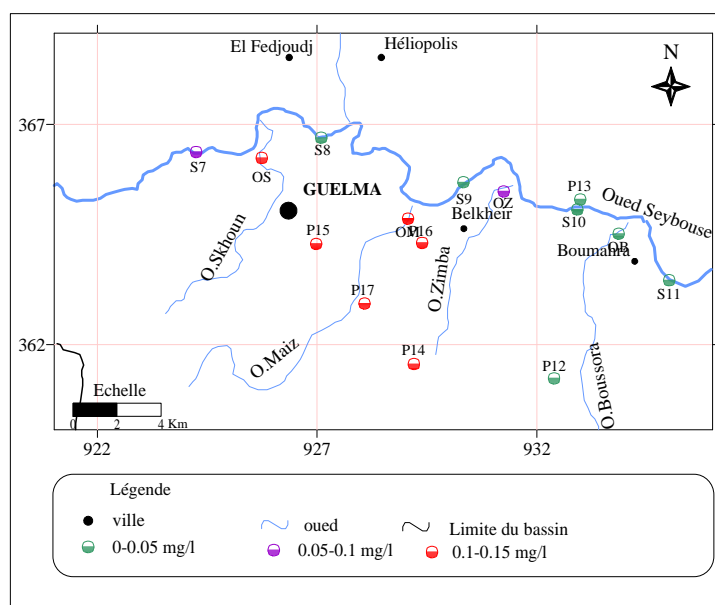


Fig.58. Carte de l'évolution spatiale du nickel dans la plaine de Guelma (Février 2009).

V.3.2.2. Evolution temporelle des éléments de pollution dans la plaine de Guelma.

V.3.2.2.1. Evolution temporelle des nutriments.

V.3.2.2.1.1. Evolution des Phosphates dans le temps (fig. 59).

Selon l'histogramme, on observe que les teneurs en phosphates sont inférieures à la norme pour les trois périodes.

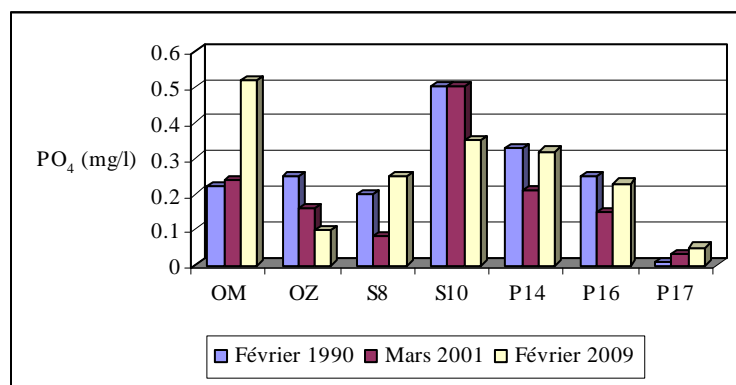


Fig.59. Carte d'évolution temporelle des phosphates (eaux de Surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.

V.3.2.2.1.2. Evolution des nitrites dans le temps (fig. 60):

D'après la figure ci-dessous, on observe que les concentrations en nitrites augmentent pendant la période de février 2009 par rapport aux autres.

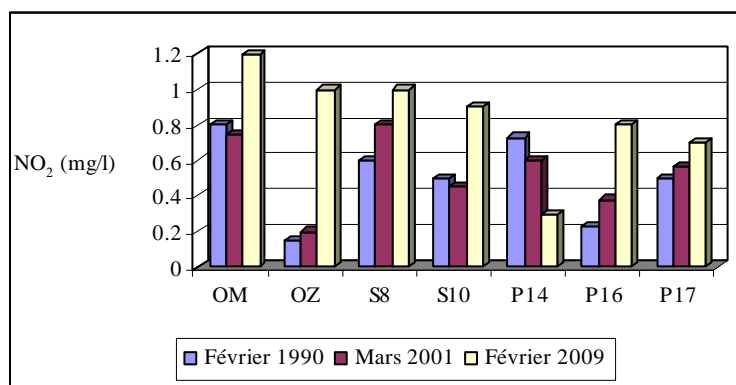


Fig.60. Carte d'évolution temporelle des nitrites (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.

V.3.2.2.2. Evolution temporelle des métaux lourds.

V.3.2.2.2.1. Evolution du Cuivre dans le temps (fig. 61).

D'après la figure ci-dessous, on constate l'absence de cuivre au niveau des eaux de la nappe alluviale durant les trois périodes.

L'évolution temporelle des eaux de l'oued Seybouse reste insignifiante. Cependant, elle est remarquable au niveau des affluents.

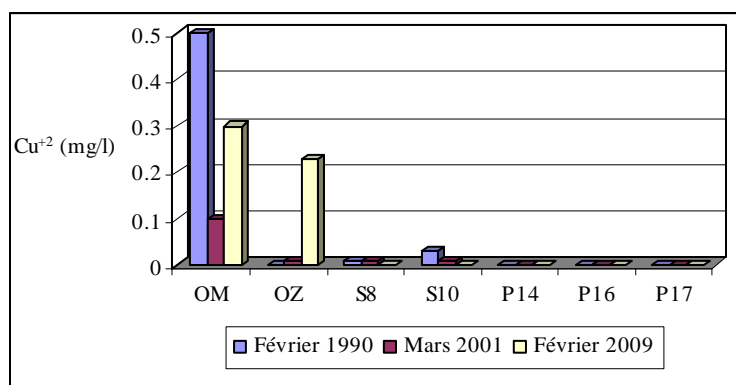


Fig.61. Carte d'évolution temporelle de cuivre (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.

V.3.2.2.2.2. Evolution du Plomb dans le temps (fig. 62).

Dans les eaux de surface, les teneurs en plomb sont importantes et varient durant le temps. Ces teneurs sont globalement supérieures aux normes (0.25 mg/l).

Par contre les concentrations des eaux souterraines sont généralement faibles sauf au puit P14 (0.09 mg/l) où elles dépassent la norme pendant la période de Février 1990.

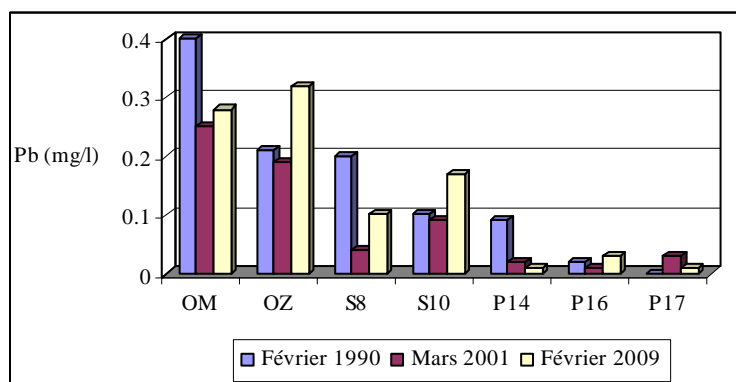


Fig.62. Carte d'évolution temporelle du plomb (eaux de Surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.

V.3.2.2.2.3. Evolution de Zinc dans le temps (fig. 63).

Les fortes concentrations en zinc se localisent au niveau des eaux de l'oued Maïz où elles varient entre 0.4 à 0.6 mg/l.

Pour les eaux de l'oued Zimba, le point S10 et le puit P14, on observe une diminution des teneurs en zinc par rapport à la période de Février 1990.

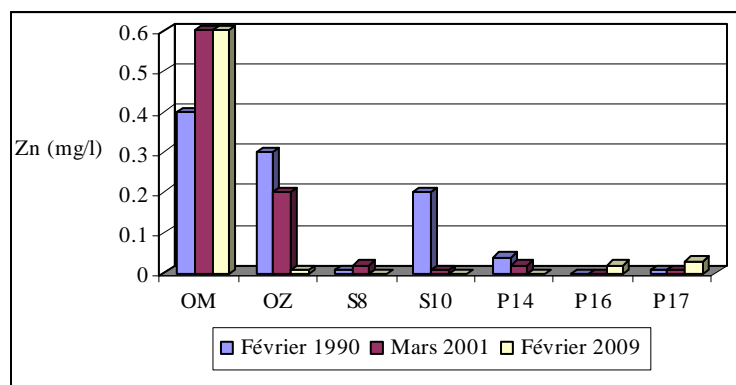


Fig.63. Carte d'évolution temporelle du zinc (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.

V.3.2.2.2.4. Evolution du Nickel dans le temps (fig. 64).

Dans les eaux de surface, les teneurs en nickel sont très élevées et supérieures aux normes (0.05 mg/l). Elles sont variées dans le temps.

Dans les eaux souterraines, les concentrations sont généralement faibles et inférieures aux normes sauf au puits P14 qui montre une évolution temporelle du nickel où la concentration devient double pendant la période février 2009 par rapport à la période de Mars 2001.

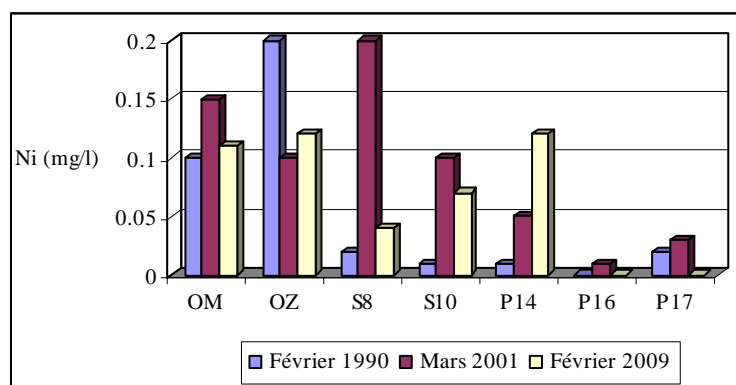


Fig.64. Carte d'évolution temporelle du nickel (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.

V.3.2.2.2.5. Evolution du Chrome dans le temps (fig. 65).

Dans les eaux de l'oued Maïz, on observe une augmentation remarquable de la concentration en plomb durant la période de Février 2009 par rapport aux autres périodes. Cette augmentation atteint une valeur de 0.45 mg/l. alors que l'évolution des eaux de l'oued Seybouse, Zimba et la nappe est insignifiante.

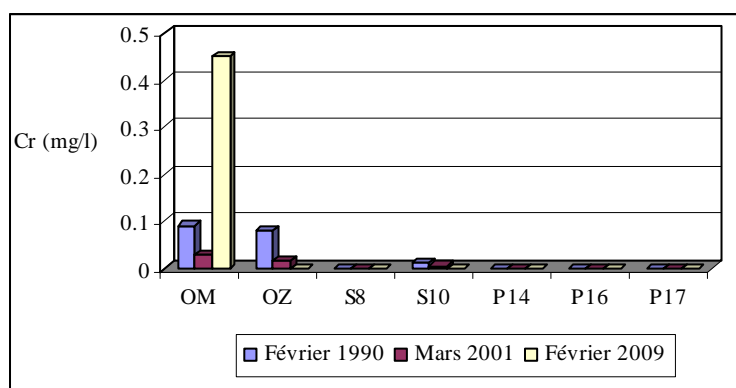


Fig.65. Carte d'évolution temporelle du chrome (eaux de surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.

V.3.2.2.2.6. Evolution du Manganèse dans le temps (fig. 66).

D'après la figure ci-dessous, on constate l'absence de Manganèse au niveau des eaux de la nappe alluviale et de l'oued Seybouse durant les trois périodes.

Les fortes concentrations en Manganèse se localisent au niveau des eaux des oueds Maïz et Zimba. Elles dépassent les normes (0.5 mg/l) et atteignent sa valeur maximale (3.4 mg/l) pendant la période de février 2009.

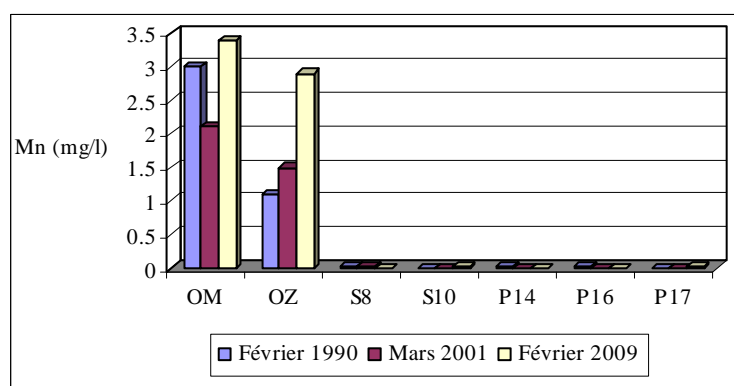


Fig.66. Carte d'évolution temporelle de chrome (eaux de Surface et souterraines) dans la plaine de Guelma.

V.4. Analyses en composante principale (ACP).

V.4.1. Introduction.

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).

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

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

V.4.1.2. Application de l'ACP aux données des eaux de surface de la plaine d'Annaba.

Pour réaliser notre étude, nous avons utilisé le logiciel XLSTAT, la matrice des données comporte (11) variables, (19) individus pour les eaux de surface et (11) variables et (17) individus pour les eaux souterraines.

V.4.1.1. L'ACP des eaux de surface.

Cette étude a été effectuée aux stations de l'oued Seybouse et à celle de l'oued Meboudja. Onze (11) échantillons sont utilisés pour expliquer la variation de dix-neuf (19) variables

V.4.1.1.1. 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.

Tab.13 .Tableau des valeurs propres (ACP des eaux de surface de la basse Seybouse.

	F1	F2	F3
Valeur propre	7.878	3.852	2.341
% variance	41.464	20.276	12.324
% cumulé	41.464	61.740	74.064

Pour le traitement des données nous avons choisi trois axes qui expriment 74.06% des renseignements.

Le premier axe principal a une valeur propre égale à 7.87 il explique 41.46 % de la variation totale, la seconde composante égale à 3.85 explique 20.27 % de la variance totale

Tab.14. Tableau de la matrice de corrélation (ACP des eaux de surface de la plaine de Annaba durant la période de Février 2009).

	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4	T	PH	Eh	O2	Sal	Cond	Cu	Zn	Pb	Ni	Mn	Fe
Ca	1	0.462	0.827	0.151	0.275	0.874	0.255	-0.301	-0.223	0.118	0.808	0.685	0.745	-0.472	-0.639	-0.270	-0.016	-0.334	-0.485
Mg	0.462	1	0.738	0.085	0.339	0.667	0.802	-0.235	0.030	-0.124	0.521	0.715	0.713	-0.386	0.140	-0.563	-0.237	-0.682	0.065
Na	0.827	0.738	1	0.157	0.337	0.949	0.522	-0.343	-0.375	0.260	0.759	0.934	0.937	-0.585	-0.315	-0.493	-0.183	-0.556	-0.371
K	0.151	0.085	0.157	1	0.693	0.075	-0.255	-0.147	-0.507	0.494	-0.054	0.381	0.378	-0.286	-0.434	0.115	-0.158	-0.306	-0.193
HCO3	0.275	0.339	0.337	0.693	1	0.282	0.052	0.191	-0.207	0.108	0.013	0.582	0.573	-0.387	-0.145	-0.133	-0.302	-0.407	0.239
Cl	0.874	0.667	0.949	0.075	0.282	1	0.471	-0.379	-0.313	0.178	0.886	0.836	0.874	-0.601	-0.378	-0.592	-0.244	-0.343	-0.384
SO4	0.255	0.802	0.522	-0.255	0.052	0.471	1	0.179	0.303	-0.311	0.464	0.423	0.400	-0.045	0.441	-0.468	0.020	-0.686	0.353
T	-0.301	-0.235	-0.343	-0.147	0.191	-0.379	0.179	1	0.575	-0.445	-0.321	-0.264	-0.298	0.562	0.456	0.376	0.429	-0.193	0.764
PH	-0.223	0.030	-0.375	-0.507	-0.207	-0.313	0.303	0.575	1	-0.948	-0.065	-0.478	-0.453	0.471	0.372	0.203	0.298	0.005	0.673
Eh	0.118	-0.124	0.260	0.494	0.108	0.178	-0.311	-0.445	-0.948	1	-0.013	0.381	0.362	-0.178	-0.301	0.014	-0.010	-0.039	-0.678
O2	0.808	0.521	0.759	-0.054	0.013	0.886	0.464	-0.321	-0.065	-0.013	1	0.561	0.634	-0.394	-0.450	-0.447	-0.052	-0.205	-0.374
Sal	0.685	0.715	0.934	0.381	0.582	0.836	0.423	-0.264	-0.478	0.381	0.561	1	0.988	-0.569	-0.259	-0.399	-0.209	-0.615	-0.287
Cond	0.745	0.713	0.937	0.378	0.573	0.874	0.400	-0.298	-0.453	0.362	0.634	0.988	1	-0.543	-0.328	-0.388	-0.170	-0.563	-0.340
Cu	-0.472	-0.386	-0.585	-0.286	-0.387	-0.601	-0.045	0.562	0.471	-0.178	-0.394	-0.569	-0.543	1	0.401	0.654	0.832	0.074	0.249
Zn	-0.639	0.140	-0.315	-0.434	-0.145	-0.378	0.441	0.456	0.372	-0.301	-0.450	-0.259	-0.328	0.401	1	-0.209	-0.014	-0.081	0.711
Pb	-0.270	-0.563	-0.493	0.115	-0.133	-0.592	-0.468	0.376	0.203	0.014	-0.447	-0.399	-0.388	0.654	-0.209	1	0.767	-0.008	-0.072
Ni	-0.016	-0.237	-0.183	-0.158	-0.302	-0.244	0.020	0.429	0.298	-0.010	-0.052	-0.209	-0.170	0.832	-0.014	0.767	1	-0.208	-0.098
Mn	-0.334	-0.682	-0.556	-0.306	-0.407	-0.343	-0.686	-0.193	0.005	-0.039	-0.205	-0.615	-0.563	0.074	-0.081	-0.008	-0.208	1	-0.133
Fe	-0.485	0.065	-0.371	-0.193	0.239	-0.384	0.353	0.764	0.673	-0.678	-0.374	-0.287	-0.340	0.249	0.711	-0.072	-0.098	-0.133	1

La matrice montre un bon coefficient de corrélation ($0.615 < r < 0.988$) mentionnés en gras.

D'après le tableau ci-dessus, on peut constater que les éléments ayant les bonnes corrélations sont : (Ca, Na, Cl, Sal, Cond, O₂, Zn), (Fe, Zn, T, PH), (Cu, Pb, Ni), (HCO₃, K)

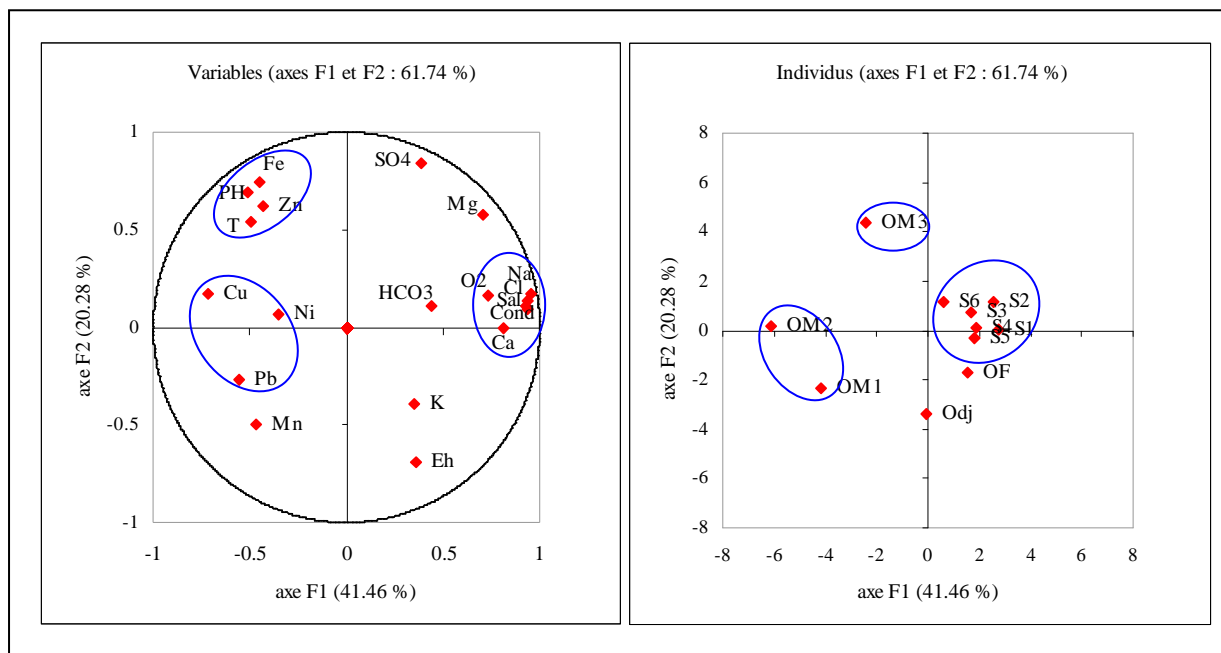


Fig.67. Représentation graphique de l'ACP selon les axes F1 et F2 (eaux de surface de la plaine de Annaba durant la période de Février 2009).

V.4.1.1.2. Cercle F1-F2, plan F1-F2 (fig.67).

La projection sur le plan I-II montre l'existence de trois groupes:

- le facteur F1 (avec une variance de 41.46 %) indique la présence de deux regroupements, l'un pour les éléments de minéralisation (Na, Cl, Ca, Sal, Cond). Ce pole est lié aux stations de l'oued Seybouse (S1, S2, S3, S4, S5, S6), L'autre pour les éléments de pollution industrielle (Cu, Pb, Ni), il est représenté par les stations OM1 et OM2.
- le facteur F2 (avec une variance de 20.28%) représente dans sa partie positive un regroupement des éléments de pollution tel que Fe, Zn, PH, T. la projection des individus montre que ce groupe est présenté par la station OM3.

V.4.1.2. L'ACP des eaux souterraines.

Cette étude a été réalisée sur l'ensemble des éléments chimiques (éléments principaux ainsi que les métaux (Zn, Pb, Cu, Cr, Fe)) et les paramètres physiques. Cette étude prise en compte 11 puits de la nappe superficielle de la plaine de Annaba.

V.4.1.2.1. Valeurs propres.

Le premier axe principal a une valeur propre égale à 4.57, il explique 26.91% de la variance totale, la seconde égale à 4.43 explique 26.1% de la variance totale. Les pourcentages de variation ne sont pas assez élevés pour les deux premiers axes avec un cumule de 53.01%. Nous allons donc nous limiter à trois axes pour nos interprétations avec un cumule de 65.82%.

Tab.15. Tableau des valeurs propres (ACP de la nappe superficielle de plaine d'Annaba).

	F1	F2	F3
Valeur propre	4.575	4.437	2.177
% variance	26.912	26.101	12.807
% cumulé	26.912	53.013	65.821

Tab.16. Tableau de la matrice de corrélation (ACP des eaux de la nappe superficielle de la plaine de Annaba)

	Ca	Mg	HCO ₃	SO ₄	Cl	Na	Cr	Fe	Cu	Pb	Zn	PO ₄	NO ₂	PH	Eh	T	Cond
Ca	1	0.825	-0.655	0.316	0.870	0.754	-0.028	-0.118	-0.018	-0.034	-0.266	-0.154	-0.501	-0.390	-0.082	0.437	0.075
Mg	0.825	1	-0.216	-0.026	0.828	0.705	0.239	-0.177	0.287	0.475	-0.221	0.002	-0.294	-0.552	0.207	0.116	0.000
HCO ₃	-0.655	-0.216	1	-0.492	-0.474	-0.433	0.272	0.083	0.337	0.608	0.170	0.375	0.144	0.142	0.637	-0.505	0.028
SO ₄	0.316	-0.026	-0.492	1	0.123	0.157	-0.688	0.494	-0.747	-0.548	-0.402	0.067	-0.334	0.256	-0.408	0.167	0.661
Cl	0.870	0.828	-0.474	0.123	1	0.955	0.268	-0.065	0.130	0.149	-0.064	0.028	-0.289	-0.436	0.167	0.464	-0.225
Na	0.754	0.705	-0.433	0.157	0.955	1	0.358	0.066	0.062	0.170	0.100	0.057	-0.248	-0.300	0.208	0.568	-0.193
Cr	-0.028	0.239	0.272	-0.688	0.268	0.358	1	-0.291	0.452	0.633	0.792	0.008	0.249	-0.039	0.485	0.273	-0.558
Fe	-0.118	-0.177	0.083	0.494	-0.065	0.066	-0.291	1	-0.467	-0.267	-0.131	-0.183	-0.266	0.174	0.296	0.002	0.364
Cu	-0.018	0.287	0.337	-0.747	0.130	0.062	0.452	-0.467	1	0.497	0.092	0.128	0.345	-0.514	0.242	-0.043	-0.510
Pb	-0.034	0.475	0.608	-0.548	0.149	0.170	0.633	-0.267	0.497	1	0.259	0.296	0.081	-0.165	0.515	-0.217	-0.005
Zn	-0.266	-0.221	0.170	-0.402	-0.064	0.100	0.792	-0.131	0.092	0.259	1	0.102	0.234	0.198	0.316	0.515	-0.353
PO ₄	-0.154	0.002	0.375	0.067	0.028	0.057	0.008	-0.183	0.128	0.296	0.102	1	0.136	-0.161	0.221	0.082	0.106
NO ₂	-0.501	-0.294	0.144	-0.334	-0.289	-0.248	0.249	-0.266	0.345	0.081	0.234	0.136	1	-0.062	-0.332	-0.284	-0.497
PH	-0.390	-0.552	0.142	0.256	-0.436	-0.300	-0.039	0.174	-0.514	-0.165	0.198	-0.161	-0.062	1	-0.158	-0.141	0.299
Eh	-0.082	0.207	0.637	-0.408	0.167	0.208	0.485	0.296	0.242	0.515	0.316	0.221	-0.332	-0.158	1	0.059	-0.153
T	0.437	0.116	-0.505	0.167	0.464	0.568	0.273	0.002	-0.043	-0.217	0.515	0.082	-0.284	-0.141	0.059	1	-0.104
Cond	0.075	0.000	0.028	0.661	-0.225	-0.193	-0.558	0.364	-0.510	-0.005	-0.353	0.106	-0.497	0.299	-0.153	-0.104	1

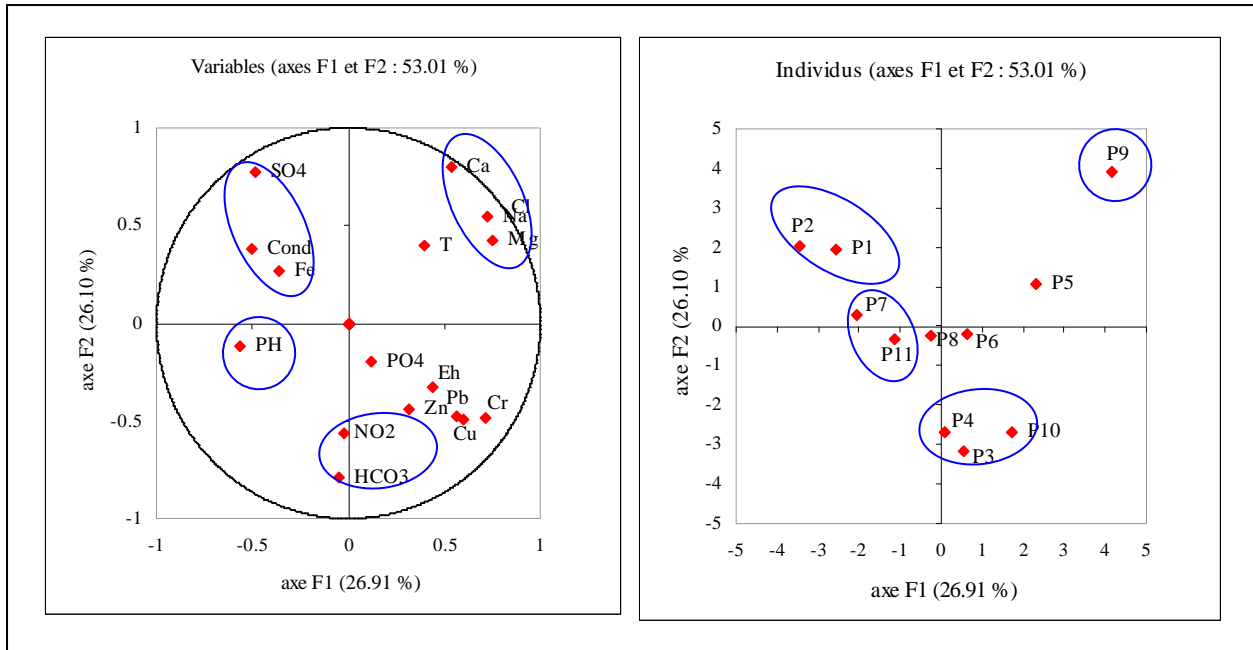


Fig.68. Représentation graphique de l'ACP selon les axes F1 et F2 (eaux de la nappe superficielle de la plaine de Annaba durant la période de Février 2009).

V.4.1.2.2. Cercle F1-F2, Plan F1-F2 (fig.68).

Le facteur F1 (26.91% de la variance totale) représente l'axe de l'acidité/l'alcalinité des eaux.

Le facteur F2 (26.10% de la variance totale) montre dans sa partie positive un regroupement des éléments de la minéralisation, représenté par la conductivité électrique, corrélée aux éléments de la pollution (Fe), la projection des individus montre que ce groupe est bien présenté par les points (P1 et P2), cependant sa partie négative est caractérisée par les nitrites et HCO_3 correspond aux puits (P3, P4 et P10).

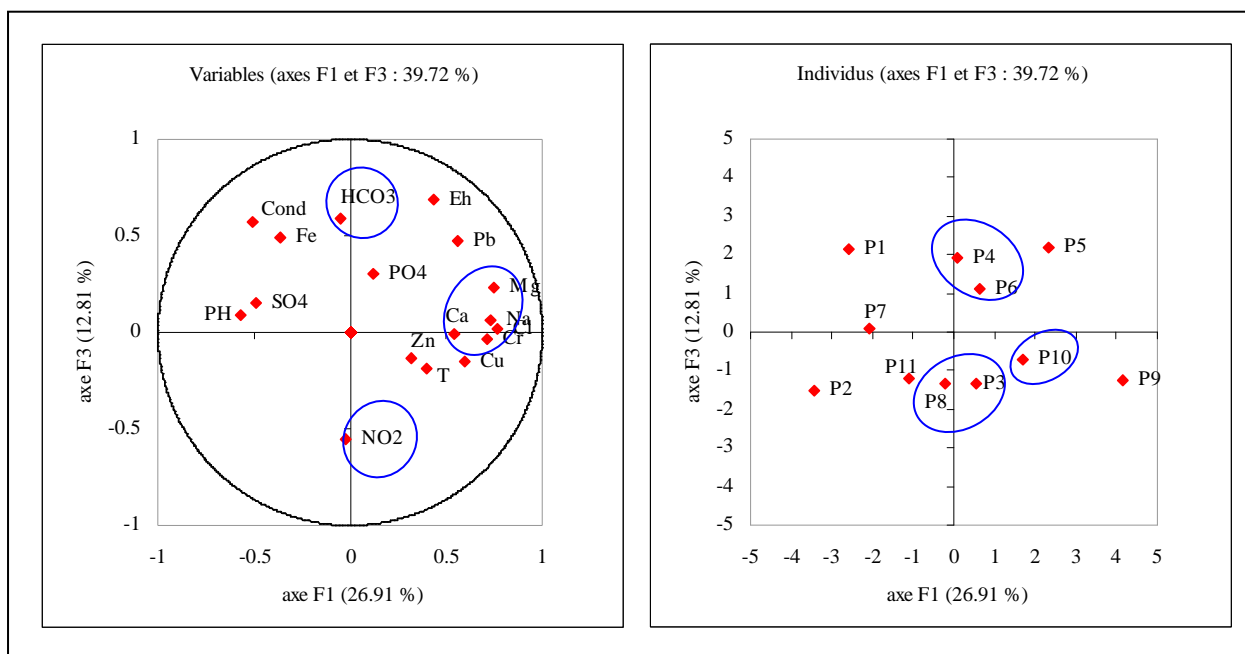


Fig.69. Représentation graphique de l'ACP selon les axes F1 et F3 (eaux de la nappe superficielle de la plaine d'Annaba durant la période de Février 2009).

V.4.1.2.3. Cercle F1-F3, Plan F1-F3 (fig.69).

D'après la figure ci-dessus et selon l'axe F1 (26.91% de la variance) on constate le regroupement (Cl, Na, Ca et Mg) correspond au puit P10 projeté sur le plan des individus; c'est l'axe de la minéralisation.

Selon l'axe F3 deux groupes se présentent le premier sur la partie positive il regroupe (HCO_3) correspond aux puits (P4 et P6) ; il oppose les eaux chargées en nitrates dans la partie négative correspond aux puits (P3 et P8) ; on note que ces deux regroupements inversement proportionnels ont une origine différentes portés sur l'axe F3 de la pollution.

V.4.2. L'ACP des eaux de la plaine de Guelma.

Cette étude a été effectuée aux neuf (9) stations de l'oued Seybouse et Six (6) puits (la nappe alluviale de Guelma), pour expliquer la variation de dix-sept variable pour les eaux de surface et sept variable pour les eaux souterraines.

V.4.2.1. L'ACP des eaux de surface.

La matrice des données comporte 17 variables et 8 individus, Pour le traitement nous avons choisi Les axe F1 et F2 qui expriment une inertie totale de 53.93% de l'ensemble des informations. Le tableau N°, permet de constater que 33.91 % de l'information est contenu dans le premier axe factoriel F1 et 20.02% contenu sur l'axe F2.

V.4.2.1.1. Les valeurs propres.

Tab.17. Tableau des valeurs propres (ACP des eaux de surface de la moyenne Seybouse).

	F1	F2	F3
Valeur propre	5.766	3.403	2.708
% variance	33.916	20.020	15.927
% cumulé	33.916	53.936	69.863

Le tableau ci-dessous représente la matrice de corrélation qui donne une probabilité sur les corrélations qui peuvent être représentées sur le cercle de l'ACP par la suite (Cond-Sal), (Ca, Mg, O₂), (Cd-Pb).

Tab.18. Tableau de la matrice de corrélation (ACP des eaux de surface de la plaine de Guelma durant la période de Février 2009).

	T	Ph	Cond	sal	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	O2	PO4	NO2	Cd	Pb	Cr
T	1	-0,136	-0,454	-0,474	-0,394	0,662	0,534	0,554	0,191	0,416	-0,479	-0,258	-0,047	0,350	-0,134	-0,133	0,295
Ph	-0,136	1	-0,100	0,145	-0,508	0,263	-0,217	0,612	0,163	0,489	-0,586	-0,107	-0,650	-0,402	-0,091	0,147	-0,569
Cond	-0,454	-0,100	1	0,930	0,258	-0,192	0,102	-0,286	0,155	0,027	0,248	0,139	0,518	-0,331	0,534	0,355	0,241
sal	-0,474	0,145	0,930	1	0,273	-0,160	0,078	-0,240	0,208	0,018	0,213	0,204	0,482	-0,241	0,497	0,321	0,041
Ca	-0,394	-0,508	0,258	0,273	1	-0,690	0,193	-0,820	-0,202	-0,621	0,960	0,614	0,674	0,172	0,264	-0,080	-0,185
Mg	0,662	0,263	-0,192	-0,160	-0,690	1	0,465	0,731	0,495	0,646	-0,702	-0,274	-0,232	-0,053	-0,087	0,178	0,284
Na	0,534	-0,217	0,102	0,078	0,193	0,465	1	0,226	0,394	0,416	0,095	0,433	0,310	-0,159	0,204	0,105	0,024
K	0,554	0,612	-0,286	-0,240	-0,820	0,731	0,226	1	0,142	0,909	-0,909	-0,328	-0,694	-0,365	-0,099	0,190	-0,065
Cl	0,191	0,163	0,155	0,208	-0,202	0,495	0,394	0,142	1	0,081	-0,101	0,276	0,126	-0,044	-0,333	-0,333	-0,189
SO4	0,416	0,489	0,027	0,018	-0,621	0,646	0,416	0,909	0,081	1	-0,735	-0,143	-0,532	-0,586	0,136	0,373	0,001
HCO3	-0,479	-0,586	0,248	0,213	0,960	-0,702	0,095	-0,909	-0,101	-0,735	1	0,615	0,655	0,170	0,126	-0,182	-0,152
O2	-0,258	-0,107	0,139	0,204	0,614	-0,274	0,433	-0,328	0,276	-0,143	0,615	1	0,168	-0,151	-0,294	-0,441	-0,572
PO4	-0,047	-0,650	0,518	0,482	0,674	-0,232	0,310	-0,694	0,126	-0,532	0,655	0,168	1	0,422	0,456	0,090	0,404
NO2	0,350	-0,402	-0,331	-0,241	0,172	-0,053	-0,159	-0,365	-0,044	-0,586	0,170	-0,151	0,422	1	-0,271	-0,460	0,305
Cd	-0,134	-0,091	0,534	0,497	0,264	-0,087	0,204	-0,099	-0,333	0,136	0,126	-0,294	0,456	-0,271	1	0,881	0,359
Pb	-0,133	0,147	0,355	0,321	-0,080	0,178	0,105	0,190	-0,333	0,373	-0,182	-0,441	0,090	-0,460	0,881	1	0,363
Cr	0,295	-0,569	0,241	0,041	-0,185	0,284	0,024	-0,065	-0,189	0,001	-0,152	-0,572	0,404	0,305	0,359	0,363	1

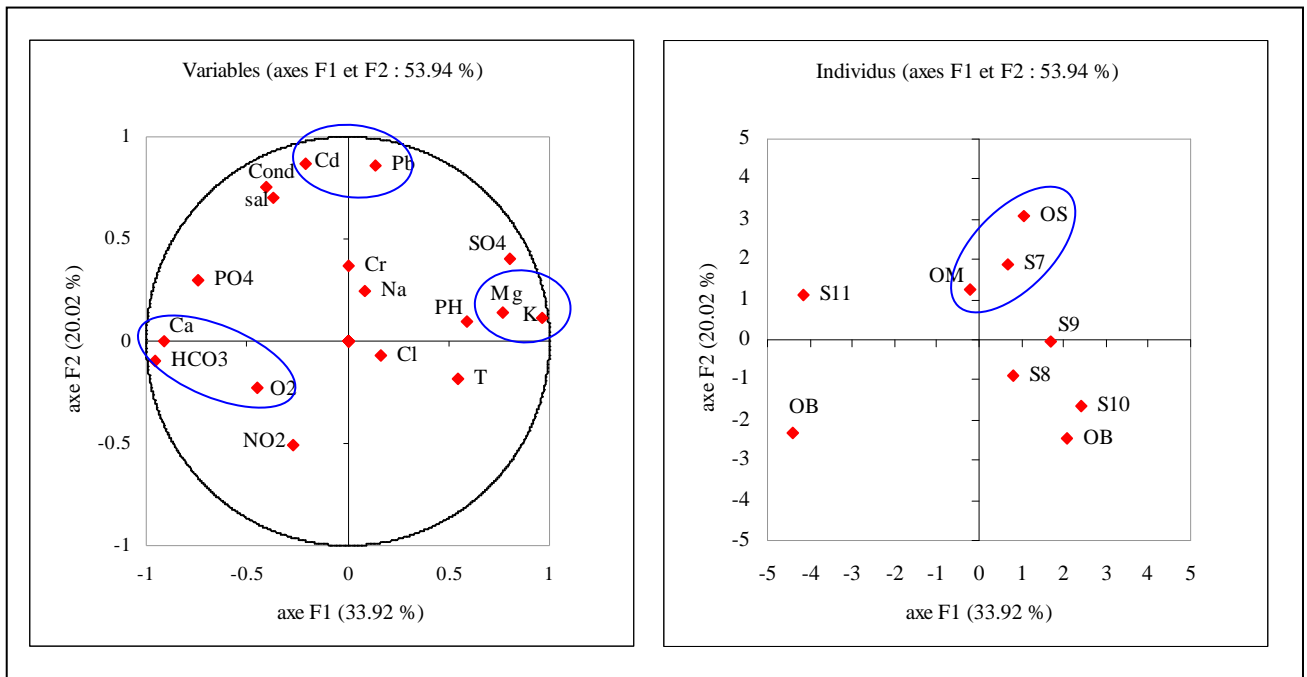


Fig.70. Représentation graphique de l'ACP selon les axes F1 et F2 (eaux de surface de la plaine de Guelma durant la période de Février 2009).

V.4.2.1.2. Cercle F1-F2, Plan F1-F2 (fig.70).

L'axe F1 regroupe les eaux fortement minéralisées présentées par Ca, HCO₃ et O₂ dans sa partie positive correspond aux points (S11 et OB), la partie négative montre que la corrélation entre Mg et K, c'est l'axe de la minéralisation.

Pour l'axe F2 oppose les eaux fortement polluées riches en Pb et Cd dans sa partie positive correspond au plan des individus aux points (OS, OM et S7), c'est l'axe de pollution.

V.4.2.2. L'ACP des eaux souterraines.

La matrice des données comporte 6 variables et 17 individus, nous pouvons noter, d'après le tableau des valeurs propres que le taux d'information contenu dans les trois axes est de 78.57%.

Pour le traitement nous avons choisi les axes F1 et F2 qui expriment une inertie totale de 61.44% de l'ensemble des informations. En effet, le tableau permet de constater que 34.08 % de l'information est contenu dans le premier axe factoriel F1 et 27.36% contenu sur l'axe F2.

V.4.2.2.1. Les valeurs propres.

Tab.19. Tableau des valeurs propres (ACP de la nappe alluviale de la plaine de Guelma durant la période de Février 2009)

	F1	F2	F3
Valeur propre	5.795	4.651	2.912
% variance	34.088	27.361	17.131
% cumulé	34.088	61.449	78.579

La matrice de corrélation (Tableau ci-dessous) montre les éléments corrélés entre eux tel que (Mn-Zn), (SO₄-PO₄) et (HCO₃ – NO₂).

Tab.20. Tableau de la matrice de corrélation (ACP des eaux de la nappe alluviale de Annaba durant la période de Février 2009).

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	NO2	NH4	PO4	Cr	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni
Ca	1	-0.414	-0.666	0.190	0.481	-0.425	-0.307	0.317	0.093	0.010	-0.511	0.447	0.281	-0.175	-0.219	-0.183	0.071
Mg	-0.414	1	0.674	-0.677	0.504	0.548	-0.017	-0.924	-0.182	-0.287	0.403	0.466	-0.627	0.399	0.139	0.079	-0.278
Na	-0.666	0.674	1	-0.726	0.253	0.266	-0.095	-0.754	-0.540	-0.535	0.291	-0.067	-0.173	0.550	0.503	0.698	0.218
K	0.190	-0.677	-0.726	1	-0.621	-0.381	-0.087	0.905	0.137	0.197	-0.492	-0.439	-0.127	-0.293	-0.120	-0.410	-0.315
Cl	0.481	0.504	0.253	-0.621	1	0.076	-0.495	-0.620	-0.378	-0.456	-0.123	0.781	-0.107	0.272	0.056	0.298	-0.016
SO4	-0.425	0.548	0.266	-0.381	0.076	1	0.076	-0.474	0.179	0.459	0.867	0.530	-0.156	-0.515	-0.656	-0.250	-0.608
HCO3	-0.307	-0.017	-0.095	-0.087	-0.495	0.076	1	-0.049	0.838	0.608	0.493	-0.310	0.167	-0.051	-0.079	-0.512	0.362
NO3	0.317	-0.924	-0.754	0.905	-0.620	-0.474	-0.049	1	0.168	0.284	-0.457	-0.485	0.303	-0.415	-0.173	-0.253	-0.031
NO2	0.093	-0.182	-0.540	0.137	-0.378	0.179	0.838	0.168	1	0.864	0.455	0.039	0.195	-0.448	-0.514	-0.840	0.031
NH4	0.010	-0.287	-0.535	0.197	-0.456	0.459	0.608	0.284	0.864	1	0.632	0.120	0.349	-0.816	-0.816	-0.751	-0.215
PO4	-0.511	0.403	0.291	-0.492	-0.123	0.867	0.493	-0.457	0.455	0.632	1	0.279	0.147	-0.464	-0.561	-0.260	-0.191
Cr	0.447	0.466	-0.067	-0.439	0.781	0.530	-0.310	-0.485	0.039	0.120	0.279	1	-0.118	-0.297	-0.548	-0.214	-0.456
Cu	0.281	-0.627	-0.173	-0.127	-0.107	-0.156	0.167	0.303	0.195	0.349	0.147	-0.118	1	-0.409	-0.242	0.224	0.582
Zn	-0.175	0.399	0.550	-0.293	0.272	-0.515	-0.051	-0.415	-0.448	-0.816	-0.464	-0.297	-0.409	1	0.946	0.490	0.463
Mn	-0.219	0.139	0.503	-0.120	0.056	-0.656	-0.079	-0.173	-0.514	-0.816	-0.561	-0.548	-0.242	0.946	1	0.603	0.565
Pb	-0.183	0.079	0.698	-0.410	0.298	-0.250	-0.512	-0.253	-0.840	-0.751	-0.260	-0.214	0.224	0.490	0.603	1	0.445
Ni	0.071	-0.278	0.218	-0.315	-0.016	-0.608	0.362	-0.031	0.031	-0.215	-0.191	-0.456	0.582	0.463	0.565	0.445	1

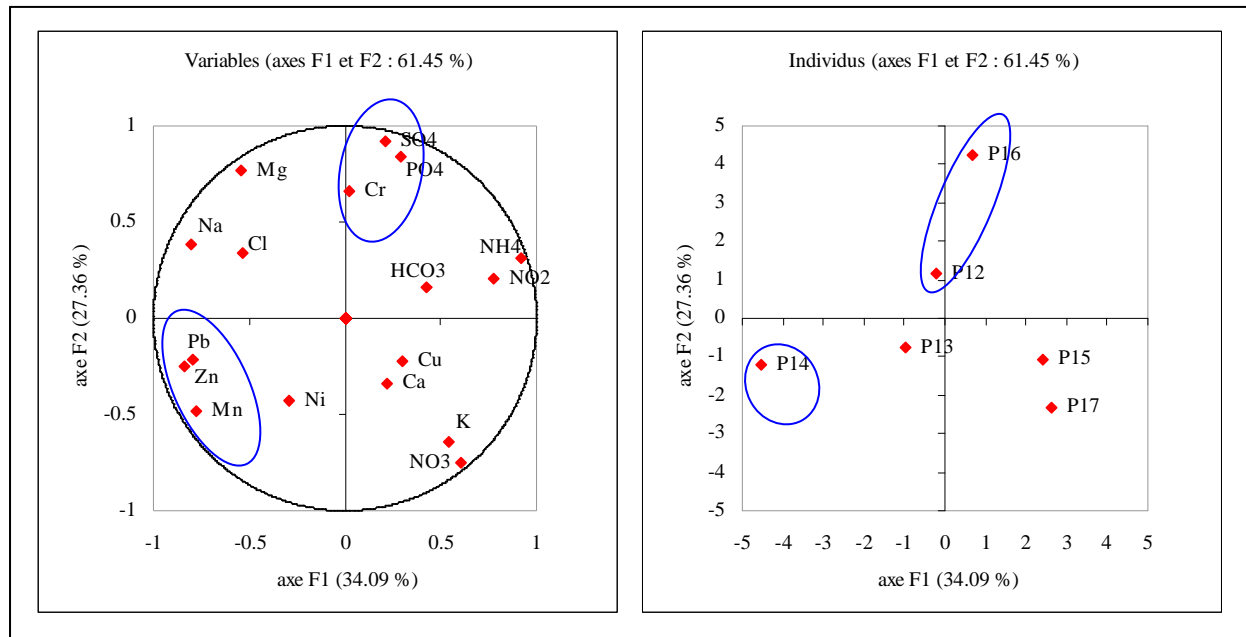


Fig.71. Représentation graphique de l'ACP selon les axes F1 et F2 (eaux de la nappe alluviale de la plaine de Guelma durant la période de Février 2009).

V.4.2.2.2. Cercle F1-F2, Plan F1-F2 (fig.71).

L'observation du cercle F1-F2, montre que pour l'axe F1 les eaux sont fortement minéralisées riches en (SO₄, PO₄, Cr) correspond aux puits P12 et P16.

L'axe F2 représente des eaux chargées en (Pb, Zn, Mn) correspond au puit P14, c'est l'axe de pollution.

Conclusion.

L'étude hydrochimique nous a permis de déterminer l'origine naturelle, industrielle ou urbaine du chimisme des eaux de surface et des eaux souterraines de la région d'étude.

Les méthodes utilisées dans l'interprétation sont multiples et convergent toutes vers la même constatation, ainsi l'analyse en composantes principales, nous a permis de mettre en évidence une pollution (naturelle et anthropique) caractérisée par les liens existant entre les éléments physico-chimiques.

La pollution anthropique est mise en évidence par les paramètres physiques et le reste des éléments (métaux lourds et nutriments).

Le phénomène de pollution n'est pas statique, il peut se déplacer d'un milieu à un autre. Ce qui nous a amené à nous intéresser aux variations de la qualité des eaux au niveau de la nappe superficielle, ce choix est dicté par la présence d'une relation mixte entre les oueds et la nappe.

Les graphiques d'évolution spatio-temporelle montrent une évolution progressive de certains éléments chimiques le long du cours d'eau jusqu'aux points les plus bas de la vallée.

Les eaux de surface sont affectées par les différents types de pollution : industrielle, urbaine et agricole du fait qu'elles constituent le premier récepteur des différents rejets. Cette contamination est marquée par les fortes teneurs en Fe, Cr, PO_4 , NO_2 ...etc, surtout dans les affluents de l'oued Seybouse (Oued Meboudja, Oued Maïz et Oued Zimba)

Les eaux souterraines affectées par plusieurs processus de la pollution :

- naturelle due au lessivage des formations géologique et traduite par la forte salinité
- agricole marquée par la forte concentration en nitrites.
- industrielle par la présence du Cr, Pb, Cu, Fe et Zn qui sont rejetés par les différentes unités industrielles implantées dans la zone d'étude.
- urbaine marquée par la présence du PO_4 et NO_2 à des fortes concentrations.

Conclusion générale

Conclusion générale et recommandations.

Le sous bassin de la Seybouse est soumis à une pollution dont les origines sont très diverses ce qui complique la tâche des chercheurs. En effet cette dernière peut être soit naturelle ou anthropique.

La zone d'étude fait partie du bassin versant de l'oued Seybouse, il est situé au Nord Est Algérien.

Du point de vue climatique, il s'agit d'un bassin à un climat méditerranéen, caractérisé par une période pluvieuse humide et l'autre sèche. Elle reçoit une moyenne annuelle de pluie qui varie entre 539.9 mm et 643.8 mm sous une température moyenne de l'ordre de 18°C.

L'interprétation du bilan hydrique selon la méthode de C.W.Thornthwaite montre qu'à partir de mois de novembre, les précipitations sont importantes entraînant ainsi une prédominance sur l'évapotranspiration permettant la recharge en eau. A partir du mois de mai apparaît le déficit agricole d'où la nécessité d'une irrigation en été.

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

La basse Seybouse fait partie de l'ensemble géologique du Tell Algérien Nord Oriental (massif de L'Edough), présente des affleurements de terrains métamorphiques en bordures (gneiss, schistes, micaschistes, cipolins, calcaires métamorp L'étude hydrochimique nous a permis de déterminer l'origine naturelle, industrielle ou urbaine du chimisme des eaux de surface et des eaux souterraines de la région d'étude.

Les méthodes utilisées dans l'interprétation sont multiples et convergent toutes vers la même constatation, ainsi l'analyse en composantes principales, nous a permis de mettre en évidence une pollution (naturelle et anthropique) caractérisée par les liens existant entre les éléments physico-chimiques.

La pollution anthropique est mise en évidence par les paramètres physiques et le reste des éléments (métaux lourds et nutriments).

Le phénomène de pollution n'est pas statique, il peut se déplacer d'un milieu à un autre. Ce qui nous a amené à nous intéresser aux variations de la qualité des eaux au niveau de la nappe superficielle, ce choix est dicté par la présence d'une relation mixte entre les oueds et la nappe.

Les graphiques d'évolution spatio-temporelle montrent une évolution progressive de certains éléments chimiques le long du cours d'eau jusqu'aux points les plus bas de la vallée.

Les eaux de surface sont affectées par les différents types de pollution : industrielle, urbaine et agricole du fait qu'elles constituent le premier récepteur des différents rejets. Cette contamination est marquée par les fortes teneurs en Fe, Cr, PO_4 , NO_2 ...etc, surtout dans les affluents de l'oued Seybouse (Oued Meboudja, Oued Maïz et Oued Zimba)

Les eaux souterraines affectées par plusieurs processus de la pollution :

- naturelle due au lessivage des formations géologiques et traduite par la forte salinité
- agricole marquée par la forte concentration en nitrates.
- industrielle par la présence du Cr, Pb, Cu, Fe et Zn qui sont rejetés par les différentes unités industrielles implantées dans la zone d'étude.
- urbaine marquée par la présence du PO_4 et NO_2 à des fortes concentrations.

hiques), qui constituent des zones d'alimentations pour les nappes et des roches éruptives et des sédiments alluvionnaires potentiellement aquifères du Quaternaire.

La dépression qui forme le réservoir aquifère de la vallée de Guelma est remplie par les alluvions Plio-Quaternaires.

La moyenne Seybouse possède une réserve d'eau souterraine importante: la nappe alluviale de la plaine de Guelma d'âge Quaternaire et la nappe calcaire de Bradaâ.

Le système aquifère de la basse Seybouse est constitué de formations du Mio-Plio-quaternaire comblant une zone d'effondrement.

L'étude géométrique confirme l'extension et la superposition des nappes superficielle et profonde qui sont séparées par un niveau semi-perméable. Celui-ci disparaît au sud de la plaine laissant se confondre les deux nappes.

L'interprétation de la carte piézométrique de la nappe alluviale de Guelma montre que la surface piézométrique a une morphologie non uniforme avec un écoulement de direction Sud –Nord (vers l'oued Seybouse) et un gradient hydraulique variable.

L'examen des cartes piézométriques de la nappe superficielle de la basse Seybouse, montre que la morphologie de la surface piézométrique suit la surface topographique et sont allure reste la même pendant les deux compagnes.

Le sens d'écoulement dans la nappe superficielle de la basse Seybouse est SW-NE, les relevés piézométriques effectués montre que la nappe draine l'oued dans la partie amont alors que dans la partie aval elle est drainée par l'oued, ceci indique l'existence d'une relation mixte entre l'oued et la nappe.

Les eaux de la zone d'étude a dans la plus part des cas un faciès Chloruré calcique: eaux de surface, eaux de la nappe superficielle et eaux souterraines.

L'interprétation des résultats des analyses chimiques a permis de mettre en évidence l'évolution des éléments chimiques le long de l'oued Seybouse et ses principaux affluents ainsi la qualité des eaux de ces cours d'eau.

La région d'étude est considérée polluée à cause des teneurs qui dépassent celles préconisées par l'OMS. C'est une pollution naturelle provoquée par les formations géologiques de la région d'une part et par les rejets industriels et l'agriculture d'autre part.

Pour les éléments nutritifs, les résultats obtenus montrent que les eaux souterraines, pour la plupart des points prélevés, sont supérieures à la norme, comparées aux eaux d'irrigation, qui ont montrées des faibles teneurs en nitrate, ce qui confirme que l'origine des nitrates dans la nappe sont les engrais chimiques.

A partir des cartes, profils et analyses en composantes principales (ACP), nous pouvons conclure que la forte minéralisation produisant une forte salinité est due aux fortes teneurs en éléments majeurs (Ca, Mg,...) elles mêmes sont dues au lessivage des formations.

La pollution industrielle se traduit par la présence des métaux lourds (Fe, Pb, Cr, Cu, Ni et Mn), elle est due aux rejets industriels dans la zone de Méboudja et les zones industrielles qui rejettent leurs effluents dans l'oued Maïz et l'oued Zimba.

Donc les concentrations des éléments de pollution dans les eaux de surface et souterraines sont supérieures aux normes préconisées, donc le contrôle périodique de la teneur des eaux de surface et des puits en ces éléments est à suivre, pour éviter d'arriver à un stade de pollution très dangereux pour la santé du consommateur. L'origine de ces éléments dépend très largement des caractéristiques hydrogéologiques de la zone étudiée ainsi que des activités exercées, et les différents rejets industriels

Recommandations.

- l'implantation des stations de traitement des eaux à la sortie des agglomérations importantes est souhaitable pour épurer les eaux avant leur rejet.
Installation d'un réseau d'assainissement efficace des usines pour éviter la contamination des eaux souterraines par les eaux usées.
- Il faut bien aménager les terrains et les lieux de stockage des métaux pour qu'ils ne contribuent pas à la libération des ions métalliques (Fe^{++} , Cu^{++} , Ni^{++} , ..)
- Une campagne prolongée de vulgarisation sur l'utilisation des engrais est à prévoir.
- 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 toxiques.

références bibliographiques

Références bibliographiques

- Bechiri, N. Mourdi, W., 2008 : Mobilisation des ressources en eaux dans le sous-bassin de la moyenne Seybouse. Mémoire d'Ingéniorat, Université d'Annaba.
- Benmarce Kadour., 2007 : Caractéristiques physico-chimiques et isotopiques des eaux souterraines dans la région de Guelma (Nord-Est Algérien). Thèse de Magister, Université d'Annaba.
- Bouanika Laidi., 2005 : Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique des eaux souterraines de la plaine de Guelma. Mémoire d'Ingéniorat, Université d'Annaba.
- Boughrira Nabil., 2008 : impact des rejets industriels du complexe sidérurgique sur les eaux superficielles et souterraines de la plaine de Meboudja. Mémoire de Magister, université d'Annaba.
- Brahmia Nabil., 2009 : Evaluation et gestion de la ressource en eau dans le bassin versant de la moyenne Seybouse. Mémoire de Magister, Université d'Annaba.
- Castany G., 1982 : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Ed. Dunod, Paris, France.
- Chaoui Widad., 2007 : Impact de la pollution organique et chimique de L'oued Seybouse et de l'oued Mellah sur les eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (Guelma). Thèse de Magister, Université d'Annaba.
- Debieche Taha Hocine., 2002 : Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la base plaine de la Seybouse Nord-Est Algérien. Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté.

- Djabri Larbi., 1996 : Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Thèse de Doctorat, Université d'Annaba.

- Gharich, F. Madi, L., 2001 : Synthèse hydrogéologique et hydrochimique de la plaine alluviale de Guelma. Mémoire d'Ingéniorat, Université d'Annaba.

- Hamzaoui W., 2007 : Caractérisation de la pollution des eaux en milieu industriel et urbain cas de la plaine d'El Hadjar. Mémoire de Magister, université d'Annaba.

- Hani A., 2003 : Analyse méthodologique de la structure et des processus anthropiques (application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen. Thèse de doctorat d'état, Es. Sciences, Université d'Annaba.

- Hannouche Mani., 1990 : Approche à l'étude des mécanismes de la pollution d'une nappe alluviale côtière (Annaba) en site industriel urbanisme (traitement statistique des données hydrochimiques). Thèse de Magister, Université d'Annaba.

- Hilley J., 1962 : Etude géologique du massif de l'Edough et du cap de Fer (Est constantinois) Bull. n° 19 carte géologique Algérie, Alger.

- Khadri Samira., 2009 : Qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie aval (impact des néo-facteurs de pollution). Mémoire de magister, Université d'Annaba.

- Kherici Nacer., 1993 : Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba-La Mafragh) Nord-Est Algérien. Thèse de doctorat, université d'Annaba.

- Khérici-Bousnoubra, H., 2002: Ressources en eaux des régions de Skikda, Annaba, El Tarf, Souk-Ahras (Nord-Est Algérien). Thèse de Doctorat d'état, Université d'Annaba.

- Ledday G., 2002 : Etude hydrogéologique de la plaine alluviale de Guelma. Mémoire d'Ingéniorat, Université d'Annaba.

- Lekoui S. Kahal, A., 2008 : Caractérisation des effluents urbains et industriels. EDR santé, exemple : cas de la région de Sidi Ammar-El Hadjar (Nord-Est Algérien). Mémoire d'Ingéniorat, Université de Annaba.

- Mallem Adlene., 2006 : L'impact des lâchées du barrage de Bouhamdane sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse. Mémoire d'Ingéniorat, Université d'Annaba.

- Maou S. Sebti, S., 2006 : Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine de Guelma (hydrochimie des rejets de la Sucrierie). Mémoire d'Ingéniorat, Université d'Annaba.

- Mebarki Azzedine., 2005 : Hydrologie des bassins de l'Est Algérien (ressources en eau, aménagement et envirennement. Thèse de Doctorat d'état, Université Mentouri de Constantine.

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

- Mouchara Nabil., 2009 : Impacts des lâchées de barrage Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (Nord-Est Algérien). Mémoire de Magistère, Université d'Annaba.

- Remita A.R., 2008 : Remobilisation des métaux lourds dans l'eau de l'oued Boudjamâa et ses affluents. Mémoire de Magister, Université d'Annaba.

- Saâda Chafia., 2004 : Evaluation des ressources exploitables en eau dans la plaine de Guelma. Mémoire d'Ingéniorat, Université d'Annaba.

- Tahar Nouar., 2007 : Impact de la pollution des eaux superficielles et souterraines de Guelma. Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba.

- Villa J.M., 1980 : La chaîne Alpine d'Algérie oriental et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de Doctorat ès sciences Nat, Université de Pierre Marie Curie, Paris VI, France.

- Zerrouki H., 2007 : Diagnostic pour une éventuelle réhabilitation des eaux de la Seybouse-La basse plaine-Annaba. Mémoire de Magister, Université d'Annaba.