



Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

**EVALUATION DU RISQUE LIE AUX SITES
POLLUES EN MILIEU URBAIN ET
INDUSTRIEL (ANNABA NE ALGERIEN)**

Option : Hydrochimie

Par

LEKOUI Sami

(Ingénieur d'état en Hydrogéologie)

Soutenu devant le jury :

Directeur du mémoire :

- DJORFI Saâdane	Maitre Conférences	UBM Annaba
------------------	--------------------	------------

Président :

- LAARBI Djabri	Professeur	UBM Annaba
-----------------	------------	------------

Examineurs :

- CHAFAI Hicham	Maitre Conférences	UBM Annaba
-----------------	--------------------	------------

- BENHAMZA Moussa	Maitre Conférences	UBM Annaba
-------------------	--------------------	------------

Remerciement

Je remercie d'abord El-llah qui m'éclaire mon chemin,

En tout premier lieu, je remercie vivement mon superviseur M. Djorfi Saâdane d'avoir consacré une bonne période de son précieux temps, pour sa ponctualité et sa patience durant la préparation de ce papier.

Je précise Madame Major, H, qu'elle trouve ici mes sincères gratitude, pour son aide.

Egalement,

Je remercie affectueusement le comité de jury d'avoir accepté l'évaluation de la qualité de ce mémoire.

Et

A tout contribuant.

النتائج:

تظهر ظاهرة التلوث البيئي في كل الأوساط الحيوية حتى البحرية منها و هو يمثل خطر على صحة الإنسان ، يسبب موت الكائنات البحرية ، التكاثر العشوائي للعوالق ، و كذلك تعدد فصائل البكتيريا التي تلوث الماء و تجعله غير صالح للاستهلاك .

إن ثبات وجود تراكيز عالية خاصة من المعادن الثقيلة مثل : الزئبق ، الكاديوم ، الرصاص ، النيكل ، الكروم ، النحاس ، الحديد ، المنغنيز ، السيلينيوم ، الكالسيوم ، المغنيسيوم ، الصوديوم ، تدل على تعدد مصادر التلوث في المنطقة بالنسبة للمعادن الثقيلة ، زراعي و حضري بالنسبة للعناصر العضوية و طبيعي عن طريق تحلل الصخور بالنسبة لتحلل العناصر المعدنية .

هذه العناصر الملوثة تشكل خطرا كبيرا على صحة الإنسان بسبب سموميتها ، إما بطريقة مباشرة على الكائنات أو بطريقة غير مباشرة عن طريق تنقلها عبر السلسلة الغذائية .
الهدف من هذه الدراسة تبيان أن خليج عصابة يعاني من التلوث المعدني السام .

الخلاصة: في خليج ، معادن ثقيلة في المنطقة .

Résumé

A cause de ses bonnes caractéristiques hydroclimatiques et surtout de sa situation géographique, la plaine d'Annaba est sollicitée par deux domaines qui contribuent à la détérioration de ses eaux : l'agriculture et l'industrie.

L'étude effectuée sur la qualité des eaux superficielles et souterraines dans les secteurs les plus exposés à la pollution (L'oued méboudja, la zone industrielle de Berrahal, la décharge de Berka Zerga et la plaine de Kharézas.) montre une forte pollution, notamment au niveau des oueds et des nappes avec un gradient de contamination métallique amont-aval. L'existence de fortes concentrations essentiellement en métaux lourds tels que le Chrome, le Plomb et le cuivre, et en éléments majeurs de la minéralisation comme le Ca, Mg, SO₄ et surtout le Cl et le Na, indiquent une origine multiple de la pollution qui est industrielle pour les premiers ; agricole et urbaine pour les seconds et naturelle par l'action de lessivages des formations géologiques pour les troisièmes.

L'évaluation détaillée du risque sur la santé humaine met en relief un danger potentiel de contamination des populations des agglomérations suscitées.

La majorité des points de prélèvement présente des eaux aptes à l'irrigation excepté quelques uns où des mesures adaptées doivent être prises.

Mots clés : Annaba, Eau souterraine, Pollution, Métaux lourds, EDR, Irrigation.

Abstract

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

The study carried out on the quality of superficial and underground water located in the main polluted sectors (méboudja Wadi, the industrial area of Berrahal, urban landfill of Berka Zerga and the plain of Kharézas) shows a strong pollution especially at the wadi and the phriatic water with a metallic contaminating gradient from uphill to downstream. The existence of strong concentrations primarily out of heavy metals such as Chromium, Lead and copper, and in major elements of mineralization like Ca, Mg, SO₄ 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.

The assessment retailed of the risk on the human health puts in relief a potential danger of contamination affecting populations of agglomerations.

The majority of points of withdrawal present water capable to the irrigation except some ones where adapted measures must be the taken into account.

Keywords: Annaba, Groundwater, Pollution, Heavy metals, EDR, Irrigation.

Fig.01. Situation géographique des secteurs étudiés	01
Fig.02. bassin versant Côtiers Constantinois Centre.....	03
Fig.03. Carte d'occupation du sol par l'industrie et la décharge autour du lac Fetzara.....	09
Fig.04. Situation des sites de rejets dans l'oued Méboudja.....	09
Fig.05. Carte d'occupation du sol de la zone industrielle de Berrahal (Implantation des entreprises étudiées).....	10
Fig. 06. Représentation graphique des besoins en eau selon les trois secteurs.....	14
Fig. 07. Répartition spatiale des formations du massif de l'Edough.....	15
Fig.08. Colonne lithologique du massif de L'Edough (D'après Aissa D.E. (1985).....	19
Fig.09. Situation géologique des plaines de la région d'Annaba-Bouteldja.....	20
Fig. 10. Esquisse structurale des plaines de Annaba-Bouteldja (Sonatrach, 1969 in Hani, 2003).....	22
Fig.11. Coupes géologiques entre le massif de l'Edough et Ain Breda.....	24
Fig.12. Coupe par le piémont de la bordure Sud du lac Fetzara (in Belhainra, 2001).....	27
Fig.14. Diagramme du coefficient pluviométrique dans les trois stations.....	32
Fig. 13. Précipitation moyenne mensuelle de la station de Berrahal.....	34
Fig. 14. Précipitation moyenne mensuelle de la station des Salines.....	34
Fig. 15. Précipitation moyenne mensuelle de la station de Pont Bouchet.....	34
Fig.16. Température moyenne mensuelle de la station des Salines.....	36
Fig.17. Diagramme Ombrothermique de la Station de Berrahal.....	37
Fig.18. Diagramme Ombrothermique de la Station des Salines.....	37
Fig.19. Diagramme Ombrothermique de la Station pont Bouchet.....	38
Fig.20. Bilan d'eau Station des Salines (1989-2009)	45
Fig.21. Bilan d'eau Station de Pont Bouchet (1989-2009).....	46
Fig.22. Bilan d'eau Station de Berrahal (1989-2009)	46
Fig.23 . Coupe géologique montrant les différentes nappes de la plaine d'Annaba.....	51
Fig. 24. Coupe au travers la plaine d'Annaba (ANRH, 1976, in Hani, modifiées).	52
Fig. 25. Carte d'inventaire des points d'eau dans la basse plaine de la Seybouse.....	54
Fig. 26. Carte piézométrique de la basse plaine de la Seybouse (Mars2007)	54
Fig. 27. Carte d'inventaire des points d'eaux dans la région de Berrahal.....	55
Fig. 28. Carte piézométrique de la zone de Berrahal (Mars 2008).....	56
Fig.29. Carte d'inventaire des points d'eaux dans la région de Berka Zerga.....	57
Fig. 30. Carte piézométrique de la zone de Berka Zerga (Mars 2007)	57
Fig. 31. Carte d'inventaire des points d'eaux dans la plaine de Kharézas.....	59

Fig.32. Carte piézométrique de la plaine de Kharézas (basse eaux).....	60
Fig. 33. Carte piézométrique de la plaine de Kharézas (hautes eaux).....	60
Fig.34. Carte d'échantillonnage, (Avril 2008).....	65
Fig.35. Carte du PH des eaux de la Méboudja.....	67
Fig.36. Carte de la conductivité des eaux de la Méboudja.....	68
Fig.37. Carte du TDS des eaux de la Méboudja.....	68
Fig.38. Carte du TH des eaux de la Méboudja.....	69
Fig.39. Carte du DBO ₅ des eaux de la Méboudja.....	70
Fig.40. Carte du DCO des eaux de la Méboudja.....	71
Fig.41. Carte du Cr des eaux de la Méboudja.....	72
Fig.42. Carte du Pb des eaux de la Méboudja.....	73
Fig.43. Carte du Fer T des eaux de la Méboudja.....	74
Fig.44. Carte du Cu des eaux de la Méboudja.....	75
Fig.45. Carte du Ni des eaux de la Méboudja.....	76
Fig.46. Carte d'inventaire des points d'eaux et rejets analysés.....	77
Fig. 47. Carte du PH des eaux de Berrahal.....	78
Fig. 48. Carte de la conductivité électrique des eaux de Berrahal.....	79
Fig. 49. Carte de la Dureté des eaux de Berrahal.....	79
Fig. 50. Carte de la DBO ₅ des eaux de Berrahal.....	80
Fig. 51. Carte du Pb des eaux de Berrahal.....	81
Fig. 52. Carte du Fer Total des eaux de Berrahal.....	82
Fig. 53. Carte du Cu des eaux de Berrahal.....	83
Fig. 54. Carte du Mn des eaux de Berrahal.....	84
Fig. 55. Carte du Ni des eaux de Berrahal.....	85
Fig. 56. Carte d'inventaire des points d'eaux analysés.....	86
Fig. 57. Carte du PH des eaux de la plaine d'Oued Zied.....	87
Fig. 58. Carte de la conductivité électrique des eaux de la plaine.....	87
Fig. 59. Carte de la DBO ₅ électrique des eaux de la plaine.....	88
Fig. 60. Carte des teneurs du Cr électrique des eaux de la plaine.....	89
Fig. 61. Carte des teneurs du Pb é des eaux de la plaine.....	90
Fig. 62. Carte des teneurs du Zn électrique des eaux de la plaine.....	90
Fig. 63. Carte des teneurs en Cu des eaux de la plaine.....	91
Fig. 64. Carte des teneurs en Fer des eaux de la plaine.....	91

Fig. 65. Carte du PH des eaux de la plaine de kharézas.....	93
Fig. 66. Carte de la CE des eaux de la plaine de kharézas.....	94
Fig. 67. Carte du STD des eaux de la plaine de kharézas.....	95
Fig. 68. Carte de la DBO ₅ des eaux de la plaine de kharézas.....	96
Fig. 69. Carte du chrome des eaux de la plaine de kharézas.....	97
Fig. 70. Carte du Fer T des eaux de la plaine de kharézas.....	98
Fig.71. Carte du Plomb des eaux de la plaine de kharézas.....	99
Fig.72. Carte du Cuivre des eaux de la plaine de kharézas.....	100
Fig.73. Carte du Zinc des eaux de la plaine de kharézas.....	101
Fig.74. Représentation graphique de L'ACP selon les axes F1et F2 Méboudja Avril, 2008.....	103
Fig.75. Représentation graphique de L'ACP selon les axes F1et F2 Berrahal Mai, 2008.....	105
Fig.76. Représentation graphique de L'ACP selon les axes F1et F2 Plaine de Oued Zied Juin, 2008.....	107
Fig.77. Représentation graphique de L'ACP selon les axes F1et F2Laplane de Kharézas Mai, 2008.....	109
Fig.78. Indice du risque total du Cr dans l'Oued Méboudja Avril, 2008.....	119
Fig.79 . Carte de L'IR du Cr pour l'enfant (Oued méboudja) Avril, 2008	119
Fig.80 . Carte de L'IR du Cr pour l'adulte (Oued méboudja) Avril, 2008.....	119
Fig.81. Indice du risque total du Pb dans la zone industrielle de Berrahal Mars, 2008.....	121
Fig.82 . Carte de L'IR du Pb pour l'enfant (Berrahal) Mars ,2008.....	122
Fig.83 . Carte de L'IR du Pb pour l'adulte(Berrahal) Mars, 2008.....	122
Fig.84. Indice du risque total du Pb dans la plaine de Kharézas Mai, 2008.....	124
Fig.85 . Carte de L'IR du Pb pour l'enfant(Kharézas) Mai, 2008.....	124
Fig.86 . Carte de l'IR du Pb pour l'adulte(Kharézas) Mai, 2008.....	124
Fig.87. Indice du risque total du Cr dans la plaine de L'Oued Zied Juin, 2008.....	126
Fig.88. Indice du risque total du Cu dans la décharge de Berka Zerga Juin, 2008.....	127
Fig.89 . Carte de L'IR du Cr pour l'enfant (Oued Zied) Juin, 2008.....	128
Fig.90 . Carte de L'IR du Cr pour l'adulte (Oued Zied) Juin, 2008.....	128
Fig.91. Diagramme de Wilcox dans l'oued Méboudja Avril, 2008.....	135
Fig.92. Diagramme de Wilcox dans la zone de Berrahal Mai, 2008.....	135
Fig.93. Diagramme de Wilcox dans la plaine de Kharézas Mai, 2008.....	136

Liste Des Tableaux

Page

Tableau.1. Tableau récapitulatif du bassin versant côtier constantinois centre.....	04
Tableau.2 Quelques caractéristiques de sous bassin versant du lac Fetzara.....	04
Tableau.3. Répartition de la population de la région d'Annaba (Source ONS).....	11
Tableau.4. Bilan de la production d'eau (m^3/j).....	13
Tableau.5. Coordonnées géographiques des stations météorologiques.....	30
Tableau.6. Précipitations annuelles (mm) et coefficients pluviométriques des Stations de Berrahal, et les Salines et Pont Bouchet.....	32
Tableau.7. Précipitations moyennes mensuelles (en mm), (1989/2009).....	33
Tableau.8. Températures moyennes mensuelles pour la station des Salines (en °C), (1989/2009).....	35
Tableau.9. Vitesse du vent en (m/s) à la station des Salines (2000-2009).....	38
Tableau.10. Variations des humidités relatives moyennes mensuelles (en%) de La station des Salines (1989/2009).....	38
Tableau.11. Variations des humidités relatives moyennes annuelles (en %) de la station des Salines (1989/2009).....	39
Tableau.12. Résultats de l'ETP obtenus par la formule de « THORNTHWAITE » Station des Salines (1989-2009).....	40
Tableau.13. Résultats de l'ETR obtenus par la formule de « TURC » (1989-2009).....	41
Tableau.14. Résultats du ruissellement obtenus par la formule de «TIXERONTBERKALOFF ROMANTCHOUK » pour les trois stations (1989-(2009)).....	41
Tableau.15. Estimation de l'infiltration par l'équation fondamentale du bilan hydrique.....	42
Tableau.16. Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE » pour la station Des Salines (1989-2009).....	43
Tableau.17. Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE » pour la station de Pont Bouchet (1989-2009).....	43
Tableau.18. Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE » pour la station de Berrahal (1989-2009).....	44
Tableau.19. Paramètres hydrodynamiques des aquifères de la plaine d'Annaba.....	52
Tableau.20. Statistiques élémentaires des résultats analytiques de l'échantillonnage des eaux de la zone d'étude. Avril 2008.....	63

Tableau.21. les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable.....	65
Tableau.22. Normes algériennes des rejets.....	65
Tableau.23. Méthodes de traitement de quelques métaux lourds dans les eaux.....	71
Tableau.24. Inerties totales (Méboudja, ACP avril 2008).....	101
Tableau.25. Matrice de corrélation (Méboudja, ACP Avril 2008).....	101
Tableau.26. Inerties totales (Berrahal, ACP Mai 2008).....	103
Tableau.27. Matrice de corrélation (Berrahal, ACP Mai 2008).....	103
Tableau.28. Inerties totales (Oued Zied, ACP Juin, 2008).....	105
Tableau.29. Matrice de corrélation (ACP Juin 2007).....	105
Tableau.30. Inerties totales (Kharézas, ACP Mai 2008).....	107
Tableau.31. Matrice de corrélation (Kharézas, ACP Mai 2008).....	107
Tab.32. Indice du risque total pour l'usage des eaux de surface (Oued Méboudja) Avril, 2008.....	117
Tab.33. Indice du risque total pour l'usage des eaux souterraines (Berrahal) Mars, 2008).....	119
Tab.34. Indice du risque total pour l'usage des eaux souterraines (plaine de kharézas) Mai, 2008).....	122
Tab.35. Indice du risque total pour l'usage des eaux souterraines (plaine d'oued Zied et La décharge de Berka Zerga Juin, 2008).....	124
Tableau.36. Paramètres de la qualité de l'eau de l'irrigation (Oued Méboudja Mai, 2008.).....	131
Tableau.37. Paramètres de la qualité de l'eau d'irrigation (la zone de Berrahal Mai, 2008.).....	132
Tableau.38. Paramètres de la qualité des eaux de l'irrigation (plaine de Kharézas Mai, 2008).....	133

Tables des matières

Titre	pages
Remerciement	
Abstract.....	
Résumé	
□ □□	
Introduction.....	
Objectif de L'étude.....	

CHAP. I

Cadre Physico-Géographique

I.1. Situation géographique.....	01
I.1.1. Situation régionale	01
I.1.2. Situation de la zone d'étude.....	01
I.2. Situation hydrographique.....	02
I.2.1. Le bassin Côtiers Constantinois Centre.....	02
I.2.2. La pluviométrie.....	04
I.2.3. Le réseau Hydrographique.....	04
I.2.3.1. Caractéristiques de sous bassin versant du lac Fetzara.....	04
I.2.3.1.1 Oued Mellah.....	05
I.2.3.1.1.2 Oued El Hout	05
I.2.3.1.1.3 Oued Zied.....	05
I.2.3.1.1.4 Oued Bou Messous.....	05
I.2.3.2 l'oued Méboudja.....	05
I.2.3.3 L'oued Seybouse.....	06
I.2.3.4 L'oued Boudjemaâ.....	06
I.2.3.5 L'oued forcha.....	06
I.2.3.6 L'oued Sidi Harb.....	06
I.2.3.7 L'oued Bouhdid.....	06
I.3. Contexte socio-économique.....	07
I.3.1. Agriculture.....	07
Les cultures cervelières.....	07
Les cultures industrielles.....	07
Les cultures maraîchers et les légumes secs.....	07
L'arboriculture.....	07

Les terrains incultes	07
Les terrains nus.....	08
I.3.2. L'industrie.....	08
I.4. Population.....	11
Zone faiblement peuplée.....	12
Zone moyennement peuplée.....	12
Zone fortement peuplée.....	12
I.5. Description générale des installations.....	12
I.5.1. Ressource en eau.....	12
I.5.1.2. Besoin en eau.....	13
I.5.1.3. Besoins en eau potable (AEP).....	13
I.5.1.4. Besoins en eau d'industrie (AEI).....	14
I.5.1.5. Besoins en eau d'irrigation.....	14

CHAP. II

Cadre Géologique et Géomorphologique

II.1. Géologie régionale.....	15
II.1.1. Le complexe cristallophyllien.....	15
II.1.2. Subdivision du complexe.....	15
II.1.2.1. L'unité supérieure.....	15
II.1.2.2. L'unité intermédiaire.....	16
II.1.2.3. L'unité de base.....	17
II.1.2.4. Les roches ignées.....	17
II.1.2.4.1. Groupe microgranodioritique.....	17
II.1.2.4.2. Groupe rhyolitique.....	18
II.1.2.5. Les roches sédimentaires.....	18
II.1.2.5.1. Les flyschs ou grés numidiens (Oligo-Miocène).....	18
II.1.2.5.2. Les flyschs sénoniens (Maestrichtien).....	18
II.2. Géologie locale.....	20
Introduction.....	20
II.2.1. Les roches métamorphiques.....	20
II.2.1.1. Les Gneiss.....	21
II.2.1.2. La série des micaschistes.....	21
II.2.1.3. Les calcaires cristallins.....	21

II.2.2. Les roches sédimentaires.....	21
II.2.2.1. Les calcaires marno gréseux (Flysch).....	21
II.2.2.2. Les argiles et grès numidiennes.....	21
II.3. Cadre structural.....	22
II.4. La Géomorphologie.....	23
I1.4.1. Introduction.....	23
II.4.1.1. La Mafragh.....	23
II.4.1.2. La Seybouse.....	23
II.4.2. La montagne.....	23
II.4.3. Les sols et le couvert végétal.....	25
II.4.3.1. Les sols des versants.....	25
II.4.3.2. Les sols alluvionnaires.....	26
II.4.4. La plaine d'Annaba.....	26
II.4.5. Le lac Fetzara.....	26
II.4.6. Les massifs de bordures.....	28
II.4.7. Les plages.....	28
Conclusion.....	29

CHAP. III

Cadre Hydroclimatologique

III. Cadre hydroclimatologique.....	30
III.1. Climatologie de la zone d'étude	30
III.1.1. Stations de mesures.....	30
III.1.2. Type de climat.....	30
III.1.3. Facteurs climatiques.....	31
III.1.3.1. Précipitations.....	31
III.1.3.1.1. Représentation mensuelle des précipitations.....	33
III.1.3.2. Analyse des températures	35
III.1.3.2.1. Variations moyennes mensuelles.....	35
III.1.3.2.2. Diagramme Ombrothermique.....	36
I.1.3.3. Le vent.....	38
III.1.3.4. L'humidité.....	38
III.2. Le bilan hydrique.....	39

III.2.1. Estimation des paramètres du bilan.....	40
III.2.1.1. L'évaporation /l'évapotranspiration.....	40
III.2.1.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP).....	40
III.2.1.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR).....	41
III.2.1.2. Ruissellement (R).....	42
III.2.1.3. Infiltration (I).....	42
III.2.2. La méthode du bilan d'eau selon C.W. Thornthwaite.....	43
III.2.2. Représentation graphique du bilan hydrique.....	45
III.2.3. Interprétation du bilan hydrique.....	47
Conclusion.....	48

CHAP. IV

Aperçu Hydrogéologique

IV. Aperçu hydrogéologique.....	49
IV.1. Introduction.....	49
IV.2. Description des différents aquifères.....	49
IV.2.1. Aquifère superficiel	49
IV.2.1.1. Nappe des gneiss altérés.....	50
IV.2.1.2. La nappe du cordon dunaire.....	50
IV.2.1.3. La nappe des cailloutis des terrasses.....	50
IV.2.1.4. La nappe des alluvions récentes et actuelles.....	50
IV.2.2. Aquifère profond	50
IV.2.2.1. La nappe des cipolins.....	50
IV.2.2.2. La nappe des graviers.....	50
IV.3. La piézométrie.....	53
IV.3.1. Etablissement de la carte piézométrique.....	53
IV.3.1.1. La plaine de l'oued Méboudja.....	53
IV.3.1.1.1. Interprétation de la carte piézométrique.....	54
IV.3.1.2. La zone industrielle de Berrahal.....	55
IV.3.1.2. Interprétation de la carte piézométrique.....	55
IV.3.1.3. La plaine de l'oued Zied - décharge de Berka Zerga.....	57
IV.3.1.3.1. Interprétation de la carte piézométrique.....	57
IV.3.1.4. La plaine de Kharézas.....	58

IV.3.1.4.1. Interprétation de la carte piézométrique.....	59
Conclusion	61

CHAP. V

Caractéristiques Physico-chimiques des eaux

Introduction.....	63
V.1. LA MEBOUDJA - ARCELOR MITALL STEEL	64
V.1.1. Echantillonnage, méthodes d'analyse.....	64
V.1.2. Interprétation des résultats.....	66
V.1.2.1. La température.....	66
V.1.2.2. Le PH.....	67
V.1.2.3. La conductivité électrique (CE).....	67
V.1.2.4. Solide total dissous (TDS).....	68
V.1.2.5. La dureté totale (TH).....	68
V.1.2.6. La DBO5.....	69
V.1.2.7. Demande Chimique en Oxygène (DCO)	70
V.1.2.8. Les métaux lourds.....	71
V.1.2.8.1. Les rejets de métaux lourds dans l'eau.....	71
V.1.2.8.2. Le Chrome (Cr).....	72
V.1.2.8.3. Le Plomb (Pb).....	72
V.1.2.8.4. Le Fer total (Fe. T)	73
V.1.2.8.5. Le Cuivre (Cu).....	74
V.1.2.8.6. Le Nickel (Ni).....	75
VI.2. LA ZONE INDUSTRIELLE DE BERRAHAL ET LE LAC FETZARA.....	76
V.2.1. Echantillonnage, méthodes d'analyse.....	76
V.2.2. Interprétation des résultats.....	77
V.2.2.1. La température.....	77
V.2.2.2. Le PH.....	77
V.2.2.3. La conductivité électrique (CE)	78
V.2.2.4. La dureté totale (TH)	79
V.2.2.5. La DBO5.....	80
V.2.2.6. Les métaux lourds.....	80
V.2.2.6.1. Le Plomb (Pb)	80
V.2.2.6.2. Le Fer total (Fe. T).....	81

V.2.2.6.3. Le Cuivre (Cu)	82
V.2.2.6.4 Le Manganèse.....	83
V.2.2.6.5. Le Nickel (Ni).....	84
VI.3. LA DECHARGE DE BERKA ZERGA.....	85
V.3.1. Echantillonnage et méthodes d'analyse.....	85
V.3.2. Interprétation des résultats.....	86
V.3.2.1. La température.....	86
V.3.2.2 Le PH.....	86
V.3.2.3. La conductivité électrique (CE).....	87
V.3.2.4. La DBO5.....	88
V.2.2.5. Les métaux lourds.....	88
V.2.2.5.1. Le Chrome Cr.....	88
V.2.2.5.2. Le Plomb (Pb).....	89
V.2.2.5.3. Le Zinc(Zn).....	90
V.2.2.5.4. Le Cuivre (Cu)	91
V.2.2.5.5. Le Fer total (Fer T).....	91
V.4. LA PLAINE DE KHAREZAS.....	92
V.4.1. Echantillonnage et méthodes d'analyse.....	92
V.4.2. Interprétation des résultats.....	92
V.4.2.1. La température.....	92
V.4.2.2 Le PH.....	93
V.4.2.3. La conductivité électrique (CE).....	93
V.4.2.4. Solide total dissous (TDS).....	94
V.4.2.5. La DBO5.....	95
V.4.2.6. Les métaux lourds.....	96
V.4.2.6.1. Le Chrome (Cr)	96
V.4.2.6.2. Le Fer Total (Fer T)	97
V.4.2.6.3. Le Plomb (Pb)	98
V.4.2.6.4. Le Cuivre (Cu)	99
V.4.2.6.5. Le Zinc (Zn)	101
V.5. L'Analyse en composante principale.....	101
Introduction.....	101
V.5.1. La zone d'Oued Méboudja.....	103

V.5.1.1. Cycle F1-F2, Plan F1-F2.....	103
V.5.2. La zone industrielle de Berrahal.....	103
V.5.2.2. Cycle F1-F2, Plan F1-F2.....	105
V.5.3. La plaine de l'Oued Zied et la décharge publique.....	105
V.5.3.1. Cycle F1-F2, Plan F1-F2.....	106
V.5.4. La plaine de Kharézas.....	107
V.5.4.1. Cycle F1-F2, Plan F1-F2.....	109
Conclusion.....	110

CHAP. VI

Evaluation Du Risque (EDR) Santé Et Aptitude des eaux à l'irrigation

VI. Evaluation du risque (EDR) sur la santé humaine.....	112
VI.1. La toxicité des métaux lourds.....	112
VI.1.1. Le Chrome (Cr).....	112
VI.1.1.1. Impact sur l'environnement.....	112
VI.1.1.2. Impact sur la santé.....	113
VI.1.2. Le Plomb (Pb).....	113
VI.1.2.1 Impact sur la santé.....	113
VI.1.3. Le Fer total (Fe. t).....	114
VI.1.3.1. Impact sur l'environnement.....	114
VI.1.3.2. Impact sur la santé.....	114
VI.1.4. Le Cuivre (Cu).....	114
VI.1.4.1. Impact sur l'environnement.....	114
VI.1.4.2. Impact sur la santé.....	114
VI.1.5. Le Nickel (Ni).....	115
VI.1.5.1. Impact sur l'environnement.....	115
VI.1.5.2. Impact sur la santé.....	115
VI.1.6. Le Zinc (Zn).....	115
VI.1.6.1. Impact sur l'environnement.....	115
VI.1.6.2. Impact sur la santé.....	116
VI.2. Evaluation des risques des métaux lourds sur la santé.....	116
VI.2.1. Définition des concentrations d'exposition.....	116
VI.2.2. Estimation des doses d'exposition.....	116

VI.2.2.1. Dose journalière d'exposition (DJE)	116
VI.2.2.2. DJE pour le contact dermique avec le sol.....	117
VI.2.2.3. Dose journalière acceptable (DJA).....	117
VI.3. Estimation du risque.....	117
VI.3.1. Estimation du risque non cancérigène.....	117
VI.3.2. Estimation du risque cancérigène.....	117
VI.2. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	129
VI.2.1. Introduction.....	129
VI.2.2. Risque de sodicité et de salinité.....	130
VI.2.3. Calcul des paramètres des eaux à usage agricole.....	130
VI.2.3.1. Interprétation des résultats.....	132
Classe C2S1.....	136
Classe C3S1.....	136
Classe C4S1.....	137
Conclusion.....	138

INTRODUCTION GENERALE

Introduction

Pour assurer son indépendance, industrielle et agricole, l'Algérie avait lancé deux révolutions, l'une industrielle et l'autre agricole. Le but de ces deux révolutions était d'arriver à une auto prendre en charge des matières premières nationales. A ce titre et indépendamment des secteurs étudiés, et de leurs vocations primaires (agricoles ; pastorales...), des complexes géants ont été édifiés sur tout le territoire de la partie Nord Est d'Algérie, nous citons les cimenteries, les complexes pétroliers les raffineries, la sidérurgie, la valorisation des terres agricoles et les micros entreprises particulièrement celles consacrées à l'industrie artisanale (tanneries, poteries...). Ce panel de transformation mis en place au cours d'un temps très court, n'a pas pris en considération l'impact de ces transformations sur l'environnement et la ressource en eau. Un autre problème est venu s'ajouter automatiquement aux transformations déjà énumérées, en effet pour rapprocher les travailleurs de leurs lieu de travail, des villes entières ont été construites à la vite au mépris des règles élémentaires d'assainissement. de ce fait les eaux usées sont rejetées dans la nature sans traitement préalable, générant souvent des problèmes de cross connexion, entre les réseaux (eaux usées et eaux potable).

Par le biais de ce présent travail, nous allons essayer de mettre en évidence les impacts de ce développement.

En effet après plus de trente années de mise en service de ces mastodontes, la dégradation de l'environnement n'est plus un sujet tabou, l'algérien de la ville d'Annaba, subit dans sa vie de tous les jours les aléas de cette dégradation.

Les pollutions sont nombreuses et différentes d'un secteur à un autre et souvent le même secteur est touché par différentes pollutions (Méboudja, Berrahal...)

Les résultats en notre possession et les enquêtes réalisées, nous permettent de distinguer les pollutions suivantes :

La pollution atmosphérique, cette dernière générée par l'industrie sidérurgique, pétrolière, particulièrement lors de la combustion des gaz, les cimenteries, ces dernières se sont multipliées, et ont été installées dans des zones où la ressources en eau est proche de la surface du sol, cette industrie expose les riverains aux maladies respiratoires (asthme).

La pollution par l'industrie lourde (l'usine sidérurgique) a entraînée une pollution qui a affecté la vie des citoyens. Un regard sur les chiffres des maladies à transmission hydrique donne le vertige.

Objectif de l'étude

Dans ce papier, nous avons essayé de faire le point sur l'état de la pollution des eaux superficielles et souterraines de la plaine d'Annaba dans les secteurs qui semblent être les plus sujettes à la pollution (l'oued Méboudja, la zone industrielle de Berrahal, la plaine de l'Oued Zied et la décharge de Berka Zerga, la plaine de Kharézas), à travers les chapitres suivants :

Le premier chapitre, présente une vue générale sur la zone d'étude, l'infrastructure et l'équipement, ainsi que l'activité des différentes entreprises dans les zones industrielles.

Le deuxième chapitre, est consacré à l'étude du contexte géologique, géomorphologique et structural de la région. Nous montrons la géologie du massif de l'Edough et les accidents tectoniques qui l'affectent.

Troisième chapitre, nous essayerons de définir les caractéristiques hydro climatologiques et d'évaluer les différents termes du bilan hydrique pour pouvoir donner une estimation de la réserve en eau de la nappe.

Quatrième chapitre, consacré à l'étude hydrogéologique ; la limitation des aquifères ainsi que la détermination des paramètres hydrodynamiques semblent très importants. On se sert des cartes piézométriques pour déceler le sens d'écoulement, les zones d'alimentations et d'accumulation des eaux.

Cinquième chapitre, partie essentielle de ce mémoire, il est consacré à l'hydrochimie, La connaissance des caractéristiques physico-chimiques des eaux, représente une partie importante du coût d'exploitation d'un réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines. L'état hydrochimique devrait permettre une meilleure compréhension des mécanismes d'échange et d'alimentation et de caractériser, entre autres, l'évolution spatiale du chimisme des eaux des aquifères étudiés. Dans ce chapitre nous montrerons l'effet polluant de quelques rejets des entreprises d'El Hadjar et de la zone industrielle de Berrahal surtout en éléments traces métalliques, nous suivrons l'évolution spatiale de cette pollution dans l'eau et nous essayerons également de déterminer l'origine de la pollution.

Pour atteindre ces objectifs, les données analytiques acquises dans le réseau de mesure de la zone d'étude ont été traitées par le logiciel informatique (ACP).

Sixième chapitre, Dans cette optique premièrement, nous allons traiter les méthodes d'évaluation du risque sur la santé humaine « EDR santé », qui tient compte des teneurs en

ETM « éléments toxiques métalliques » et des différents scénarios de l'usage des eaux superficielles et souterraines des secteurs étudiés.

Deuxièmement, nous allons mettre en évidence l'utilisation à des fins agricoles des eaux de la région, en essayant d'évaluer l'aptitude de leurs eaux à l'irrigation et les classer en utilisant les diagrammes de Wilcox. Cette méthode procure donc, en fonction des caractéristiques hydrochimiques, une indication générale de la répartition de l'indice du risque pour les éléments toxiques.

CHAP. I

CADRE PHYSICO-GEOGRAPHIQUE

Au Sud: la chaîne numidique orientale (1411m), la dépression du lac Fetzara et la commune de Boumaiza.

Enfin à l'Est: Le prolongement oriental du système aquifère Annaba-Bouteldja, les marécages de Mekrada.

I.2. Situation hydrographique

I.2.1. Le bassin Côtiers Constantinois Centre

On localise notre zone d'étude dans le bassin versant côtiers constantinois centre (Fig.02) qui a une Superficie de l'ordre de 5582 Km², soit 48.5% de la superficie totale du bassin Côtiers Constantinois. Le bassin versant se caractérise par une agriculture traditionnelle et moderne, les cultures maraîchères, l'irrigation mixte, les céréales et l'arboriculture. L'industrie est concentrée autour des agglomérations principales; Skikda (Sonatrach), Azzaba et Berrahal.



I.2.2. La pluviométrie

Sur le bassin les précipitations varient en moyenne de 650 mm à 1800 mm, pour l'ensemble du bassin il existe 17 stations pluviométriques et 05 stations hydrométriques suivies par l'Agence Nationale des Ressources hydrauliques (A.N.R.H).

I.2.3. Le réseau Hydrographique

Il présente un chevelu hydrographique dense totalisant un réseau de plus de 4200 Km et compte plus de 44 oueds principaux (Fig. 02).

Tableau.1. Tableau récapitulatif du bassin versant côtier constantinois centre.

Ressources souterraines	Superficie (Km ²) : 4962	Potentialités des nappes (hm ³ /an), (selon P.N.E, 2000) (1) : 32.5
Ressources superficielles (hm ³ /an), (selon P.N.E, 2000)	324.16	
Barrages	Nombre : 04	Capacité (hm ³ /an) : 312
Retenues collinaires	Nombre : 101	

(1) : P.N.E ; Plan Nationale de l'Eau.

A l'extrême Sud et Ouest de notre zone d'étude, est localisé le sous bassin versant du lac Fetzara qui porte le numéro de cote (03 13), (Fig. 02).

I.2.3.1. Caractéristiques de sous bassin versant du lac Fetzara**Tableau.2** Quelques caractéristiques de sous bassin versant du lac Fetzara.

Sous bassin versant du lac Fetzara			
Numéro de côte	03 13		
Potentiel des nappes (en hm ³ /an), selon P.N.E	13.4		
Superficie (Km ²)	515		
Retenues collinaires	Nombre : 31	Capacité (m ³) :	Destination : irrigation
Alimentation en eau potable	Nombre de réservoirs :	Volume (m ³) : 5920	

Le réseau hydrographique de sous bassin (Fig. 02) est constitué des oueds :

I.2.3.1.1 Oued Mellah

Il prend sa source aux alentours de l'oued El Kebir ouest, d'une longueur à peu près de 08 Km ; il draine une surface de 47 Km² et qui se fait du Sud Ouest vers le Nord Est en se reliant au canal d'assèchement au contact du lac Fetzara.

I.2.3.1.1.2 Oued El Hout

C'est le plus long cours d'eau qui alimente le lac Fetzara (10 Km de longueur), il s'écoule du Sud vers le Nord et draine une surface de 81 Km².

I.2.3.1.1.3 Oued Zied

Il prend sa source à Kef Sebâ, la direction de l'écoulement est du Nord vers le Sud Ouest sur une longueur d'environ 10.5 Km, il draine une surface de 19 Km².

I.2.3.1.1.4 Oued Bou Messous

Il a une longueur de 09 Km, il s'écoule de Sud vers le Nord. Tous ces oueds se collectent au niveau du lac Fetzara, ils sont caractérisés par un régime très irrégulier, torrentiel en hiver et sec en été. Le drainage du lac Fetzara est effectué tout au long de l'année quelque soit le débit par le canal principal. L'eau est évacuée vers la basse plaine de la Seybouse (l'extrême Est de la zone d'étude) par :

I.2.3.2 Oued Méboudja

Le collecteur intermédiaire entre le lac Fetzara et l'oued Seybouse. Il draine une superficie de 203 km² et constitue le collecteur des eaux du bassin versant du lac Fetzara d'une superficie de 515 km² et du bassin versant de l'oued Ressoul, avec un maximum de 20 m³/s. Il présente une crue quinquennale de 20 m³/s (Bounoune et al, 1986) ; ceci est dû au mauvais drainage au Sud de complexe sidérurgique d'El Hadjar (ARCELOR MITALL STEEL) et une croissance importante des mauvaises herbes.

La Méboudja rejoint oued Seybouse à environ 8 kilomètres de l'embouchure. Le débit de l'oued Méboudja est moins important que celui de l'oued Seybouse. Une estimation de son débit (la Méboudja) par jaugeage au flotteur pendant la période de Février -Décembre 1999 a donné des valeurs ne dépassent pas les 20 m³/s ; ces mesures ont permis de mettre en évidence une relation entre les précipitations et les débits, car les forts débits enregistrés correspondent à la saison humide (forte pluie) alors que les faibles débits correspondent aux faibles précipitations.

I.2.3.3 Oued Seybouse

C'est le second oued d'Algérie après l'oued Chélif, il se situe au Nord-Est de l'Algérie, il s'étend vers le Sud jusqu'à la fin de l'Atlas Saharien d'où il prend naissance dans les hautes plaines de Heracta, et des Sellaoua sur une hauteur de 800 à 1000 mètres, se dirigeant vers le Nord pour se terminer dans la plaine littorale de Annaba et se jeter finalement dans la mer Méditerranée. Il s'étend sur une distance de 240 Km passant par les territoires de la wilaya de Souk Ahras, Guelma, Annaba et El-taraf. L'Oued Seybouse se déverse dans la mer avec un débit d'environ de 400 à hm³/an. Il Présente l'axe de drainage d'un bassin versant de 6471 km².

La partie Nord Ouest, dans le secteur de la plaine de kharézas, est drainée par quatre oueds principaux :

I.2.3.4 Oued Boudjemaâ

Il a une longueur d'environ 11km et se trouve dans une topographie plane. Il est marqué par plusieurs affluents qui draine une superficie de 4.685 ha.

I.2.3.5 Oued Forcha

Situé dans l'extrême NW de la zone étudiée, c'est un affluent de l'oued Eddeheb. Il représente l'axe de drainage d'un bassin versant de 712 ha

I.2.3.6 Oued Sidi Harb

C'est le second affluent de l'oued Eddeheb son bassin versant a une superficie de 875 ha.

I.2.3.7 Oued Bouhdid

Représente le dernier affluent de l'oued Ed-Hab. à un bassin versant de 2.182 ha.

I.3. Contexte socio-économique

La réussite d'un développement socio-économique est tributaire de la disponibilité en eau. L'eau dans la région d'étude est assez disponible pour permettre le soutien des activités socio-économiques.

I.3.1. Agriculture

La zone d'étude fait partie de la zone agricole méditerranéenne. Les cultures qui y sont pratiquées sont principalement des cultures d'hiver pendant la période principale de précipitation, des cultures d'été pendant la période sèche ou l'on pratique l'irrigation, et d'autres produits qu'on peut cultiver toute l'année ; On cite :

Les cultures cervelières

La région d'étude présente des grandes étendues favorables à ce type de pratiques culturales. Elles s'étendent même sur les endroits à topographie chahutée. Blé dur, blé tendre et orge constituent les principales cultures.

Les cultures industrielles

Ce sont principalement le tabac et la tomate industrielle. Cette dernière est une spécialité des wilayas d'Annaba, El Tarf et Skikda qui produisent environ 80% de la production nationale.

Les cultures maraîchers et les légumes secs

Ils sont moins répandus dans la région d'étude. Parmi ces cultures, on cite la pomme de terre, pastèque, melon, pois chiche.

L'arboriculture

Elle est moins présente dans cette région. Elle est représentée essentiellement par des agrumes, les noyaux et les pépins, les oliviers et la viticulture. On note que les oliviers sont des plantations oléicoles à l'état sauvage ou travaillé. Ce type d'arbre parfois associé à des cultures annuelles, a souvent été planté sur des terrains en pente ou en plat.

Les terrains incultes

Ils occupent une grande superficie surtout dans la région de Lac Fetzara. La plupart de ces terrains incultes sont des terrains inondés pendant la pluie. Au niveau de la plaine, la

région dans son ensemble est vouée aux céréales et à la tomate industrielle. Après les mois humides, en juin, le paysage prend un aspect désertique.

Les terrains nus

Ce sont des terrains non occupés par une quelconque végétation. Ces terrains sont généralement situés au nord de la région et au niveau de la lunette sableuse qui sépare le Lac Fetzara et la plaine Ouest d'El Hadjar.

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.3.2. L'industrie

Elle occupe dans la région une place importante, elle se positionne surtout en bordures de l'oued Méboudja et la Seybouse Il y a :

La zone industrielle de Kalitoussa à Berrahal.

- L'industrie lourde (SIDER, S.N.V.I., FERROVIAL),
- L'industrie pétrochimique (ASMIDAL),
- La zone industrielle de l'Allelik
- L'industrie légère (ORELAIT) ainsi que de nombreuses PMI (petites et moyennes industries) généralement agroalimentaires ou de transformation (zones industrielle Méboudja I et II).

D'autres entreprises sont disséminées dans la plaine. Ces différentes entreprises sont classées suivant leur activité et leur degré de pollution (Fig.3, 4 et 5) en :

- Industries particulièrement polluantes : (Sider, Kalitoussa, Méboudja I et II, Asmidal, Orelait et Génis-Sider);
- Industries alimentaires et agro-alimentaires : (Agrifed,...etc.)

L'ensemble des rejets urbains et industriels se jette directement dans les oueds, sauf celui de l'usine ASMIDAL qui envoie ces rejets au niveau de la mer.

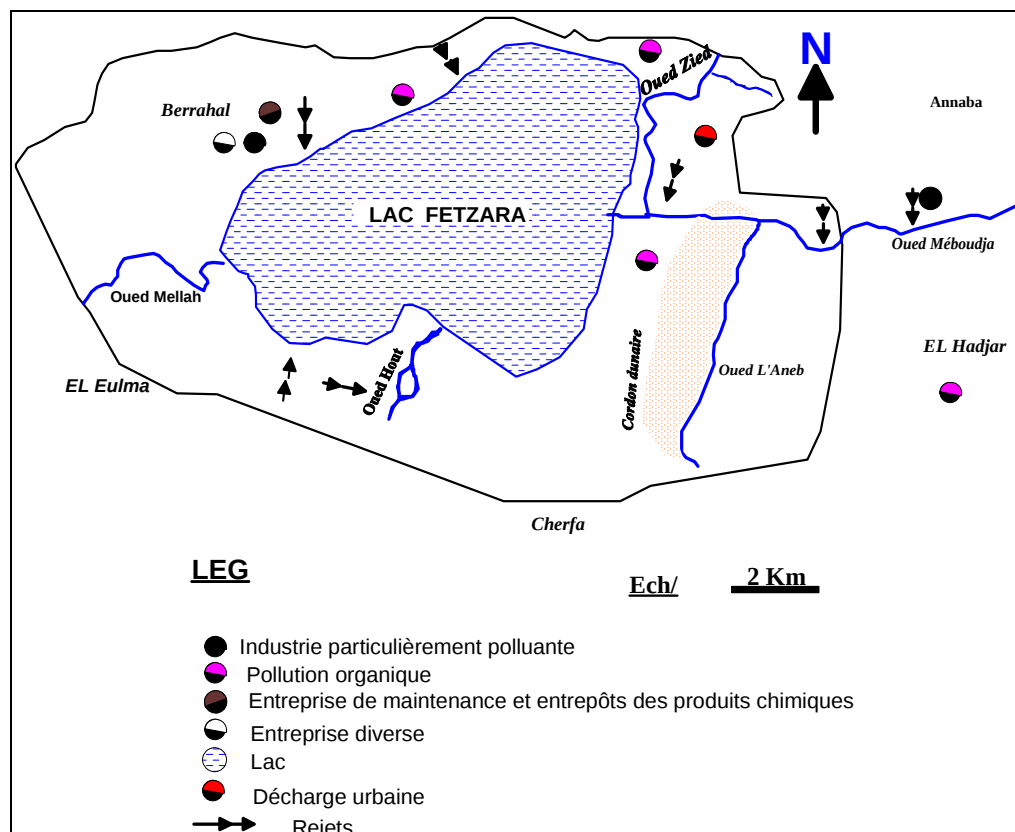


Fig.03. Carte d'occupation du sol par l'industrie et la décharge autour du lac Fetzara

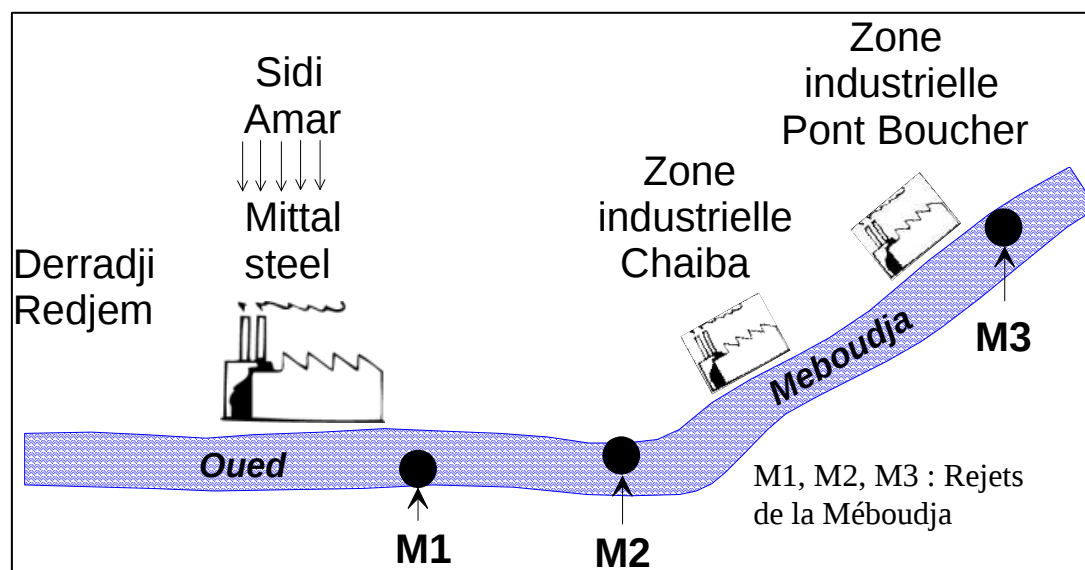
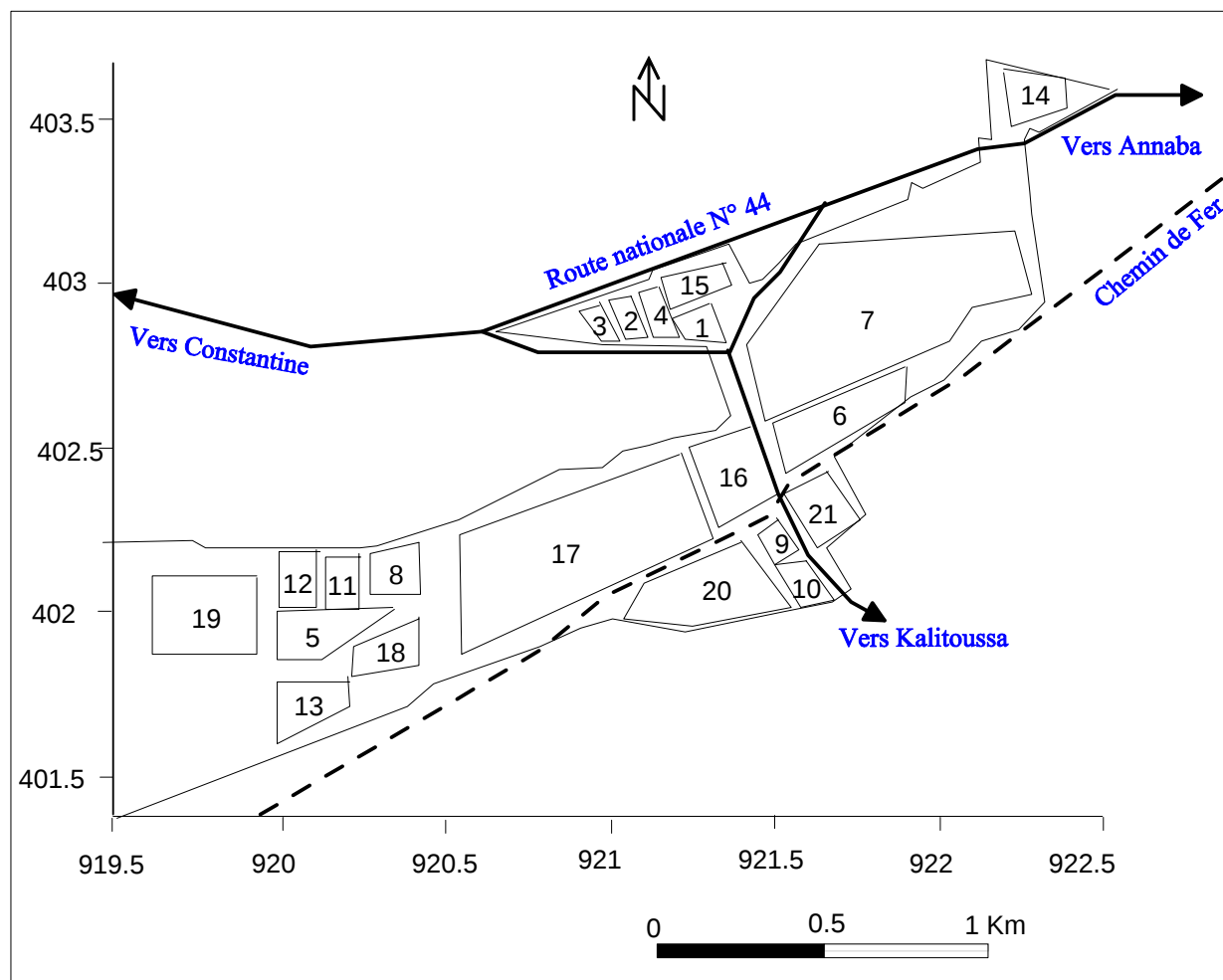


Fig.04. Situation des sites de rejets dans l'oued Méboudja



Légende de la carte

- | | |
|--|--|
| 1 Fabrication de biscuit 7 épis | 12 KIA Motors, point de vente |
| 2 Fabrication des produits d'isolation | 13 Laiterie Fetzara |
| 3 Fabrication de carrelage | 14 Pattes alimentaires, Saba |
| 4 Pattes alimentaires Mahbouba | 15 Sarl Espap TPS (treillis à soudé) |
| 5 Savonnerie Nozha | 16 Distribution des produits pharmaceutiques |
| 6 ENMTP, travaux publics | 17 Sarl maintenance (G.e.s.i.bat) |
| 7 NAFTAL | 18 Laiterie El Meida |
| 8 Production d'huile d'olive | 19 Boissons gazeuses Bona |
| 9 Fabrication de carrelage Meraka | 20 Protuil, galvanisation à chaud |
| 10 Production du semoule Beldi | 21 Stockage de ferrailles, COPRAC |
| 11 Azatis, fabrication des sacs tissés | |

Fig.05. Carte d'occupation du sol de la zone industrielle de Berrahal
(Implantation des entreprises étudiées).

I.4. La Population

D'après le service communal-recensement 2008 et la direction de planification et d'aménagement du territoire, la wilaya de Annaba totalise une population de 588693 (tab.3.

Tableau.3. Répartition de la population de la région d'Annaba (Source ONS 2008).

Commune	Cités	Estimation 2008
Annaba		233927
Oued El-Aneb	Laïb Amar, Oued Zied 1, Zone éparsé	21000
El-Hadjar	El-Kerma, Houraïcha, Sainte Marie, El-Hadjar, Zone éparsé	38436
Sidi Amar	Sidi Amar, Hadjar-Eddiss, Derradji Redjem, Bergouga, Derradji Redjem, El-Gantra, Zone éparsé	80292
El-Eulma	El-Eulma, El-Hashassia, Sidi-Hamed, Zone éparsé	10463
Cheurfa	Cheurfa, Azizi Ahmed, Zone éparsé	9883
El-Bouni	Oued Zied 2, El-Bouni, Zone éparsé	130568
Berrahal	Guerch, Kalitoussa, Berrahal, Zone éparsé	22278
Seraïdi		7451
Treat		6066
Chetaïbi		8003
Total		588693

La croissance industrielle dans la wilaya d'Annaba pendant les années 70, a conduit à un exode rural massif des populations vers celle-ci. Cet accroissement de la population dans les grandes communes a provoqué l'extension des zones urbanisées.

Les problèmes des terrains fonciers limités dans ces communes, aggravent celui du logement. Une politique des nouvelles cités lancées a pour objectif de contribuer à l'amélioration des conditions de vie pour la population.

C'est pour ces raisons qu'on trouve le long du piémont des nouvelles cités implantées de part et d'autres, qui sont en extension continue. Parmi elles, on cite Oued Zied, Berka Zerga, Hadjar Eddiss et Bergougua.

Les derniers recensements ont permis d'apprécier la répartition de la population, qui présente une grande intégralité.

Elle se concentre le plus souvent autour des zones industrielles, terres agricoles et des points d'eau. On distingue trois zones :

➤ ***Zone faiblement peuplée***

Elle se localise aux alentours du Lac Fetzara, et plus précisément au sud. Elle comprend les Cités de : El Eulma, Cheurfa, El Hashassia, Aziz Ahmed, Sidi Hamed et El Gantra. Ce sont des zones dépourvues d'axes de communication et où, les terres cultivables sont rares.

➤ ***Zone moyennement peuplée***

Ce sont les Cités : d'El Kerma, Houraïcha, Griche, Hadjar Eddiss, Oued Zied, Berka Zerga et Derradji Redjem. Ce sont des zones agricoles avoisinantes des zones industrielles.

➤ ***Zone fortement peuplée***

Elle correspond aux chefs lieux des communes de Sidi Amar, El Bouni et El Hadjar. Ce sont des zones à vocation agricole et industrielle, où, les moyens de communication sont développés.

I.5. Description générale des installations

I.5.1. Ressource en eau

La ville d'Annaba est alimentée par la combinaison de ressources superficielles à partir des barrages de Cheffia et de Mexa et de ressources souterraines provenant des champs de captage de Bouteldja, Salines et Pont Bouchet.

Le barrage Cheffia, d'un volume régularisable de 95 hm³/an, assure l'alimentation en eau d'Annaba et l'irrigation du périmètre Bounamoussa (16500ha). En période normale, en dehors des cycles de sécheresse, cet ouvrage permet la mobilisation de 45Hm³/an pour

Annaba. Le barrage Mexa, d'un volume régularisable de $44\text{Hm}^3/\text{an}$, assure l'alimentation de la wilaya d'El Tarf et de la wilaya d'Annaba. Cet ouvrage permet la mobilisation de 16 million de m^3/an pour Annaba.

Les champs de captage sont composés de 32 forages à Bouteldja produisant $28000\text{m}^3/\text{j}$, 9 forages aux Salines dont 7 forages fonctionnant 24h/24h assurent $10000\text{m}^3/\text{j}$ et 5 forages à Pont Bouchet pouvant assurer $3000\text{m}^3/\text{j}$ (actuellement 1 seul forage en exploitation). Ces derniers forages produisent une eau de mauvaise qualité ($\text{RS} = 1.9$ à 2.2 g/l), ils ont été réalisés en 1990 dans le cadre d'un programme d'urgence pour faire face à une période de sécheresse. Le Tableau (4) montre bien la quantité d'eau mobilisable à travers les ressources disponibles et son affectation d'après SEATA (Société de l'Eau et l'Assainissement de Tarf et Annaba).

Tableau.4. Bilan de la production d'eau (m^3/j). D'après SEATA

Ressources	Soutirages	Affectation		
		Annaba	El Tarf	Ispat
Barrage Cheffia	130 000	90 000	10 000	30 000
Barrage Mexa	55 000	28 000	27 000	
Nappe Bouteldja	36 000	20 100	15 900	
Nappe Salines	7 000	7 000		
Nappe Pont Bouchet	1 000	1 000		
Total (m^3/j)	229 000	146 100	52 900	30000

I.5.1.2. Besoin en eau

En fonction de l'accroissement démographique et du développement de l'industrie et de l'agriculture, les besoins en eau dans les divers secteurs de consommation (domestique, industriel et agricole), s'accroissent de jour en jour. Ils sont globalement estimés à près de 200 l / j / hab.

I.5.1.3. Besoins en eau potable (AEP)

Les besoins en eau domestiques représentent environ 52 % de l'ensemble des besoins. Cela est dû au développement démographique considérable (58869 hab.). La dotation moyenne est de 140 l / j / hab. dont la moyenne nationale est de 150 l / j / hab.

I.5.1.4. Besoins en eau d'industrie (AEI)

La consommation industrielle (AEI) est considérée comme le deuxième consommateur d'eau avec un taux de 31 % de la totalité des besoins de la plaine. Toutefois, cette dominance est due au réseau industriel plus intensif. L'usine sidérurgique d'El Hadjar (ARCELOR MITALL STEEL) utilise la quasi-totalité de cette quantité.

I.5.1.5. Besoins en eau d'irrigation

Comme il est figuré dans le diagramme ci-dessous (Fig.06), les besoins en eau d'irrigation sont de l'ordre de 17 %.

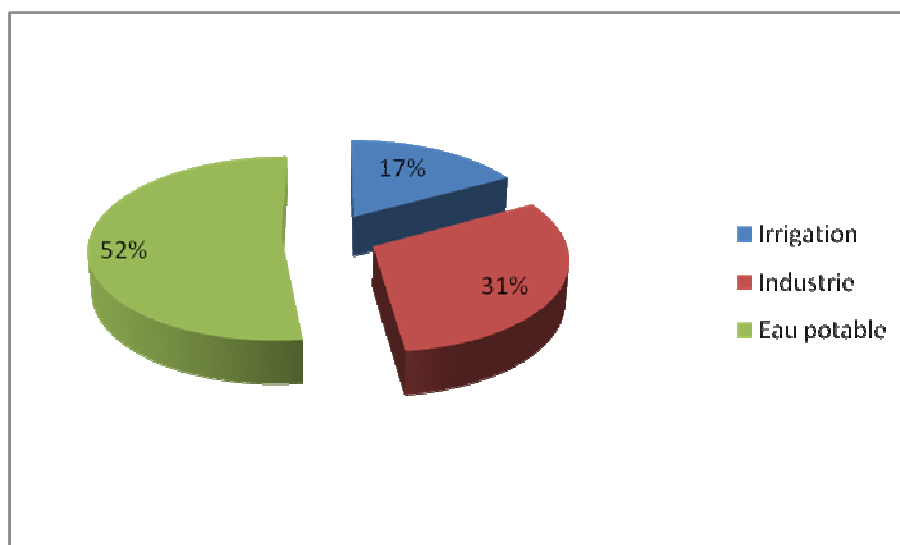


Fig. 06. Représentation graphique des besoins en eau selon les trois secteurs, D'après, SEATA 2009.

CHAP. II

CADRE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

II.1. Géologie régionale

II.1.1. Le complexe cristallophyllien

En Algérie, le massif de l'Edough est le plus oriental des massifs cristallophylliens du littoral (Fig. 07), (Gleizes et al 1988). C'est un massif cristallin externe de la chaîne Alpine périméditerranéenne, considéré souvent comme étant la continuité des massifs internes kabyle de la chaîne des Maghrébides.

Il se présente en un brachyanticlinal à prédominance de gneiss entouré de Micaschistes à intercalations de marbres, d'amphibolites et de schistes satinées (J.M. Vila 1980), il s'étend de 50 Km de long sur 20 km de large et d'orientation axiale N60 (Fig.7).

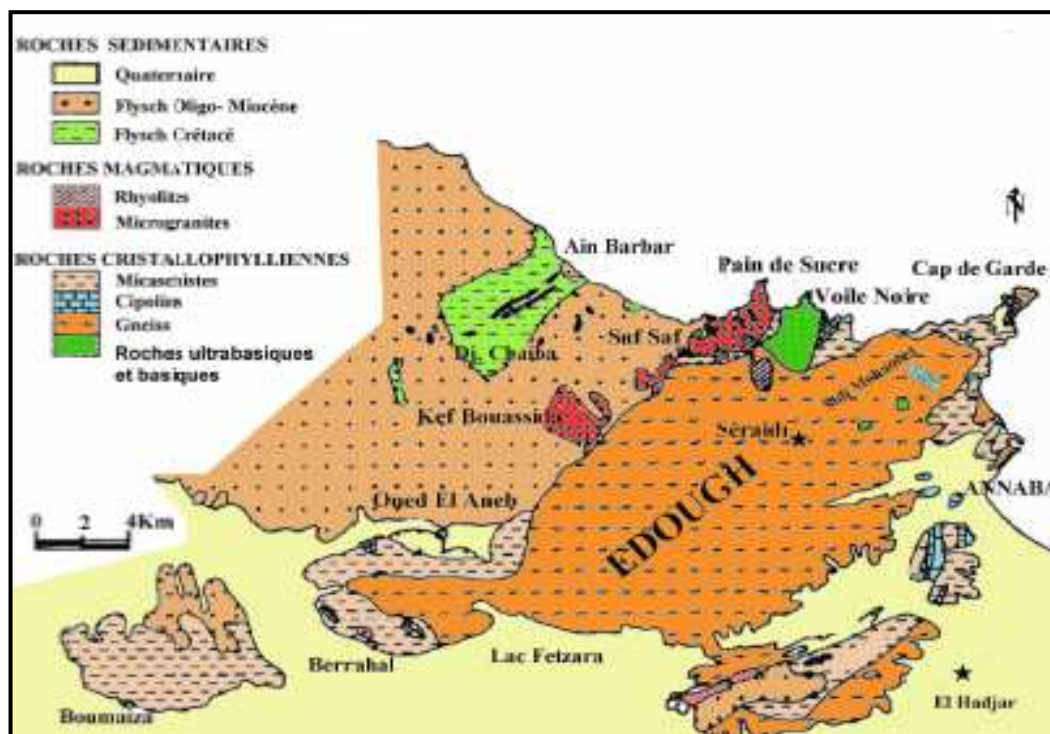


Fig. 07. Répartition spatiale des formations du massif de l'Edough, (Hilly, 1962)

II.1.2. Subdivision du complexe

D'après les travaux de G. Gleizes et al (1988), le massif de l'Edough pourrait être subdivisé en trois unités (Fig. 07): L'unité supérieure, l'unité intermédiaire et l'unité de base.

II.1.2.1. L'unité supérieure

Elle affleure essentiellement au Cap de Garde, elle est composée de micaschistes à

grenats, de séricitoschistes, de chloritoschistes et de quartzites. Elle contient des niveaux caractéristiques de tourmaline qui forment parfois des amas ou des lentilles souvent très continue. La découverte d'Acritarches dans les intercalations de quartzites et de lydiennes précise l'âge paléozoïque de cette série (Ilavsky et Snopkova, 1987). Les schistes contiennent une grande quantité de grenats et de baguettes d'andalousite et de staurotide. Vers sa base s'intercale une dalle de gneiss ocellés dont la puissance varie de 10 à 100 m issue de la déformation d'un leucogranite : il s'agit en effet de roches claires pratiquement dépourvues de biotites, toujours riche en tourmaline à grains grossiers et à texture porphyroïde, il existe aussi des faciès à grain fin d'aspect leptynitique. Les horizons de tourmaline dans les micaschistes sont plus nombreux à l'approche de la lame de gneiss.

Le Contact entre cette unité et l'unité intermédiaire est anormal, matérialisé par une faille majeur (le cas du Cap de Garde).

II.1.2.2. L'unité intermédiaire

Elle est caractérisée par une alternance de micaschistes à grenats et parfois même à disthène et de calcaires métamorphiques.

Les micaschistes ne forment que des lames d'épaisseur réduite (quelques mètres à une centaine de mètres), sauf dans le secteur périphérique de Cap de Garde où ils réapparaissent en position verticale avec une épaisseur cumulée de plus de 1000 m.

Ces micaschistes riches en feldspaths sont jalonnés par un ou plusieurs horizons de marbres constitués presque uniquement de calcite bien cristallisée et d'autres minéraux accessoires comme la muscovite, phlogopite, pyrite, diopside, trémolite, grenat.

Outre les marbres, on rencontre aussi des amphibolites et des pyroxénites souvent réduites à des amas plus au moins continus à lenticulaires.

Au Cap de garde le contact entre les marbres et les micaschistes est souligné par des skarns. Le contact entre cette série et la série gneissique de base est parallèle à la foliation régionale (Hamor D, 1992).

II.1.2.3. L'unité de base

On y distingue des gneiss clairs, des gneiss sombres et des leptynites. L'ensemble constitue le coeur de l'anticlinal et sont observés à la périphérie grâce aux accidents tectoniques. Cette unité gneissique est riche en matériel quartzo-feldspathique, en micas, sillimanite et parfois tourmaline.

Les gneiss clairs sont pauvres en biotite et sont caractérisés par de gros yeux de feldspath de 3 à 5 cm. Quand aux gneiss sombres, on les trouve à la périphérie du massif tel que le Cap de Garde, au Nord du massif de Beléléita et au Sud Ouest de Berrahal. Ce sont des gneiss finement lités, très riches en biotite, renfermant des grenats et de la tourmaline.

Les leptynites sont des niveaux holo-leucocratiques riches en quartz, feldspath, muscovite et renfermant parfois des grenats et de la tourmaline qui forment souvent des linéations parallèles à la foliation.

II.1.2.4. Les roches ignées

Selon J. Hilly (1962), les roches ignées du massif de l'Edough font partie d'une même série calco-alcaline et peuvent être divisées en quatre groupes :

- Groupe microgranodioritique.
- Groupe rhyolitique.
- Groupe dioritique.
- Groupe andésitique.

II.1.2.4.1. Groupe microgranodioritique

C'est le groupe le plus important dans le massif de l'Edough. Il se présente selon le cas, en dykes, en petits pointements, en bosses ou laccolites plus ou moins étendues. La profondeur de mise en place diminue de l'Est à l'Ouest. Il affleure à oued El Afris (ou pain de sucre) et dans la région de Saf-Saf au Nord de l'Edough. Il recoupe les gneiss et les micaschistes. Le quartz est rarement visible à l'œil nu (Djerrab et Gherbi, 1991).

II.1.2.4.2. Groupe rhyolitique

On le rencontre au Nord Ouest de l'Edough, il se présente soit en filon soit en massif. Les rhyolites massives présentent des phénocristaux millimétriques de quartz, feldspath, biotite et tourmaline.

Il est à noter la présence d'enclaves de gneiss, de micaschistes, de grés numidien, flysch Sénonien et microgranite au sein de rhyolites. Par contre les filons rhyolitiques sont des roches blanchâtres constituées d'une matrice microlitique, de biotite et quartz. Quand aux groupes dioritiques et andésitiques, ils ne se situent pas exactement dans le massif de l'Edough, mais plutôt du côté du Cap de Fer et de Chetaïbi.

II.1.2.5. Les roches sédimentaires

On distingue deux types de flyschs recouvrant partiellement le massif :

II.1.2.5.1. Les flyschs ou grés numidiens (Oligo-Miocène)

Montre une alternance de grosses barres métriques à décamétriques de grés grossier à dragées de quartz et de minces couches pelitiques. Les flyschs numidien reposent sur les flyschs sénonien et sont séparés par une zone bréchique intensément silicifiée et chloritisée.

II.1.2.5.2. Les flyschs sénoniens (Maestrichtien)

Ils affleurent sous le numidien en fenêtre près d'El Mellaha et Saf-Saf au Nord Ouest du massif. Ils sont transgressifs sur le socle métamorphique. Ils présentent l'aspect du schiste argileux de teinte noire bleutée devenant verdâtre suite à l'altération et intercalé avec 20 à 50 cm du calcaire sableux et une microbrèche calcaire de couleur gris bleuté (Laouar, 2002). On note aussi des indices de traces de matériels volcano-clastique (fragment de lave vitreuse ou microlitique). La figure n°8, montre les différentes formations lithologiques qui constituent le massif métamorphique de l'Edough.

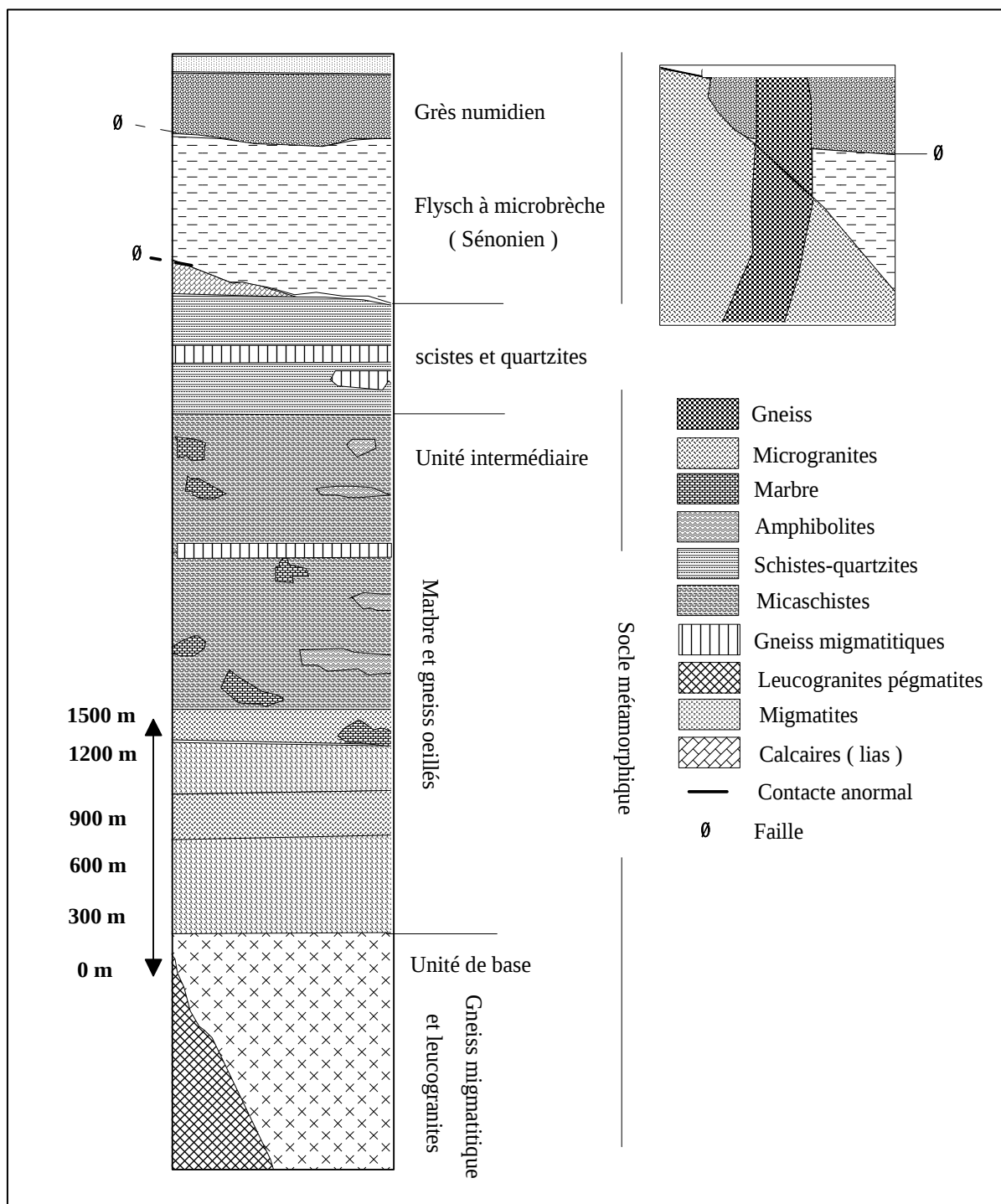


Fig.08. Colonne lithologique du massif de L'Edough (D'après Aissa D.E. (1985))

II.2. Géologie locale

Introduction

L'étude géologique du secteur étudié (Fig.09), permet la mise en évidence de plusieurs formations géologiques à savoir, de bas en haut, dans un ordre chronologique ; le socle métamorphique (Le gneiss, Les micaschistes et Les calcaires cristallins) et les formations sédimentaires (calcaire marno-gréseux, les argiles numidiennes, le grès numidien, les éboulis de pentes et les alluvions).

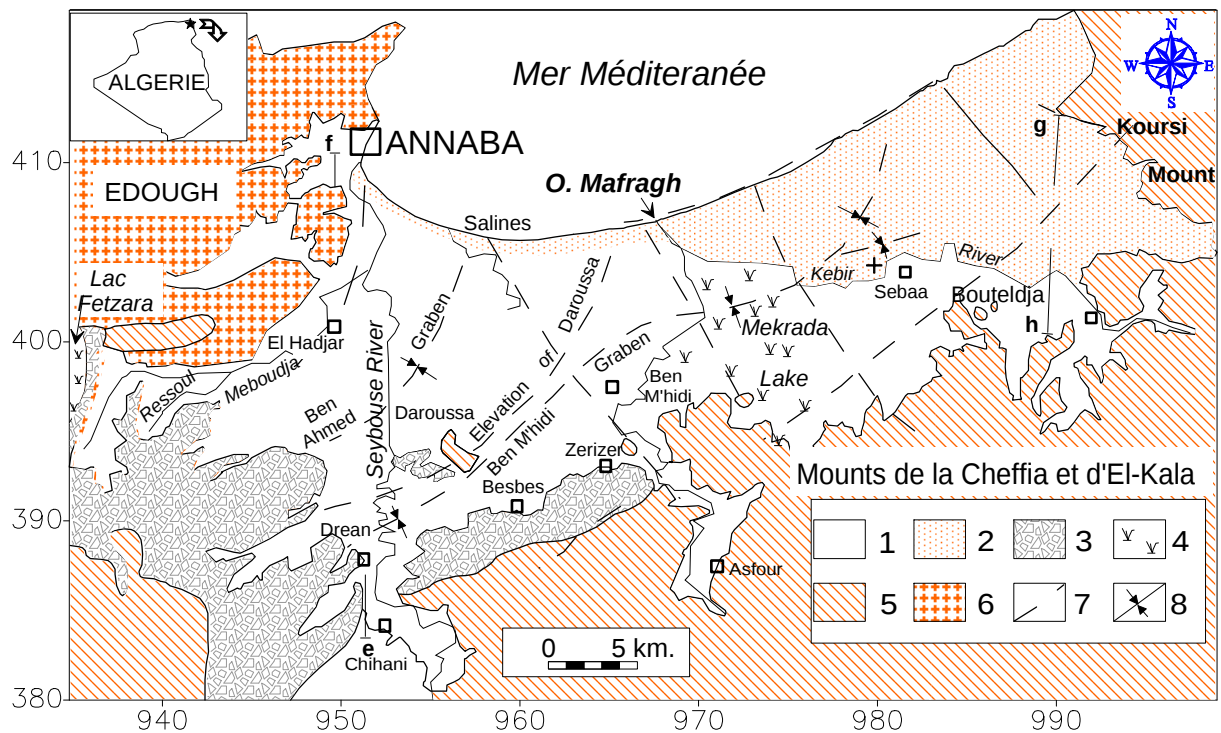


Fig.09. Situation géologique des plaines de la région d'Annaba-Bouteldja

(D'après Strojexport, 1975, modifié par A. HANI 2002).

Légende : 1 : Alluvions récentes et actuelles ; 2 : Dunes; 3 : Alluvions anciennes; 4 : Marécage ou lac ; 5 : Grés et argile numidiens ; 6 : Formations métamorphiques ; 7 : Faille ; 8 : Axe des fosses.

II.2.1. Les roches métamorphiques

On distingue trois variantes de roches :

- Les gneiss résultent du métamorphisme des roches granitiques.
- Les micaschistes.
- Les calcaires cristallins.

II.2.1.1. Les Gneiss

Ils constituent le cœur de l'anticlinal du massif de l'Edough. Cette série est riche en biotite et sillimanite d'une épaisseur moyenne de 70 m, du point de vue hydrogéologique, les gneiss altérés peuvent être, par endroit, le siège d'une nappe aquifère.

II.2.1.2. La série des micaschistes

C'est une série de roches métamorphiques à grains généralement moyens ayant une schistosité et une foliation marquées, riche en feuillés de micas, visible à l'œil nu, d'où elle se débite facilement en plaquettes (quelques mm ou cm).

C'est une série d'alternance de schiste, micaschiste à grenat et des niveaux de calcaires cristallins, l'épaisseur de cette association varie de 5 à 20 mètres.

II.2.1.3. Les calcaires cristallins

Ces calcaires sont exploités par plusieurs carrières de la région. Ce sont des calcaires de couleur bleutée, durs à la cassure et généralement massifs. L'épaisseur des calcaires est estimée à environ une cinquantaine de mètres mais il existe des niveaux très réduits de calcaires associés à la série des alternances des micaschistes.

II.2.2. Les roches sédimentaires

On distingue plusieurs types de roches :

- Les calcaires marno gréseux (flysch).
- Les argiles numidiennes (argile de base).
- Le grès numidien (sommet).
- Les alluvions (des oueds, la plaine).

II.2.2.1. Les calcaires marno gréseux (Flysch)

C'est un faciès de type flysch constitué par une alternance de calcaire gréseux de couleur verdâtre avec des niveaux marneux à matériel détritique.

Cette formation se trouve en discordance sur le calcaire cristallin, leur épaisseur est variable, elle peut atteindre jusqu'à 150 mètres. Parfois la présence des éboulis de grès sur les versants rend difficile l'observation de la continuité.

II.2.2.2. Les argiles et grès numidiennes

Les dépôts de numidien, très répandus dans la partie occidentale du massif de Béllielita, comprennent essentiellement des argilites schisteuses et des grès; les argilites dominent à la

base, admettant des bancs peu épais de quartzite et de grés, tandis que dans la partie supérieure de la formation on observe surtout de grosses barres de grés quartzeux séparées par des lits argileux.

II.3. Cadre structural

La Plaine de Annaba, aux reliefs très peu marqués est constituée par des dépôts récents qui forment le comblement de deux bassins sédimentaires principaux, identifiés par la géophysique (Sonatrach, 1966 ; Strojexport, 1975) avec un graben NS, la fosse Ben-Ahmed, sous la plaine de la Seybouse, et un graben SSW-NNE à WSW-ENE, la fosse Ben-M'hidi, sous celle de l'oued Kébir et le massif dunaire oriental (Fig. 10). Ces deux fosses sont limitées par des failles à très forts pendages (60 à 80°) et séparées par un horst, subméridien, représenté par l'élévation de Daroussa à laquelle appartient, dans la partie méridionale, la Butte de Daroussa.

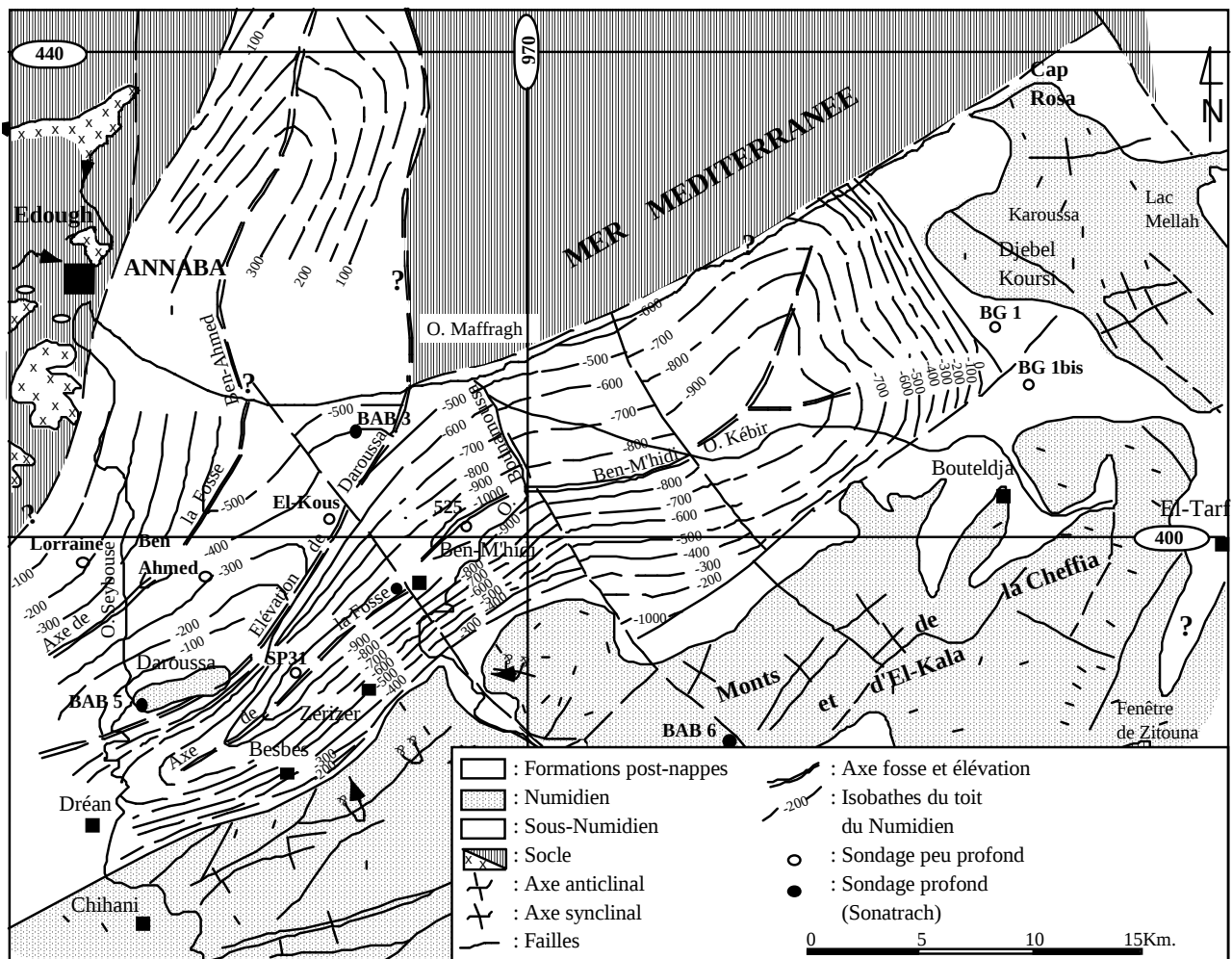


Fig. 10. Esquisse structurale des plaines de Annaba-Bouteldja (Sonatrach, 1969 in Hani, 2003).

L'ensemble de ce dispositif est affecté par deux familles de failles à forts pendages, de directions respectives NE-SW et NW-SE qui apparaissent tardives vis-à-vis des sous-bassins constitués et de leurs remplissages.

A l'ouest du massif de Béllielita, le lac Fetzara constitue une cuvette qui s'est formée suite à une grande tectonique active pendant le cénozoïque et le quaternaire, ainsi la série de Fetzara s'est développée en bordure et plus largement autour des Djebels Debar, Grar et Taya (Vila, 1980), et elle présente deux bordures dissymétriques orientées, l'une vers le Nord et l'autre vers le Sud. Il s'agit donc, d'une région où l'érosion a beaucoup fonctionné durant le quaternaire.

II.4. La Géomorphologie

II.4.1. Introduction

La géomorphologie de la région du lac Fetzara présente trois formes morphologiques variées, dues essentiellement à la grande tectonique du cénozoïque et du quaternaire. Elles constituent deux bassins versants principaux caractérisés par la région du lac.

II.4.1.1. La Mafragh

Elle occupe la partie Est avec une superficie de l'ordre de 2915 km² et une altitude de 319 m.

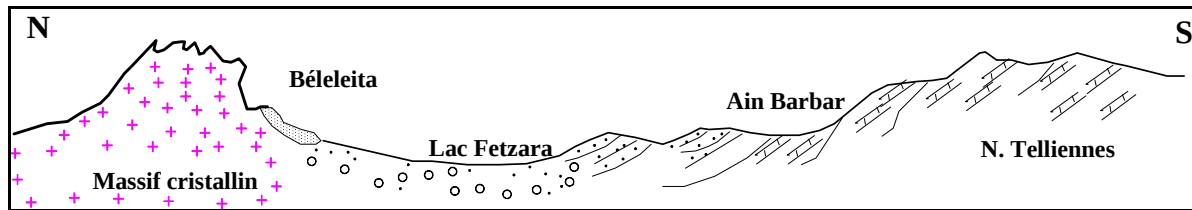
II.4.1.2. La Seybouse

Elle se trouve à l'extrémité Ouest et s'étend sur une superficie de 6471 km², elle renferme divers milieux naturels ce qui conduit à la diversification et la multitude des chemins de nutrition et de ruissellement.

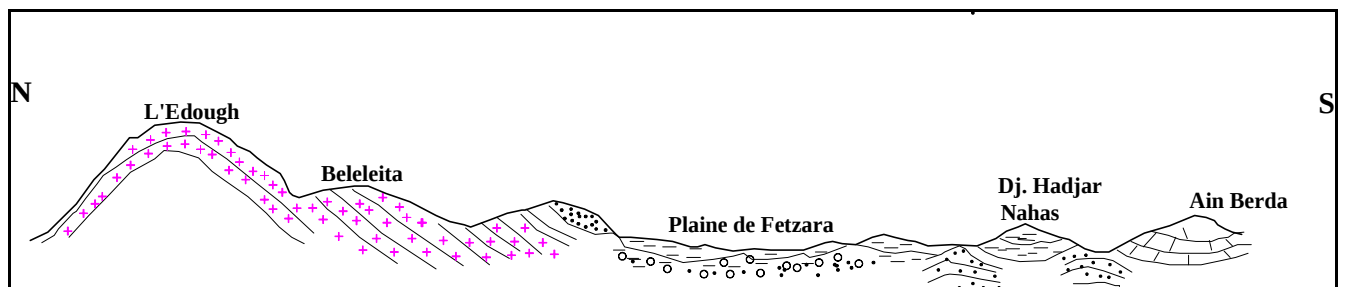
II.4.2. La montagne

Le mont de l'Edough est limité à son piémont Sud et Est par le lac Fetzara, la plaine de Annaba et la mer Méditerranée à l'Ouest, ce massif est nettement séparé des reliefs situés au Nord Ouest par la vallée de Oued El Aneb. Sa masse principale est plongée en direction du Nord à 55° Est. La ligne du Crête relativement rectiligne longue de 26 km, débute au Nord du lac Fetzara, elle s'élève rapidement à plus de 600m pour culminer à 1008 m d'altitude au Kef Seba et redescend à 867 m vers Seraïdi, elle s'abaisse en suite régulièrement jusqu'au Cap de Garde au Nord de la ville de Annaba (Fig. n°11).

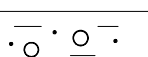
D'après J.M Villa (1980)



D'après L. Joleaud (1936)



Légende :

	Gneiss et micaschistes
	Grès numidien
	Nappe Telliennne (marnes,marnocalcaire)
	Quaternaire
	Graviers,galets
	Argiles, sables
	Graviers, sables

Echelle :

Echellehorizontale :1/200000.

Echelle verticale :1/65000.

Fig.11. Coupes géologiques entre le massif de l'Edough et Ain Breda

Entre Béllielita et Bouhamra se creuse la vallée transversale de la basse Méboudja qui prend naissance au pied de la ride dunaire limitée à l'Est par la cuvette du Lac Fetzara, et qui entre en confluence avec l'Oued Seybouse au Nord d'El Hadjar. Enfin à l'Ouest, Djebel l'Edough est relié par deux ensembles de collines; le premier situe entre les deux communes d'Oued El Aneb et Berrahal (226 m), le second au Nord de Boumaiza (130m).

II.4.3. Les sols et le couvert végétal

Notre zone d'étude est formée par un ensemble d'unités bien distinctes. L'interaction du relief, de l'altitude, de la pente, de la roche mère et de la tectonique, peut ainsi déterminer le façonnement du paysage naturel de la cuvette lacustre de Fetzara. Ce qui explique la diversité de l'occupation du sol.

A ce propos, on peut distinguer, en dehors des zones urbanisées, des zones occupées par la végétation naturelle ou par les reboisements et des zones de mise en valeur culturale.

II.4.3.1. Les sols des versants

Les versants Nord et Sud disposent d'une remarquable couverture végétale donnant l'aspect d'une succession visible à l'oeil nu, le maquis sur les niveaux plus ou moins hauts et la forêt sur les niveaux de haute altitude.

Le Djebel Menchoura, au Sud est très dégradé et ne se reconstitue que très lentement, bien qu'il ne fasse l'objet d'aucune exploitation, il s'agit uniquement de chêne-liège, de pin maritime et surtout d'eucalyptus au bord des routes. Enfin, des aménagements agricoles en versants ont été mis en œuvre par le développement d'arboriculture en montagne, comme l'olivier, le péchier,...etc.

Ailleurs, principalement sur les grès, c'est le domaine du maquis méditerranéen typique à cistes et calycotomes associé à des plantes annuelles, le plus souvent tubéreuse et à des touffes de brachypodes rameux. Le Diss n'apparaît en abondance qu'au-dessus de 600 m d'altitude.

Au Nord, la forêt occupe les sommets du massif de Berrahal et la région du Douar Toubéïga à l'Ouest. Le chêne-liège est l'essence principale couvrant environ 1/3 de la superficie forestière, cette forêt est exploitée en matière de bois et de liège. Elle Fournit ce dernier l'unité SNLB localisée à l'oued El Aneb. Un peu plus bas, la présence du maquis révèle la dégradation d'une ancienne forêt; elle est due aux actions anthropiques continues (les incendies, parcours du bétail), il serait donc nécessaire de préserver ces zones contre le pâturage pour rétablir l'équilibre naturel et lutter contre le phénomène de dégradation.

Les reboisements sont constitués de deux essences: l'une feuille (Eucalyptus) et l'autre résineuse (Pin maritime), ce qui a contribué à une régénération de la forêt et une stabilisation des versants.

Enfin, l'agriculture de piémont est axée sur une arboriculture rustique (olivier, figuier et figuier de barbarie), ainsi qu'un maraîchage légumier varié, léger et limité.

II.4.3.2. Les sols alluvionnaires

La végétation pastorale (prairie naturelle) occupe les zones basses de la région et principalement les alentours du lac Fetzara. La présence de cette couverture végétale, constitue une véritable réserve de fourrage pour le cheptel qui est important dans la région. Le surpâturage pose le problème de régénération des herbes.

L'agriculture de la plaine est surtout axée sur le maraîchage, la tomate industrielle, la céréaliculture et la culture fourragère, ainsi que l'arboriculture fruitière en irriguée pour les agrumes et fruits à noyaux.

II.4.4. La plaine d'Annaba

Elle est limitée au Nord par l'anticlinal du massif de l'Edough et au Sud par l'anticlinal de la chaîne numidienne, avec une topographie relativement régulière. On y définit trois secteurs présentant chacun des formes différentes: la basse plaine dans laquelle s'encaisse l'Oued Seybouse, les bordures où on peut observer des glacis et le littoral où quelques formations quaternaires sont visibles. Cette basse plaine a une forme inclinée et légèrement bombée avec la Seybouse comme axe de drainage. Celle-ci présente un tracé très sinueux avec de nombreux méandres, puis jusqu'à l'embouchure, elle prend un tracé plus rectiligne.

À l'Est et à l'Ouest, la basse terrasse sableuse de la Seybouse disparaît pour laisser la place à des dépressions de 2m d'altitude et aux formations argileuses noires et hydromorphes (marais de Boukmira près de l'aéroport de Annaba).

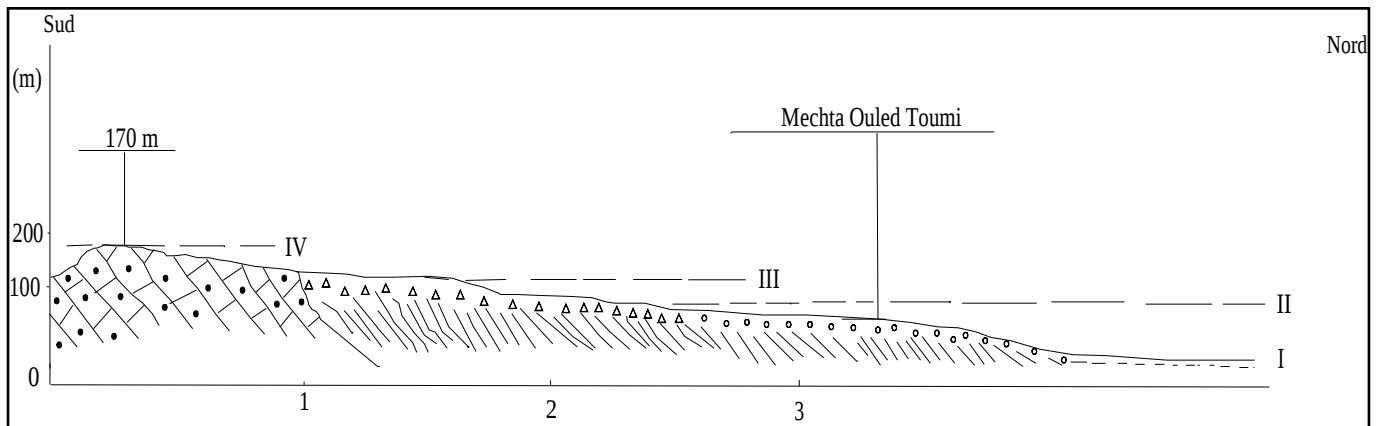
Actuellement à l'Ouest, la Seybouse se jette dans la mer Méditerranée à Sidi Salem par l'intermédiaire d'un chenal artificiel creusé pendant les années 1960, c'est pour éviter l'envasement du port par les inondations de l'Oued Seybouse (apport de matériaux qui se déposent au fond de la mer).

II.4.5. Le lac Fetzara

La cuvette du Lac Fetzara présente des bordures Nord et Sud nettement dissymétriques, elle est due à une tectonique active pendant le quaternaire ; elle est représentée par une large dépression dont les dimensions sont approximativement de 17 km d'Ouest en Est et 13km du

Nord au Sud.

Au Sud, un véritable piémont avec six niveaux de glacis, s'est construit en aval du tell Nord Guelmien. La coupe (Fig.12) montre bien qu'il existe sur ce piémont quatre niveaux de glacis. Au-dessus du niveau IV, la coupe montre Bien des replats de petites tailles qui tronquent les grés pseudo numidiens de ces massifs.



Légende :

IV – III – II – I : niveaux de glacis

Fig.12. Coupe par le piémont de la bordure Sud du lac Fetzara Source (A. Marre, 1992)

Au Nord, le massif de l'Edough pénètre brutalement dans la cuvette du lac Fetzara, et peu de formes quaternaires assurent le passage de la montagne au fond de la dépression. Sur le piémont de la bordure Nord du Lac, la tectonique semble avoir été plus active que sur la bordure Sud (Marre, 1992).

Le fond de la cuvette du lac est occupé, à l'Ouest par le lac proprement dit, et à l'Est par la plaine d'El Hadjar qui se prolonge par celle d'Annaba. Ces deux ensembles morphologiques sont séparés par un cordon dunaire, celui-ci sert de ligne de partage des eaux, entre le lac Fetzara et l'Oued Méboudja.

Le canal de dessèchement, de longueur de 14 km, assure le drainage des eaux du lac en période pluvieuse, il traverse la cuvette de Fetzara selon une direction Ouest-Est et rejoint le cours d'eau de la Méboudja où il assure la vidange du lac.

Le long du canal on observe, des sables argileux jaunâtres avec, à la base des traces d'hydromorphie, des niveaux noirs argileux qui se terminent en biseaux vers l'aval. Ils sont riches en matières organiques. On a donc là, une alternance de phases rhéxistatiques pendant

lesquelles le lac recevait des formations sableuses venues soit des versants grâce au transport des Oueds, soit du littoral par transport éolien, et des phases biostasiques pendant lesquelles le lac devenait marécageux avec une faune lagunaire à marine (Haou. 2001). En effet, les arrivées sont des espèces (faunes) qu'on retrouve à l'heure actuelle dans les estuaires où les eaux sont peu salées. La présence de cette faune au fond du lac Fetzara indique donc, la relation ancienne entre cette dépression et la mer.

La liaison entre le Lac et la plaine d'El Hadjar s'effectue à partir de l'Oued Méboudja qui sinuait autrefois entre Beléléita et Bouhamra avant de se relier dans l'Oued Seybouse.

La plaine d'El Hadjar se termine brutalement au Nord, contre le Djebel Beléléita, dernier mont du massif de l'Edough. Le versant de ce djebel est rectiligne et abrupt. Il s'agit certainement d'un contact par faille.

Deux niveaux de petits glacis peuvent être observés au dessus de la plaine d'El Hadjar, ils sont nettement déformés et plongent vers le fond de la plaine et disparaissent sous la basse plaine sableuse. La plaine d'El Hadjar a donc joué en subsidence jusqu'à une date récente. Cette subsidence semble avoir été très importante au droit du cordon dunaire du lac Fetzara qui a permis de montrer à la fin le rôle de la tectonique et du climat dans la formation du lac. La tectonique est responsable d'un jeu en subsidence de la dépression. En effet, les failles qui limitent cette cuvette sont restées actives pendant tout le quaternaire.

II.4.6. Les massifs de bordures

Constitués de roches métamorphiques (micaschistes, gneiss et cipolins) au Nord-Ouest et de grès numidiens au Sud (monts de la Chaffia); ainsi que le massif dunaire situant au Nord parallèlement à la mer et constituant essentiellement de sables fins perméables avec une infiltration très importante.

II.4.7. Les plages

Ce sont des formations géomorphologiques plus récentes formées principalement de sables riches en Quartz.

Conclusion

La couverture géologique du terrain étudié a été identifiée à partir des cartes géologiques à l'échelle 1/50.000 de Annaba, Séraïdi, Ain Berda et Dréan. Le terrain en question représente plusieurs formations géologiques d'origine métamorphique, sédimentaire, et éruptive attribuées au primaire, tertiaire et quaternaire.

Le massif cristallophyllien, l'Edough, constitue la terminaison Est de la ligne des crêtes du massif kabyle. Il forme aujourd'hui un dôme anticlinal sous l'aspect d'une amygdale elliptique dont l'axe orienté SW – NE se prolonge au dessus de la plaine. Au relief principal s'ajoutent à l'Est le Djebel Bougantas, le Kef N'sour et le Bouhamra les coteaux de Annaba et enfin le promontoire du Cap de Garde qui est tranché brusquement par l'affaissement méditerranéen.

Cet ensemble montagneux de structure complexe (faillé et plissé) affecté par toutes les phases tectoniques depuis le paléozoïque, il apparaît comme tout à fait indépendant du reste de la région de Annaba dont l'orogénie se lie à la terminaison orientale de la chaîne Numidique.

La nappe Numidienne avec son flysch habituel argilo gréseux mise en place à la suite des poussées tectoniques d'origine alpine.

Les roches éruptives intrusives mises en place au Mio-pliocène ne sont représentées que par trois petits affleurements au sein du périmètre d'étude (un affleurement de pyroxénite et deux affleurements de Magnétite).

Les plaines, les vallées et les dépressions marécageuses correspondent à un bassin de remplissage alluvionnaire qui a débuté à la fin de l'ère tertiaire (pliocène) et se poursuit tout au long du Quaternaire suite aux phénomènes de néotectonique responsable de l'orographie actuelle.

Les principales unités géomorphologiques caractérisant la région d'étude sont : les terrasses de la Seybouse, les massifs de bordure et les marécages. Ces unités sont largement dominées par des formations quaternaires qui sont le siège des nappes aquifères.

CHAP. III

CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

III. Cadre hydroclimatologique

L'étude des caractéristiques hydroclimatologique 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 d'une région donnée.

III.1. Climatologie de la zone d'étude**III.1.1. Stations de mesures**

Les données recueillies de la station des Salines et de l'Agence Nationale des ressources Hydrauliques de Annaba (A.N.R.H), sont sous forme de moyennes mensuelles et annuelles des hauteurs de pluie pour une période de 20 ans (1989-90/2008-09), et des moyennes mensuelles et annuelles des températures pour la même période, mais seulement à la station des Salines, parce que les autres stations ne disposent pas des instruments de mesure de la température ou parfois il sont en panne.

Ces données permettent d'estimer la répartition dans le temps et dans l'espace, ainsi que la quantité d'eau infiltré et évaporée. Pour cela on a utilisé les données des trois stations dont les données sont les plus complètes et les plus représentatives de la zone d'étude. Les coordonnées de ces stations météorologiques sont consignées dans le tableau n°5.

Tableau.5. Coordonnées géographiques des stations météorologiques.

Stations	Coordonnées Lambert (km)		Altitude (m)
	X	Y	
Berrahal	923.35	405.56	33
Les Salines	955.20	403.80	03
Pont Bouchet	950.50	402.00	06

III.1.2. Type de climat

La plaine d'Annaba est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons d'inégales durées :

- Un hiver doux et humide allant de Septembre à Mai.
- Un été chaud et sec relativement court durant les mois de Juin, Juillet et Août.

III.1.3. Facteurs climatiques

III.1.3.1. Précipitations

Dans l'établissement du bilan hydrique, les précipitations sont l'élément le plus important parce qu'elles reflètent la circulation des eaux superficielles 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.

La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le coefficient pluviométrique (CP), ce paramètre est très important dans la détermination des années excédentaires et les années déficitaires. Il est obtenu par le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne d'une série à une station donnée.

$$\text{CP} = P / P_{\text{moy}}$$

Avec :

CP : coefficient pluviométrique.

P : Pluviométrie annuelle de l'année en (mm).

P_{moy} : Pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

Ce paramètre est en relation proportionnelle avec la pluviométrie.

Nous avons deux cas

{	CP > 1	⇒	année excédentaire
	CP < 1	⇒	année déficitaire

Tableau.6. Précipitations annuelles (mm) et coefficients pluviométriques des
Stations de Berrahal, et les Salines et Pont Bouchet

hydrologique Année	Pluie annuelle stat. de Berrahal P (mm)	Pluie annuelle stat. des Salines P (mm)	Pluie annuelle stat.de Pont Bouchet P (mm)	CP stat. de Berrahal		CP stat. Des Salines		CP de Pont Bouchet	
1989/90	473.5	532	507.50	0.67	AD	0.99	AD	0.84	AD
1990/91	709.7	689	672.40	1.01	AE	1.28	AE	1.11	AE
1991/92	688.6	684	658.20	0.98	AD	1.27	AE	1.09	AE
1992/93	1163.7	524	638.40	1.66	AE	0.97	AD	1.06	AE
1993/94	582.3	440	488.60	0.83	AD	0.82	AD	0.81	AD
1994/95	552.1	362	531.80	0.79	AD	0.67	AD	0.88	AD
1995/96	763.2	807	727.50	1.09	AE	1.50	AE	1.21	AE
1996/97	530.2	346	388.70	0.75	AD	0.64	AD	0.64	AD
1997/98	749.5	941	777.10	1.07	AE	1.75	AE	1.29	AE
1998/99	746.5	841	709.40	1.06	AE	1.56	AE	1.18	AE
1999/2000	513.8	443	500.50	0.73	AD	0.82	AD	0.83	AD
2000/2001	604.1	531	521.40	0.86	AD	0.99	AD	0.86	AD
2001/2002	438.2	460	410.50	0.62	AD	0.86	AD	0.68	AD
2002/2003	937.7	625	787.90	1.33	AE	1.16	AE	1.31	AE
2003/2004	752.1	708	484.80	1.07	AE	1.32	AE	0.80	AD
2004/2005	1063.8	358	619.40	1.51	AE	0.67	AD	1.03	AE
2005/2006	565	255	537.00	0.80	AD	0.47	AD	0.89	AD
2006/2007	692.5	102	651.80	0.98	AD	0.19	AD	1.08	AE
2007/2008	655.6	250	587.00	0.93	AD	0.47	AD	0.97	AD
2008/2009	879.8	854	871.10	1.25	AE	1.59	AE	1.44	AE

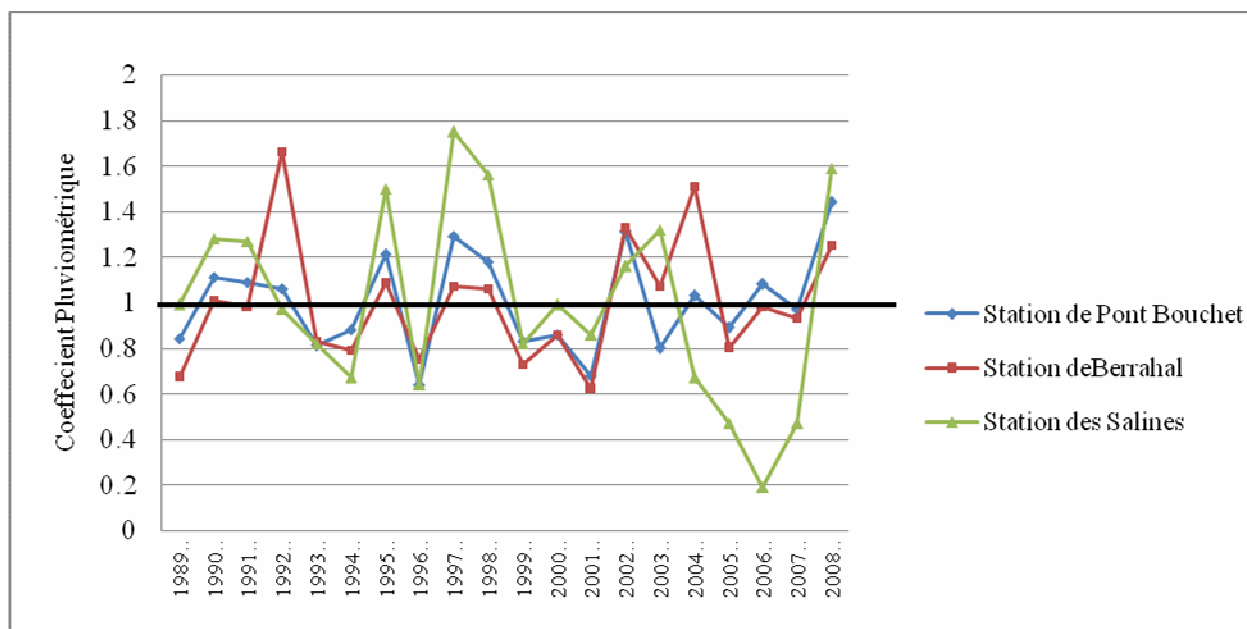


Fig.14. Diagramme du coefficient pluviométrique dans les trois stations

D'après les résultats obtenus, il y a une alternance entre les années excédentaires (AE)

et celles déficitaires (AD), cela est indiqué dans la figure (Fig. 14).

La région d'étude est parmi les régions les plus arrosées en Algérie. Pour l'interprétation des données pluviométriques, nous avons pris les précipitations moyennes mensuelles des stations précédemment définies et durant les années d'observation allant de 1989 à 2009 (Tableau N° 06).

Tableau.7. Précipitations moyennes mensuelles (en mm), (1989/2009).

Stations Mois	Stat. de Berrahal	Stat. des Salines	Stat. de Pont Bouchet
Septembre	31.62	40.93	34.14
Octobre	57.36	70.04	47.78
Novembre	98.32	70.9	88.09
Décembre	135.37	119.25	93.4
Janvier	105.95	109.25	98.24
Février	68.15	68.51	59.05
Mars	56.37	52.25	56.91
Avril	90.06	59.85	58.87
Mai	40.2	45.37	39.93
Juin	10.45	14.81	12.38
Juillet	2.6	4.09	2.74
Août	6.61	12.63	12.04
Total	703.1	667.9	603.6

III.1.3.1.1. Représentation mensuelle des précipitations

Pour évaluer la variation des précipitations moyennes mensuelles, nous avons établi les histogrammes relatifs à chaque station (Fig.13, 14 et 15).

Les précipitations atteignent le maximum au mois de Décembre dans les stations de Berrahal et les salines avec des hauteurs de 135.37 mm et 119.25 respectivement tandis qu'il est de l'ordre de 98.24 mm dans celle de Pont Bouchet, Cependant le minimum de la pluviométrie caractérise le mois de Juillet avec des quantités qui ne dépassent pas 2.6 mm, 4.09 mm, 2.74 mm rapportées respectivement aux stations de Berrahal, les Salines et Pont Bouchet.

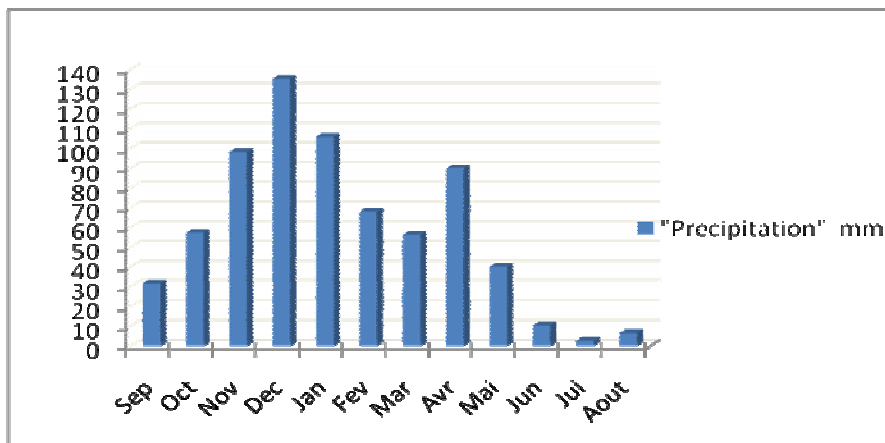


Fig. 13. Précipitation moyenne mensuelle de la station de Berrahal

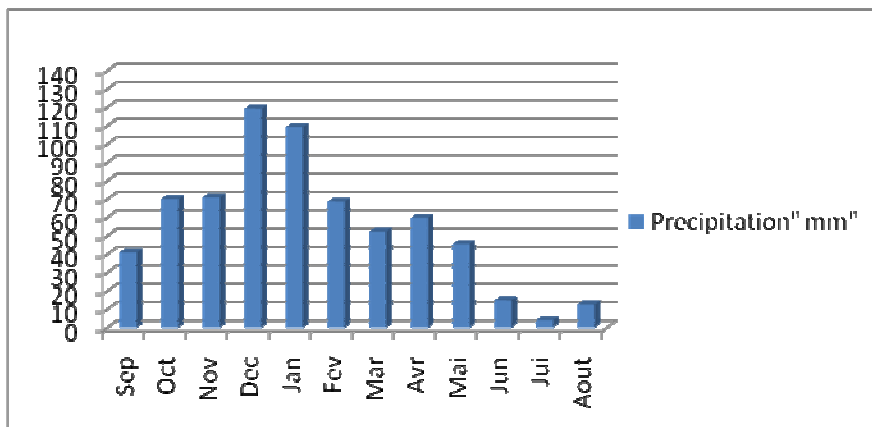


Fig. 14. Précipitation moyenne mensuelle de la station des Salines

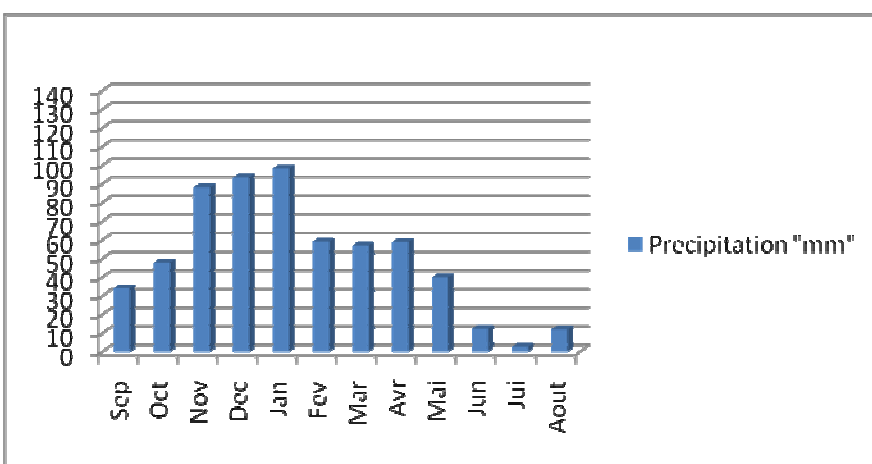


Fig. 15. Précipitation moyenne mensuelle de la station de Pont Bouchet

III.1.3.2. Analyse des températures

Si les précipitations constituent l'apport en eau, les températures jouent un rôle important dans les pertes en eau par le phénomène de l'évapotranspiration. Elles constituent l'autre élément majeur conditionnant le climat d'une région. Elles permettent d'étudier l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement, Interviennent dans le développement du rythme biologique des végétaux et facilitent l'établissement du bilan hydrique.

Mais l'absence des données pour les stations de Berrahal et Pont Bouchet, nous a menés à utiliser les données de température de la station des Salines (la seule qui a une série complète) et cela pour une période d'observation de 20 ans, (1989/2009).

III.1.3.2.1. Variations moyennes mensuelles

Les données sont montrées dans le tableau n°08 :

Tableau.8. Températures moyennes mensuelles pour la station des Salines (en °C),
1989/2009

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	"T" moy
Station des Salines	24.9	19.9	15.5	13.1	11.6	11.8	13.2	15.1	18.2	21.9	24.9	25.7	17.98

La période qui s'étale du mois de novembre au mois d'avril correspond à la période relativement froide avec un minimum durant le mois de Janvier (11.6 °C), alors que la période chaude commence à partir du mois mai jusqu'au mois de septembre avec un maximum marqué durant le mois d'Aout (25.7 °C). La moyenne annuelle est de l'ordre de 17.98°C. Les résultats du tableau sont figurés dans le diagramme (Fig.16.)

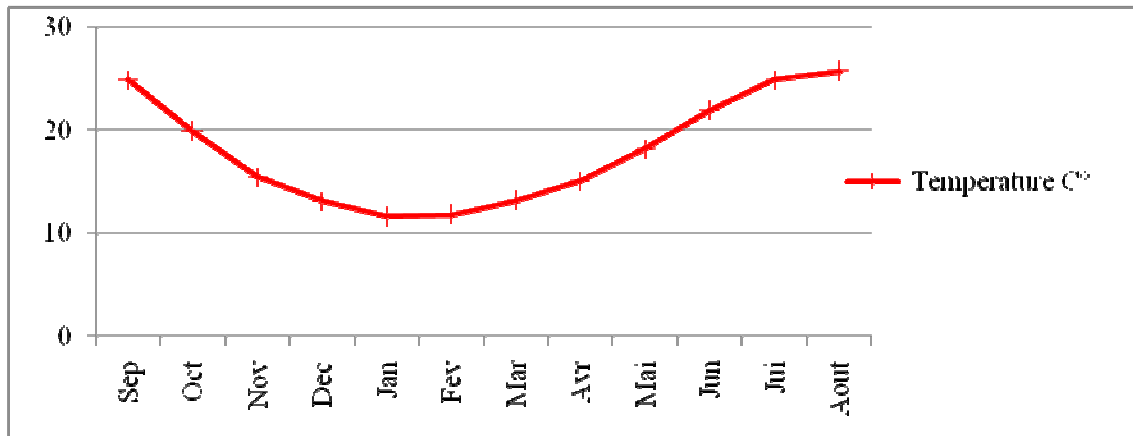


Fig.16. Température moyenne mensuelle de la station des Salines

III.1.3.2.2. Diagramme Ombrothermique

En se basant sur les données des précipitations et des températures mensuelles sur la même période d'observation, on peut établir le diagramme Ombrothermique dont le but est de déterminer la saison sèche et celle humide.

- Un mois sec est celui où le total des précipitations (mm) est inférieur ou égal à la température moyenne (°C) du même mois. Cette relation permet d'établir un diagramme Ombrothermique sur lequel les températures sont portées à une échelle double des précipitations.
- Lorsque les températures passent au-dessus de la courbe des précipitations, la saison correspondante est sèche ou déficitaire en eau ; et lorsque la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures, la saison correspondante est humide.

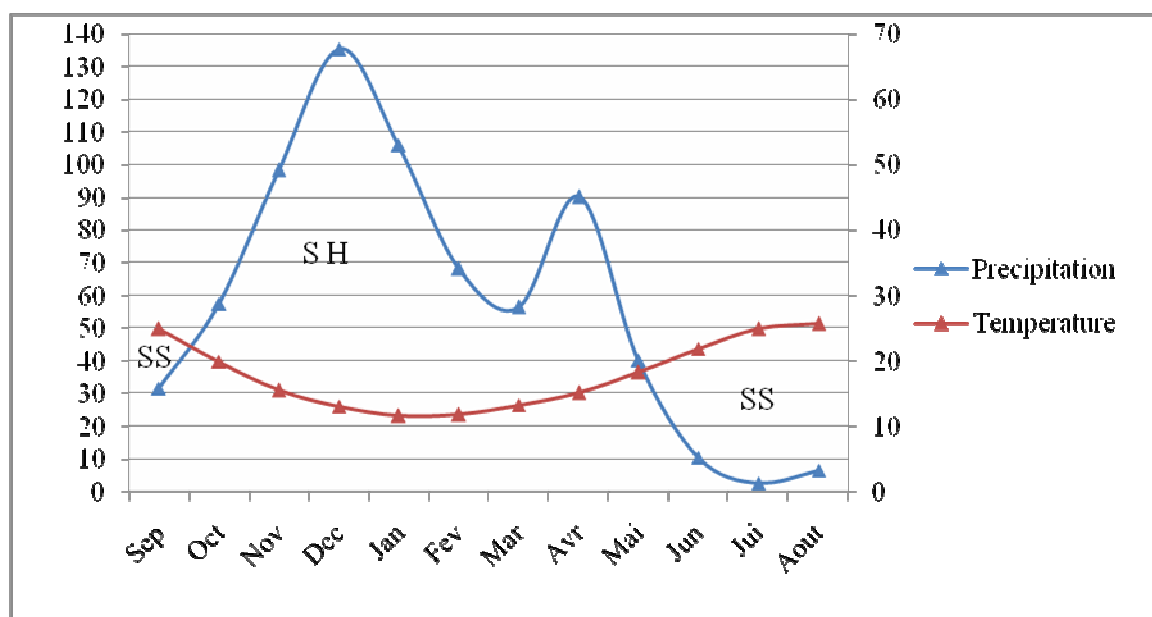


Fig.17. Diagramme Ombrothermique de la Station de Berrahal

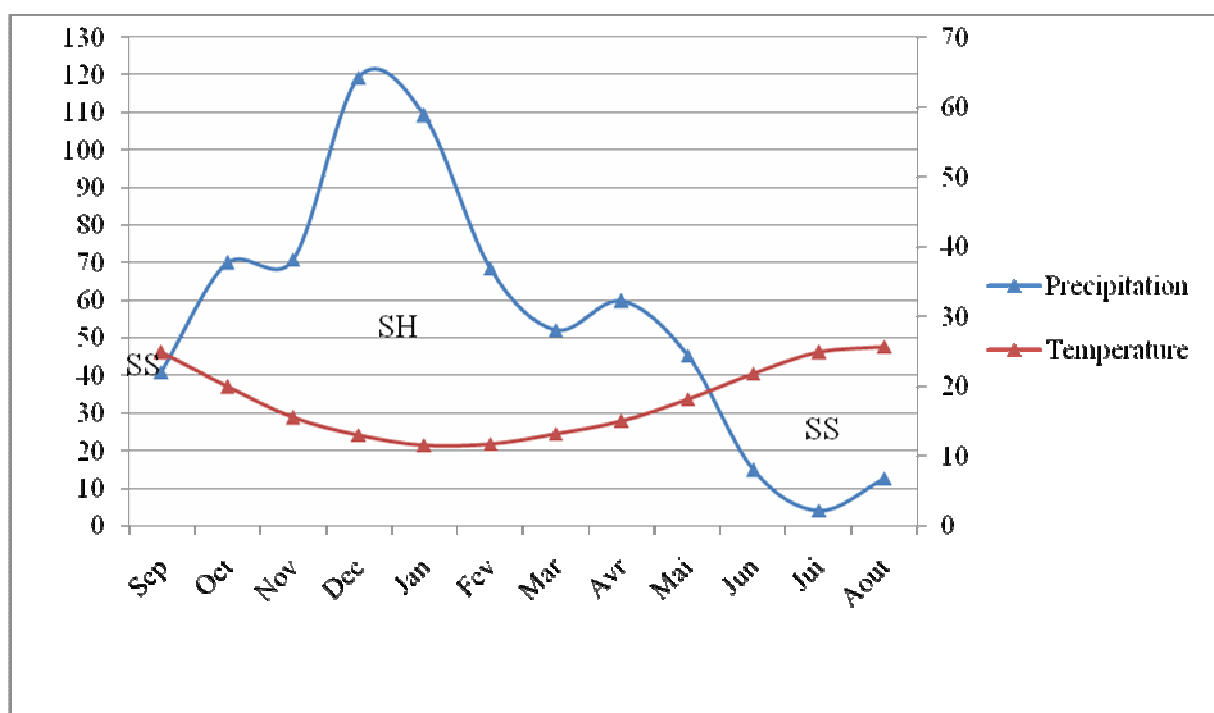


Fig.18. Diagramme Ombrothermique de la Station des Salines
SH : saison humide ; SS : saison sèche

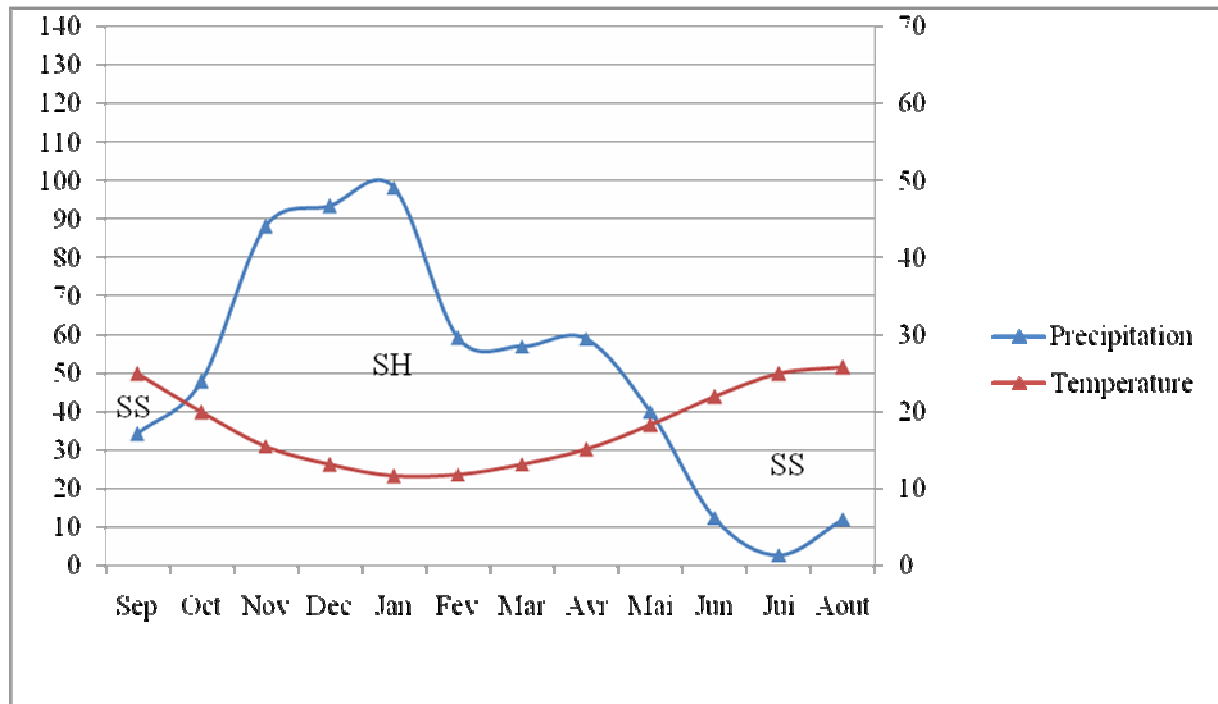


Fig.19. Diagramme Ombrothermique de la Station pont Bouchet
SH : saison humide ; SS : saison sèche

A partir de ces diagrammes (Fig.17, 18 et.19), on constate que l'année hydrologique de ce bassin versant est caractérisée par deux saisons bien distinctes :

- **La saison sèche** : s'étend du début du mois d'Avril jusqu'au mois de Novembre.
- **La saison humide** : s'étend du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril.

I.1.3.3. Le vent

La basse plaine d'Annaba est dominée par des vents Nord à Nord-est, Sud-ouest à Nord. Les vents les plus violents se manifestent en hiver et les plus faibles en été avec quelques épisodes de SIROCCO qui augmentent la température.

Le tableau suivant donne une idée sur la vitesse des vents à la station des Salines (2000-2009).

Tableau.9. Vitesse du vent en (m/s) à la station des Salines (2000-2009).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Moy
Moy(m/s)	3.83	3.63	3.98	4.01	3.88	3.84	3.70	3.82	3.58	3.83	3.63	3.98	4.01

III.1.3.4. L'humidité

L'humidité relative est le rapport exprimé en pourcentage de la tension de vapeur à la tension maximale correspondant à la température mesurée au thermomètre sec. Elle est déduite des lectures faites au psychromètre à trois moments de la journée (7h, 13h et 18h).

Le tableau (N° 10) indique les valeurs de l'humidité moyenne mensuelle à la station des Salines (1989-2009) :

Tableau.10. Variations des humidités relatives moyennes mensuelles (en %) de La station des Salines (1989/2009).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Humidité moyennes mensuelle (%)	72.5	74.7	75.35	77.85	79.8	73.95	74.5	75.8	75.7	73.5	71.55	71.9

L'humidité maximale à la station des Salines est de 79.8 % en Janvier et l'humidité minimale est de 71.55 % en Juillet.

En ce qui concerne les variations moyennes annuelles, on voit que le maximum d'humidité est enregistré en 2004/05 avec 77.75 %, et le minimum en 1993/94 avec un taux de 72.42 % (tab.11).

Tableau.11. Variations des humidités relatives moyennes annuelles (en %) de la station des Salines (1989/2009).

Année	Humidité relative (%)	Année	Humidité relative (%)
89/90	76	99/2000	73.83
90/91	77.25	00/2001	73.33
91/92	76.08	01/2002	74.08
92/93	76.67	02/2003	74.67
93/94	72.42	03/2004	76.67
94/95	74.33	04/2005	77.75
95/96	72.33	2005/2006	76.00
96/97	74.58	2006/2007	76.42
97/98	67.92	2007/2008	76.75
98/99	73.75	2008/2009	74.33

III.2. Le 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 :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en (mm).

R : Ruissellement moyen annuel en (mm).

I : Infiltration moyenne annuelle en (mm).

III.2.1. Estimation des paramètres du bilan

III.2.1.1. L'évaporation /l'évapotranspiration

L'évaporation se définit comme étant le passage de la phase liquide à la phase vapeur, il s'agit de l'évaporation physique. Les plans d'eau et la couverture végétale sont les principales sources de vapeur d'eau. On parle de sublimation lors du passage direct de l'eau sous forme solide (glace) en vapeur. Le principal facteur régissant l'évaporation est la radiation solaire.

Le terme évapotranspiration englobe l'évaporation et la transpiration des plantes. On distingue :

III.2.1.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP)

C'est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifié (gazon) bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance. Elle comprend donc l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration du couvert végétal pendant le temps considéré pour un terrain donné.

L'ETP est calculée par la formule de C.W. Thornthwaite (1954), qui utilise la température de l'air et la latitude de la station, et qui est donnée par l'expression suivante :

$$ETP = 16 (10 t / I)^a \cdot k$$

Avec: $a = 0,016 I + 0,5$; $I = \sum i$; $i = (t / 5)^{1,514}$.

ETP: Evapotranspiration potentielle mensuelle en (mm).

t : Température moyenne mensuelle en (°C).

i : Indice thermique mensuel.

I : La somme des indices mensuels de l'année.

K : Facteur correctif intégrant la durée d'insolation et la température

Tableau.12. Résultats de l'ETP obtenus par la formule de « THORNTHWAITE » à la

Station des Salines (1989-2009)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Total
i	11.4	08.1	05.6	04.3	03.6	03.7	04.4	05.3	07.1	09.4	11.4	11.9	85.9
ETP (mm)	121.1	74.9	41.6	28.6	24.4	24.6	36.8	50.6	79.1	112.8	145.8	144.7	885.1

$$I = 85.9 \quad ; \quad a = 1.87$$

III.2.1.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR)

Elle correspond à la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique.

L'ETR peut être déterminé par :
$$ETR = P / (0,9 + P^2 / L^2)^{1/2}$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm)

L : Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque devient grande : $L = 300 + 25t + 0.05 t^3$, où t est la température moyenne annuelle en C°.

Les valeurs de l'évapotranspiration réelle ETR, calculées par cette formule (de TURC) sont Inscrites dans le tableau (12).

Tableau.13. Résultats de l'ETR obtenus par la formule de « TURC » (1989-2009)

Facteur Station	P (mm)	t (°C)	ETR (mm)
Les Salines	667.9	18	494.6
Pont Bouchet	603.6	18	455.7
Berrahal	703.1	18	455.5

III.2.1.2. Ruissellement (R)

Il est calculé par la formule de «TIXERONT BERKALOFF » modifiée par « ROMANTCHOUK » et utilisée dans le cas où les précipitations dépassent le seuil de 600 mm :

$$R = P^3 / 3$$

Les résultats obtenus par cette formule sont enregistrés dans le tableau suivant

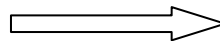
Tableau.14. Résultats du ruissellement obtenus par la formule de «TIXERONT BERKALOFF ROMANTCHOUK » pour les trois stations (1989-2009) :

Paramètres Stations	P (mm)	R (mm)
Les Salines	697.9	113.3
Pont Bouchet	603.6	73.30
Berrahal	703.1	115.85

III.2.1.3. Infiltration (I)

Est la quantité d'eau franchissant la surface du sol. Elle renouvelle les réserves d'eaux souterraines et entretient le débit de l'écoulement souterrain des sorties après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous sol (Castany 1982). Elle est déduite de l'équation fondamentale du bilan hydrique :

$$P = ETR + R + I$$



$$I = P - (R + ETR)$$

Avec :

I : L'infiltration en (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

R : Ruissellement en (mm).

ETR : Evapotranspiration annuelle en (mm).

Tableau.15. Estimation de l'infiltration par l'équation fondamentale du bilan hydrique.

Paramètre Stations	P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)
Les Salines	697.9	113.3	494.6	90
Pont Bouchet	603.6	73.30	455.7	74.6
Berrahal	703.1	115.85	455.5	131.75

III.2.2. La méthode du bilan d'eau selon C.W. Thornthwaite

Elle est basée sur la notion de la réserve en eau facilement utilisable (RFU). On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (RFU), cette eau peut être reprise par l'évaporation par l'intermédiaire des plantes. Pour notre cas on prend RFU = 100 mm.

La satisfaction de l'ETP est prioritaire sur l'écoulement, c'est-à-dire avant qu'il y ait écoulement il faut avoir satisfaire ce qu'on appelle le pouvoir évaporant ($ETP = ETR$), par ailleurs le remplissage de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement. On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle à partir de la pluie du mois, de l'ETP et de RFU. Les résultats sont montrés dans les tableaux suivants.

Tableau.16. Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE » pour la station Des Salines (1989-2009).

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Total
P(mm)	40.93	70.04	70.90	119.25	109.25	68.51	52.25	59.85	45.37	14.81	4.09	12.63	667.9
t (°C)	24.90	19.90	15.50	13.10	11.60	11.80	13.20	15.10	18.20	21.90	24.90	25.70	$T_m=17.98$
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	11.4	8.1	5.6	4.3	3.6	3.7	4.4	5.3	7.1	9.4	11.4	11.9	85.9
ETP	121.1	74.9	41.6	28.6	24.4	24.6	36.8	50.6	79.1	112.8	145.8	144.7	885.1
ETR	40.9	70.0	41.6	28.6	24.4	24.6	36.8	50.6	79.1	81.1	4.1	12.6	494.6
RFU	00	00	29.3	100	100	100	100	100	66.3	00	00	00	
EX	00	00	00	20.0	84.8	43.9	15.4	9.2	00	00	00	00	173.3
DA	80.2	4.9	00	00	00	00	00	00	00	31.6	141.7	132.1	455.5

Tableau.17. Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE » pour la station de Pont Bouchet (1989-2009).

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Total
P(mm)	34.14	47.78	88.09	93.40	98.24	59.05	56.91	58.87	39.93	12.38	2.74	12.04	603.6
t (°C)	24.90	19.90	15.50	13.10	11.60	11.80	13.20	15.10	18.20	21.90	24.90	25.70	Tm=17.98
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	11.4	8.1	5.6	4.3	3.6	3.7	4.4	5.3	7.1	9.4	11.4	11.9	85.9
ETP	121.1	74.9	41.6	28.6	24.4	24.6	36.8	50.6	79.1	112.8	145.8	144.7	885.1
ETR	34.1	47.8	41.6	28.6	24.4	24.6	36.8	50.6	79.1	73.3	2.7	12.0	455.7
RFU	00	00	46.5	100	100	100	100	100	60.9	00	00	00	
EX	00	00	00	11.3	73.8	34.4	20.1	8.2	00	00	00	00	147.9
DA	87.0	27.1	00	00	00	00	00	00	00	39.5	143.1	132.7	429.4

Tableau.18. Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE » pour la station de Berrahal (1989-2009).

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Total
P(mm)	31.62	57.36	98.32	135.37	105.95	68.15	56.37	90.06	40.20	10.45	2.60	6.61	703.1
t (°C)	24.90	19.90	15.50	13.10	11.60	11.80	13.20	15.10	18.20	21.90	24.90	25.70	Tm=17.98
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	11.4	8.1	5.6	4.3	3.6	3.7	4.4	5.3	7.1	9.4	11.4	11.9	85.9
ETP	121.1	74.9	41.6	28.6	24.4	24.6	36.8	50.6	79.1	112.8	145.8	144.7	885.1
ETR	31.6	57.4	41.6	28.6	24.4	24.6	36.8	50.6	79.1	71.6	2.6	6.6	455.5
RFU	00	00	56.7	100	100	100	100	100	61.1	00	00	00	
EX	00	00	00	63.5	81.5	43.5	19.5	39.4	00	00	00	00	247.5
DA	89.5	17.6	00	00	00	00	00	00	00	41.2	143.2	138.1	429.6

III.2.2. Représentation graphique du bilan hydrique

Afin d'éclaircir les résultats obtenus, une représentation graphique des données sera préférable :

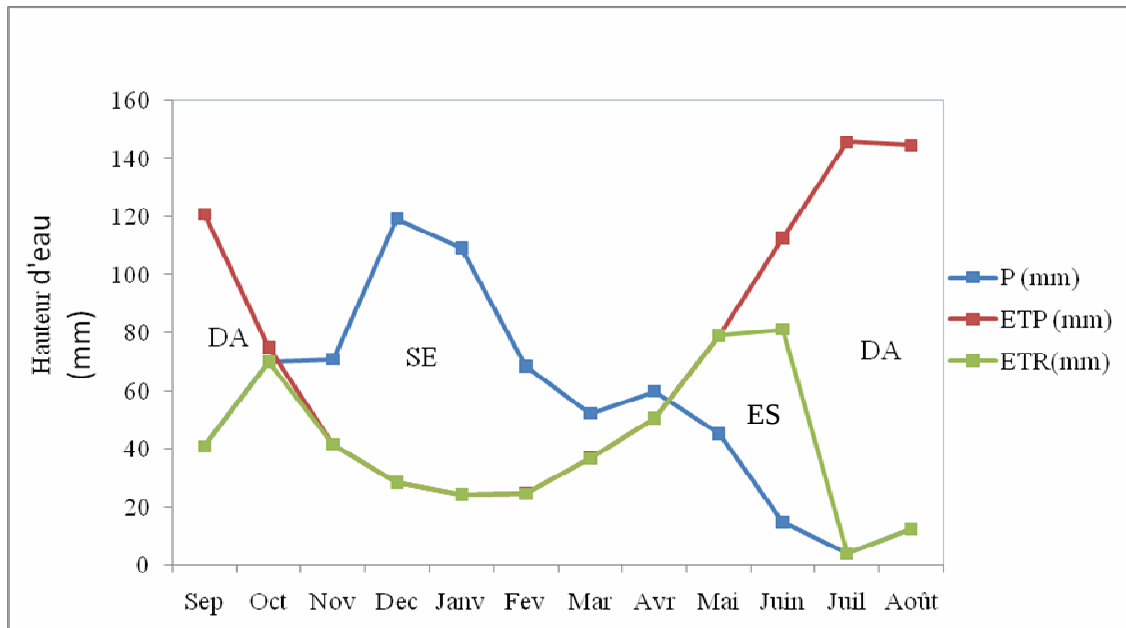


Fig.20. Bilan d'eau Station des Salines (1989-2009).

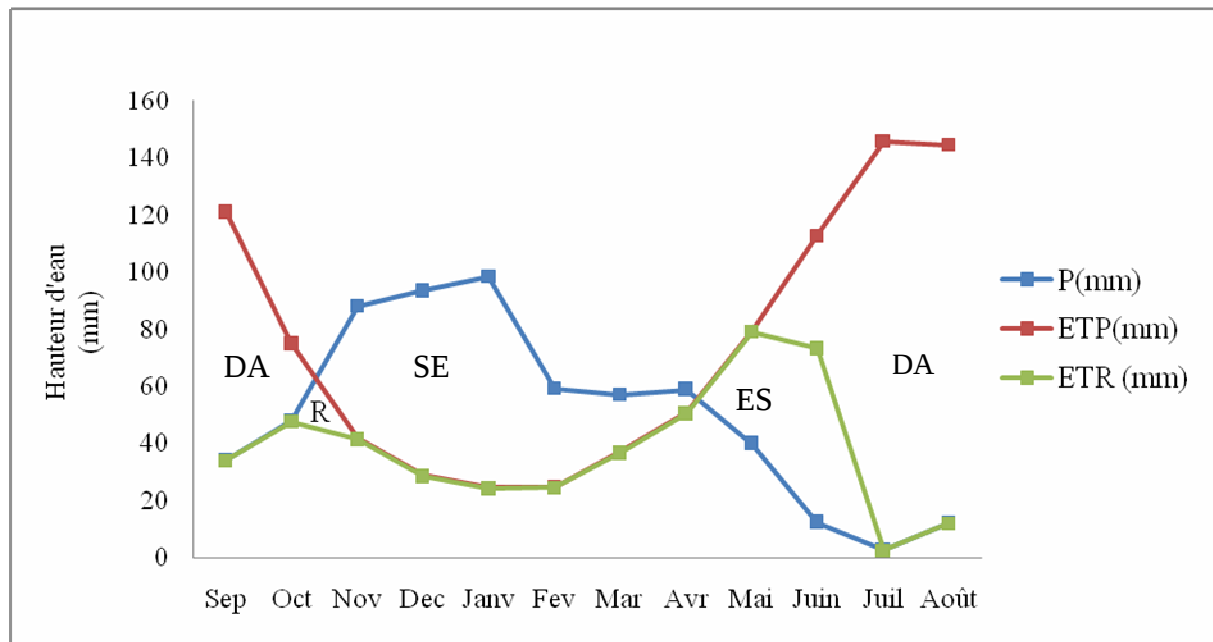


Fig.21. Bilan d'eau Station de Pont Bouchet (1989-2009).

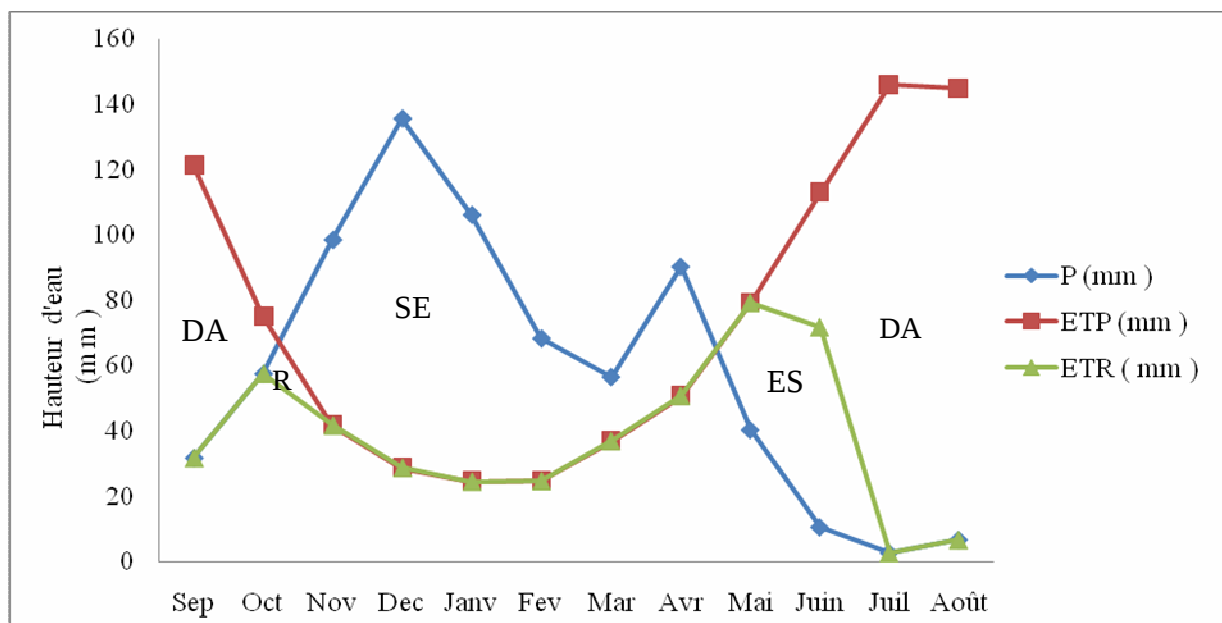


Fig.22. Bilan d'eau Station de Berrahal (1989-2009).

Légende

SE : Surplus d'eau

DA : Déficit agricole

ES : Epuisement du stock

R : Recharge du sol

III.2.3. Interprétation du bilan hydrique

Les résultats obtenus du bilan hydrique des trois stations (les Salines, Pont Bouchet et Berrahal) respectivement illustrés dans les tableaux et les graphismes précédents, nous ont permis de tirer les observations suivantes :

- ✓ La région d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 667.9 mm (les Salines), 603.6 mm (Pont Bouchet) et 703.1 mm (Berrahal) et une température moyenne annuelle de 18.0°C, qui se rapporte à la station des Salines.
- ✓ L'évapotranspiration potentielle (ETP) dans les trois stations atteint son maximum au mois de Juillet (145.8 mm) et son minimum au mois de Janvier (24.4 mm). L'ETP total est de l'ordre de 885.1mm.
- ✓ L'Evapotranspiration réelle (ETR) totale est de 494.6 mm ; 455.7 mm et 455.5 mm respectivement pour les trois stations : les Salines, Pont Bouchet et Berrahal.
- ✓ Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est pleine, il y a un surplus d'eau accompagné par un ruissellement et quand elle a tendance à diminuer et au point qu'il sera carrément vide, il y aura un épuisement du stock et par conséquent un déficit agricole s'étalant du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre pour l'ensemble des stations, avec une moyenne annuelle de 455.5 mm ; 429.4 mm et 429.6 mm successivement apportée aux trois stations précédemment citées.
- ✓ La reconstitution de la RFU s'effectue au mois de Novembre 29.3 mm à la station des Salines, 46.5 mm à la station de Pont Bouchet et 56.7 à celle de Berrahal). Elle atteint son maximum (saturation : 100mm) au mois de Décembre et reste ainsi jusqu'au mois d'Avril puis elle commence à s'épuiser pour se vider complètement au mois de Juin.
- ✓ L'écoulement débute après le remplissage de la RFU (100mm), c'est-à-dire au mois de Décembre et se termine à la fin du mois d'Avril avec un maximum au mois de Janvier 84.8 mm (les Salines), 73.8 mm (Pont Bouchet) et 81.5 mm (Berrahal) et un minimum au mois d'Avril de l'ordre de 9.2 mm à la station des Salines, 8.2 mm à la station de Pont Bouchet cependant il est de l'ordre de 19.5 mm à celle de Berrahal au mois de Mars.
- ✓ L'excédent annuel est égal à 173.3 mm à la station des Salines, 147.9 mm à la station de Pont Bouchet et 147.9 mm à la station de Berrahal.

Conclusion

La zone d'étude est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par une pluviosité moyenne annuelle de 667.9 mm (les Salines), 603.6 mm (Pont Bouchet) et 703.1 mm (Berrahal) et par une température moyenne modérée de 18.0°C. Ces deux paramètres climatiques ont permis de distinguer deux saisons hydriques du climat méditerranéen, l'une sèche et l'autre humide.

Le bilan hydrique nous a permis d'évaluer les quantités d'eau entrées et sorties de la surface étudiée. L'évapotranspiration potentielle annuelle est de 885.1mm pour l'ensemble des stations. La reconstitution de la recharge commence au mois d'Octobre et s'achève au mois de Novembre. L'épuisement du stock du sol s'observe au mois de Mai et la nécessité d'irriguer s'impose surtout pour la période allant de Juin en Octobre où l'on constate un déficit agricole pouvant atteindre 455.5mm (les Salines), 429.4mm (Pont Bouchet) et 429.6mm (Berrahal). Les résultats obtenus de l'infiltration efficace sont de 90 mm (les Salines), 131.75mm (Pont Bouchet) et 74.6 mm (Berrahal) et du ruissellement sont de 113.3mm (les Salines), 115.mm (Pont Bouchet) et 73.30mm (Berrahal).

CHAP. IV

CADRE HYDROGEOLOGIQUE

IV. Aperçu hydrogéologique

IV.1. Introduction

La connaissance de l'hydrogéologie de la région est très intéressante car elle permet d'envisager les échanges souterrains (écoulement, transfert de polluant,...) qui peuvent se produire dans les aquifères.

Selon les études effectuées antérieurement dans la région (cartes géologiques, hydrogéologiques...), on peut distinguer, de haut en bas, un ensemble de remplissage Mio-Plio-quaternaire formé par une alternance de sables argileux, de sables, de graviers et de travertins constituant deux types d'aquifères d'importances quantitative et qualitative inégales vis-à-vis de l'étendue :

- Aquifère superficiel.
- Aquifère profond.

IV.2. Description des différents aquifères

IV.2.1. Aquifère superficiel

Cet aquifère est représenté par des alluvions argilo-limoneuses. Il couvre la majorité de la plaine d'une superficie de 320 km² et s'étend sur tous les systèmes alluvionnaires des principaux oueds (oued Seybouse, oued Méboudja, oued Zied). L'épaisseur moyenne de l'aquifère varie de 5 à 15 mètres, la transmissivité est très faible (10^{-6} à 10^{-4} m²/s) (GAUD, 1976) ; exceptée dans les zones en bordure immédiate des oueds et au niveau du cordon dunaire, où elle est de l'ordre de 10^{-2} m²/s. La perméabilité moyenne est comprise entre 10^{-6} et 10^{-5} m/s et le coefficient d'emmagasinement est de l'ordre de 2 % (Saaidia, 1992).

La description des différentes formations hydrogéologiques a montré que le système aquifère englobe quatre nappes dont l'épaisseur et l'extension varie d'un secteur à l'autre : La nappe des gneiss altérés, la nappe du cordon dunaire, la nappe des cailloutis des terrasses et la nappe des alluvions récentes et actuelles.

IV.2.1.1. Nappe des gneiss altérés

Les gneiss altérés ont été reconnus par des sondages effectués en bordure des massifs de Bouhamra et Béllielita ; leur profondeur n'atteint jamais plus de 20 mètres, en moyenne elle est de 10 à 15 mètres.

La nappe qui s'y trouve est peu importante, elle est exploitée par des puits de faible débit (0.5 à 1.5 l/s). Les gneiss constituent surtout une zone de faible alimentation pour la nappe phréatique et la nappe profonde des graviers.

IV.2.1.2. La nappe du cordon dunaire

Elle est située entre Annaba et la Mafragh. C'est une nappe limitée sur une bande littorale de 0.5 à 2 km de largeur, constituée de sables fins à moyens et alimentée directement par les eaux de pluie. Elle joue le rôle d'une barrière qui protège la nappe phréatique de la plaine d'Annaba de l'invasion des eaux salées marines (GAUD, 1976). La porosité efficace est de l'ordre de 10 % (Khérici, 1993) et la perméabilité vaut 10^{-4} à 10^{-2} m/s tandis que la transmissivité est comprise entre 10^{-3} et 10^{-2} m²/s. L'épaisseur moyenne est d'environ 20 mètres.

IV.2.1.3. La nappe des cailloutis des terrasses

Elle est localisée sur la bordure Sud Sud-Ouest de la plaine de Annaba, entre Ain Breda à l'Ouest et Zérizer à l'Est et contenue dans les cailloutis et les galets. D'après GAUD (1976), la transmissivité de cette nappe est faible variant de 10^{-5} à 10^{-4} m²/s. Etant donné que ses faibles potentialités hydrauliques, cette nappe est exploitée par des puits pour l'agriculture.

IV.2.1.4. La nappe des alluvions récentes et actuelles

Cette nappe couvre la majorité de la plaine avec une superficie d'environ 320 km² et contenue dans les alluvions récentes et actuelle à texture argilo-sableuse, argilo-limoneuse associée à quelques lentilles de sables de porosité efficace de 2 % (GAUD, 1976). Son épaisseur moyenne est de 10 mètres tandis que sa transmissivité oscille entre 10^{-6} et 10^{-3} m²/s.

IV.2.2. Aquifère profond

Généralement, on note deux nappes d'importances inégales : nappe des cipolins et nappe des graviers.

IV.2.2.1. La nappe des cipolins

Elle est localisée au Nord-Ouest dans les massifs métamorphiques de Bouhamra et de Béllielita et contenue dans les cipolins fissurés. Sa profondeur varie de 12 à 80 mètres. Ses forages ont des débits d'exploitation d'ordre de 15 l/s avec une transmissivité comprise entre 5.10^{-5} et 10^{-3} m²/s.

IV.2.2.2. La nappe des graviers

Elle se trouve au dessous de l'aquifère superficiel s'étendant sur toute la superficie de la plaine ; captive dans sa presque totalité et devient libre en bordure Sud Sud-Ouest quand les graviers affleurent en surface. Elle est contenue au sein des graviers, des sables et des galets

plio-quaternaires. Son épaisseur ne dépasse pas les 70 mètres. La transmissivité est de $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et le coefficient d'emménagement (S) est parfois très faible de l'ordre de 10^{-4} où la nappe est captive et atteint 10^{-2} dans les zones où elle est libre.

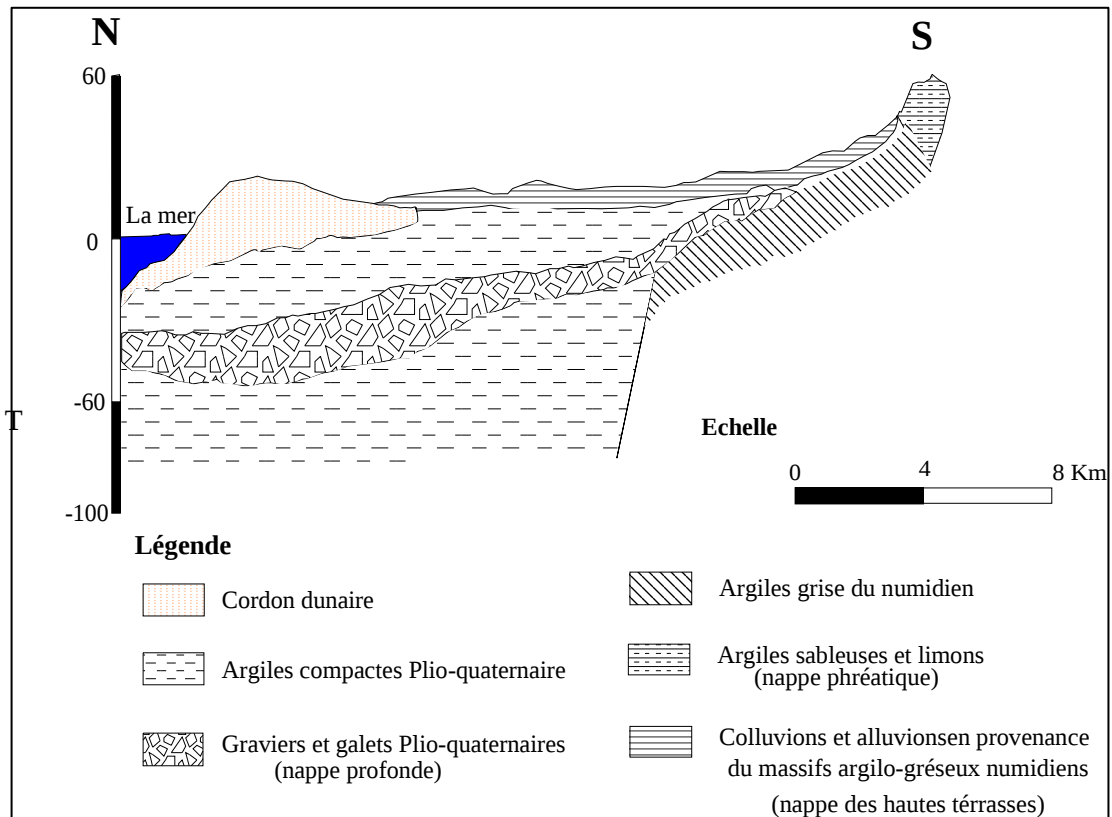


Fig.23 .Coupe géologique montrant les différentes nappes de la plaine d'Annaba
(D'après D.G.R.H.A 1967) modifiée

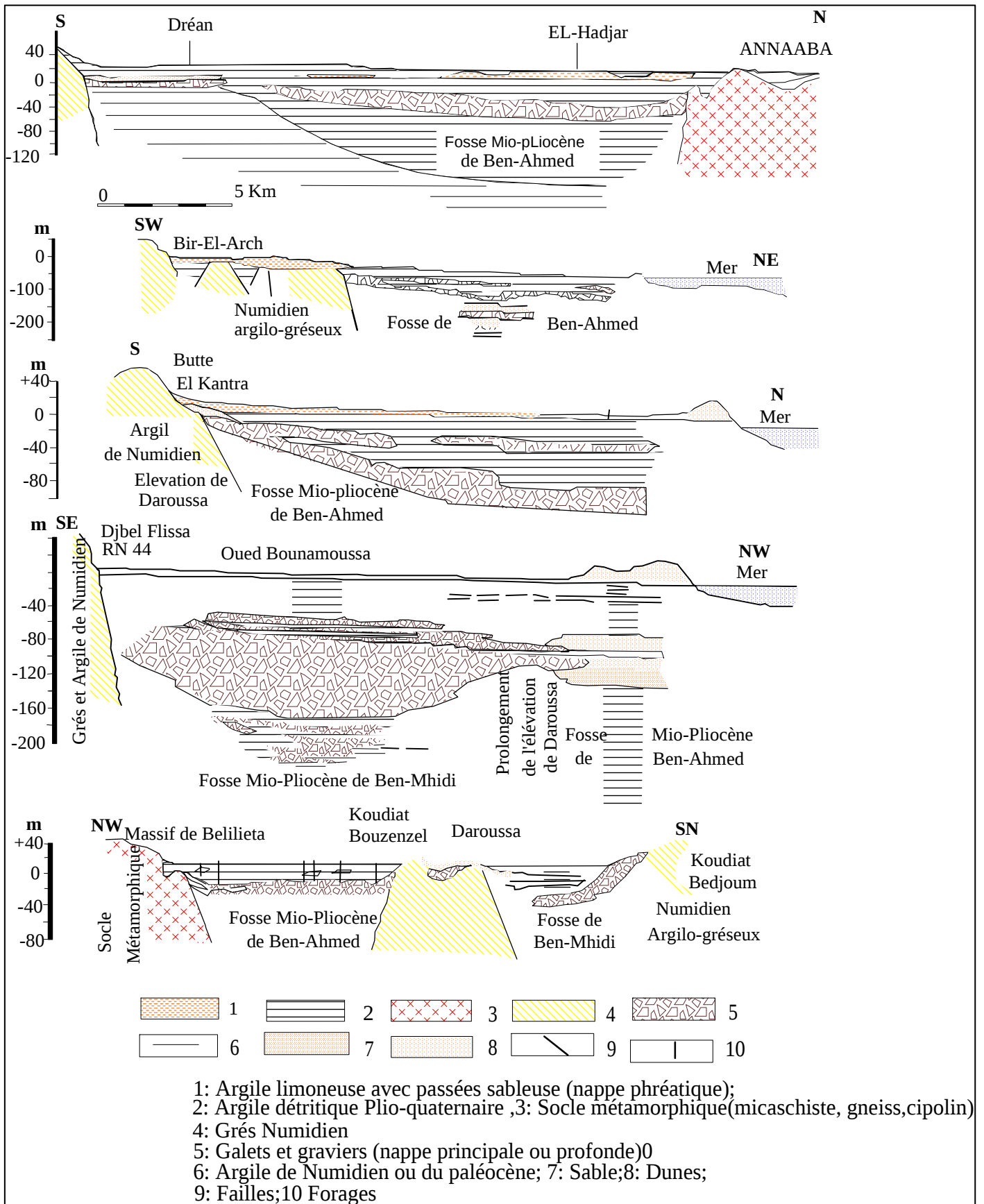


Fig. 24. Coupe au travers la plaine d'Annaba (ANRH, 1976, in Hani, modifiées).

Tableau.19. Paramètres hydrodynamiques des aquifères de la plaine d'Annaba

Aquifères	Transmissivité (m ² /s)	Perméabilité (m/s)	Coefficient d'emmagasinement
Nappe des sables et graviers	10 ⁻²	10 ⁻³ à 10 ⁻⁵	10 ⁻²
Nappe des cipolins	5.10 ⁻³ à 5.10 ⁻⁵	10 ⁻⁴ à 10 ⁻⁶	10 ⁻⁴

IV.3. La piézométrie

IV.3.1. Etablissement de la carte piézométrique

L'étude de la circulation des eaux souterraines est basée sur l'analyse de la surface Piézométrique. La carte piézométrique permet de déterminer la profondeur de la nappe, le sens et la vitesse d'écoulement, le gradient hydraulique, les conditions aux limites d'une nappe. Ainsi que les zones d'alimentation et d'accumulation des eaux souterraines.

À cause de la grande extension de la zone d'étude nous l'avons partagée en quatre grands secteurs permettant de bien visualiser une piézométrie assez adéquate de l'ensemble du terrain étudié, ces secteurs sont :

- La plaine de l'oued Méboudja.
- La plaine de kharézas.
- La zone industrielle de Berrahal en contact avec le lac Fetzara.
- La plaine de l'oued Zied (en relation avec la décharge de Berka Zerga).

IV.3.1.1. La plaine de l'oued Méboudja

A partir des observations faites sur le terrain, l'ensemble des points d'eau (puits) existant dans la zone d'étude sont mentionnés sur la carte d'inventaire (Fig. 25).

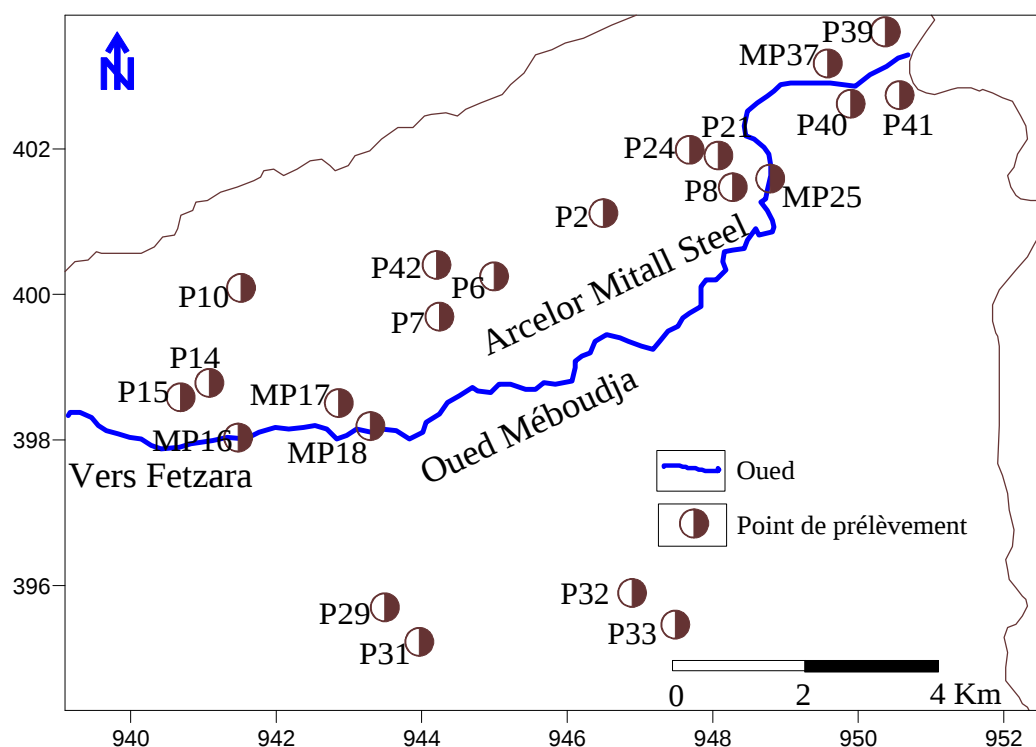


Fig. 25. Carte d'inventaire des points d'eau dans L'oued Méboudja Avril, 2008

IV.3.1.1.1. Interprétation de la carte piézométrique

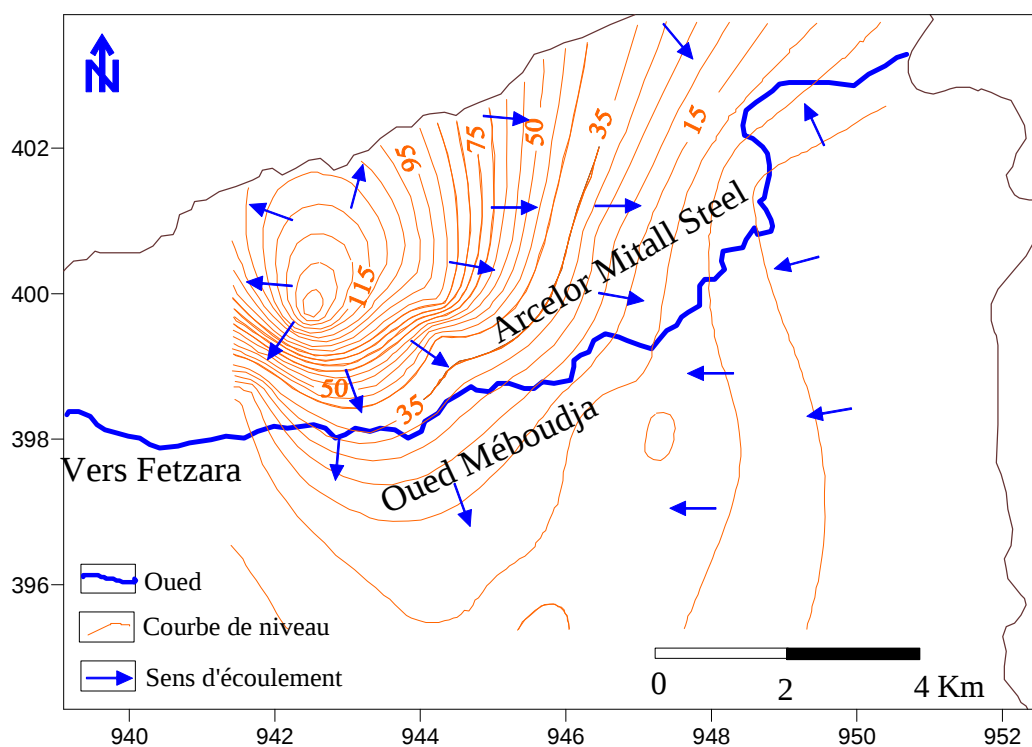


Fig. 26. Carte piézométrique dans L'oued Méboudja Avril, 2008

Les mesures des levés piézométriques ont permis de dresser la carte (Fig. 26), pour bien visualiser l'écoulement des eaux de la nappe superficielle.

Les courbes piézométriques sont fermées et serrées dans la partie amont de l'oued Méboudja (localité de Derradji Redjem), traduisant une zone de protubérance due à un apport à partir du socle métamorphique sous l'effet de la topographie. Le gradient hydraulique y est de l'ordre de $5 \cdot 10^{-2}$, il marque un écoulement rapide dû à la pente. Vers la partie aval de l'oued ainsi que vers le centre de la plaine, les courbes convergentes vers l'oued indiquant une alimentation de la nappe par l'oued, A ce niveau, elles deviennent ouvertes et espacées, le gradient hydraulique y est de $8 \cdot 10^{-4}$.

IV.3.1.2. La zone industrielle de Berrahal

A partir des observations et des levées piézométriques faites sur le terrain pendant le mois de Mai 2008, nous avons établi la carte d'inventaire des puits captant la nappe superficielle (Fig. 27).

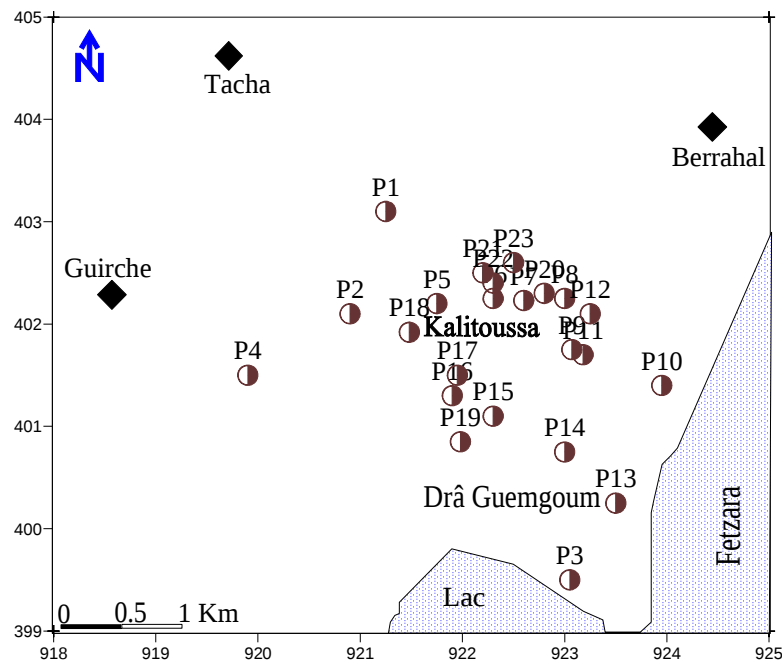


Fig. 27. Carte d'inventaire des points d'eaux dans la région de Berrahal

IV.3.1.2. Interprétation de la carte piézométrique

Les mesures piézométriques réalisées au mois de Mai (hautes eaux) ont permis d'élaborer la carte piézométrique (Fig. 28).

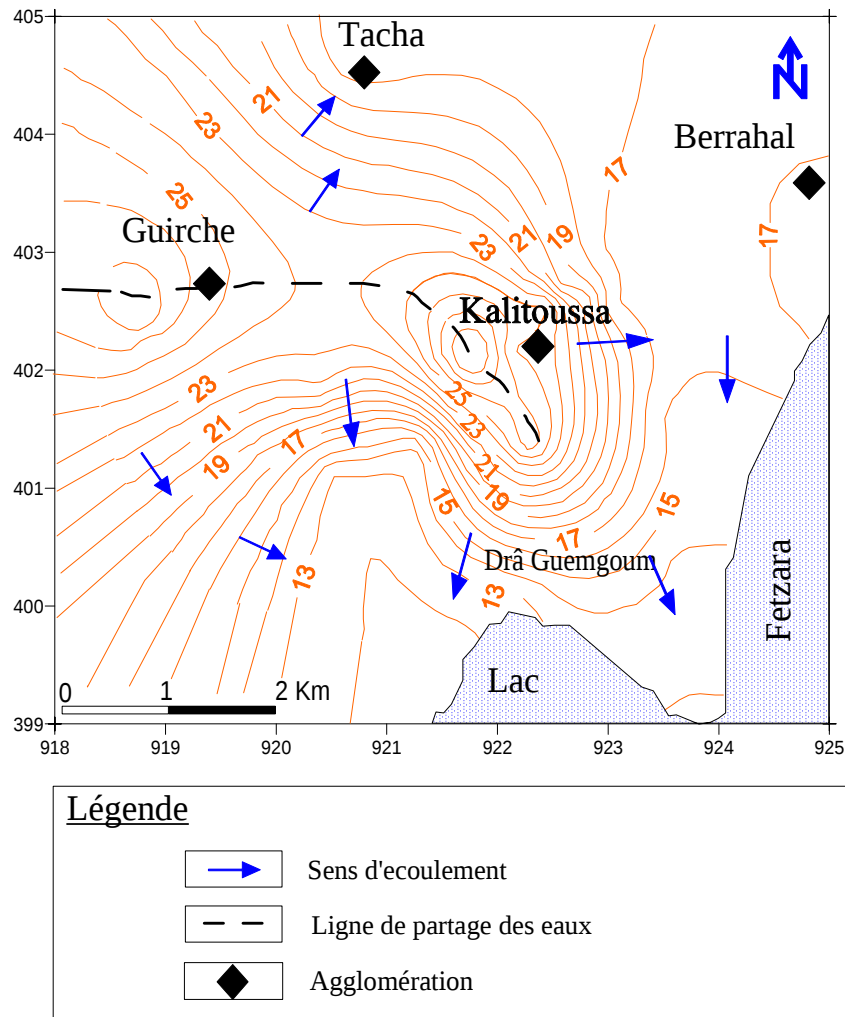


Fig. 28. Carte piézométrique de la zone de Berrahal (Mars 2008)

L'interprétation de la carte réalisée montre que le sens global de l'écoulement des eaux souterraines aboutit à l'alimentation du lac Fetzara au Sud et au Sud Est et à un degré moindre au Nord. L'allure générale des courbes isopièzes montre que la nappe suit le modèle topographique. La morphologie de la surface piézométrique montre des zones d'alimentation au Nord-Est (massif de l'Edough) et à l'Ouest de la plaine (Ouest de Guirche). Une ligne de partage des eaux s'individualise sur la piézométrie, elle s'étend de l'Ouest de Guirche jusqu'au Sud-Est de Kalitoussa.

Le sens d'écoulement des eaux souterraines se fait :

- Du Nord vers le Sud, dans la partie Est et Sud-Ouest de la carte, le lac Fetzara constitue donc l'aire d'accumulation de l'ensemble des eaux souterraines.
- Du Sud vers le Nord, coïncidant avec la topographie de la région, il y a une dépression qui se dessine au niveau de la plaine Tacha.

IV.3.1.3. La plaine de l’oued Zied - décharge de Berka Zerga

Dans cette étude, nous avons sélectionné 22 puits utilisés, généralement, pour l’irrigation et l’alimentation du bétail et qui nous ont servi pour la réalisation de la carte piézométrique durant le mois de Juin 2008 (Fig. 29).

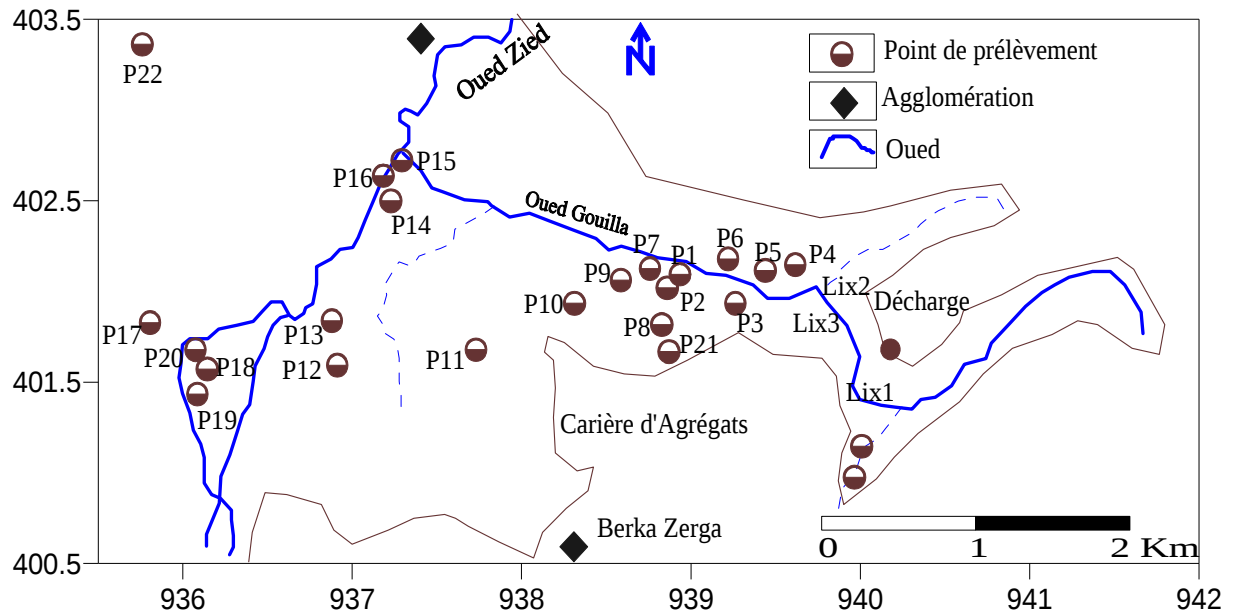


Fig.29. Carte d’inventaire des points d’eaux dans la plaine de L’Oued Zied Juin, 2008

IV.3.1.3.1. Interprétation de la carte piézométrique

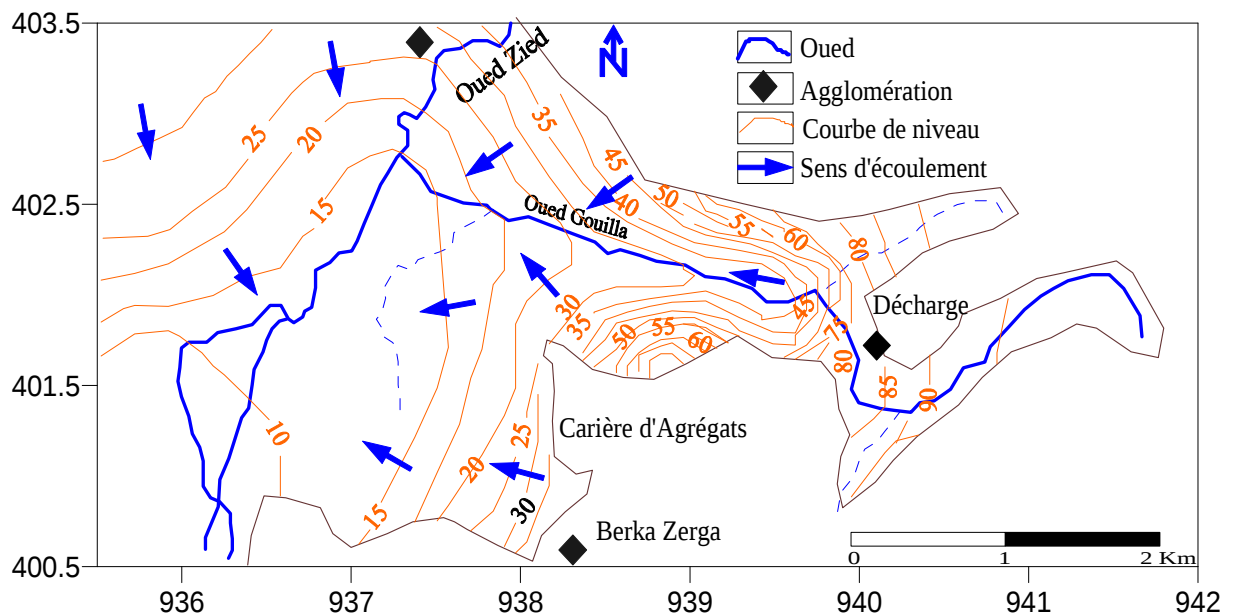


Fig. 30. Carte piézométrique de la plaine de L’oued Zied Juin, 2008

À partir des levés piézométriques balayant tout le secteur étudié nous avons dressé la carte (Fig.30).

D'après l'allure générale des courbes isopièzes, la nappe suit le modèle topographique (Fig. 30). L'allure des surfaces piézométriques montre des zones d'alimentation au Nord et au Sud-Est de la nappe. Elles sont caractérisées par des courbes isopièzes divergentes, donc, à concavité orientée vers l'amont et à faible espacement. Ce dernier indique un écoulement rapide. L'alimentation de la région Nord de la nappe s'effectue à partir des massifs de l'E Edough et de Béllielita. L'écoulement souterrain converge vers le Lac.

Deux types d'échanges semblent exister entre la nappe et le Lac. Le premier met en évidence une alimentation du Lac par la nappe et les bordures, quant au second, il montre un drainage de la nappe par l'oued Zied ; véhiculant, de ce fait, tout le panache de la pollution de la décharge vers le lac.

IV.3.1.4. La plaine de Kharézas

La majorité des points d'eau d'échantillonnage sont des puits dont quelques uns sont équipés par des pompes. Généralement, ils sont destinés à l'AEP et à l'irrigation, ces derniers sont mentionnés sur la carte d'inventaire (Fig.31)

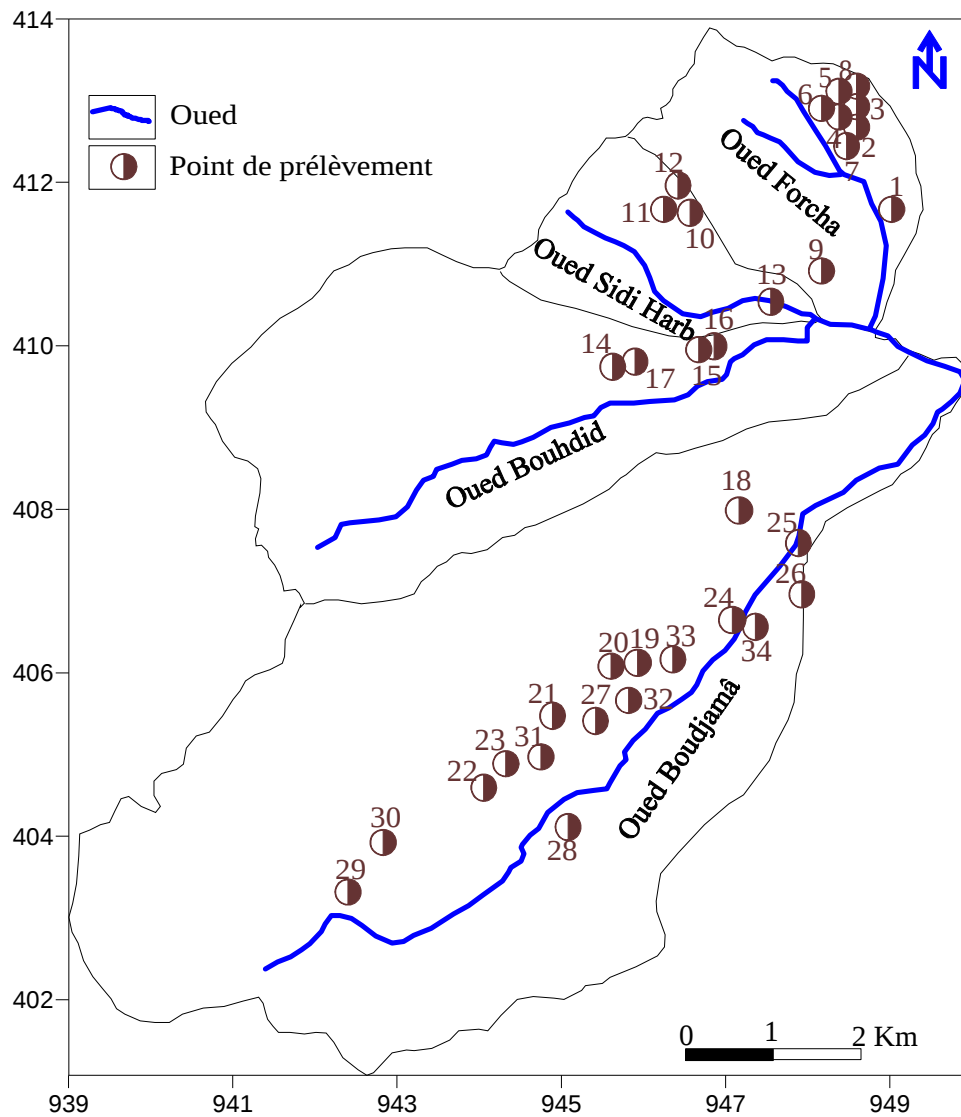


Fig. 31. Carte d'inventaire des points d'eaux dans la plaine de Kharézas Mai, 2008

IV.3.1.4.1. Interprétation de la carte piézométrique

Les mesures piézométriques réalisées au mois de décembre 2007 (basses eaux) et au mois de Mai (hautes eaux) ont permis d'élaborer les cartes piézométriques (Fig. 32 et Fig. 33) :

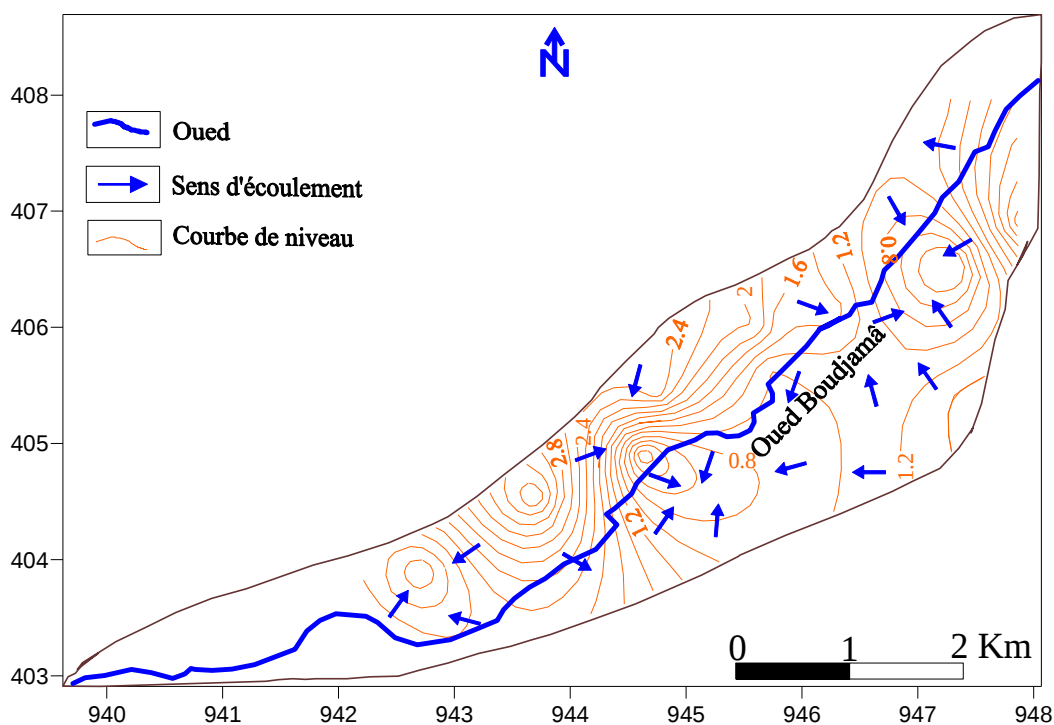


Fig.32. Carte piézométrique le long de L'oued Boudjamaa Décembre, 2007

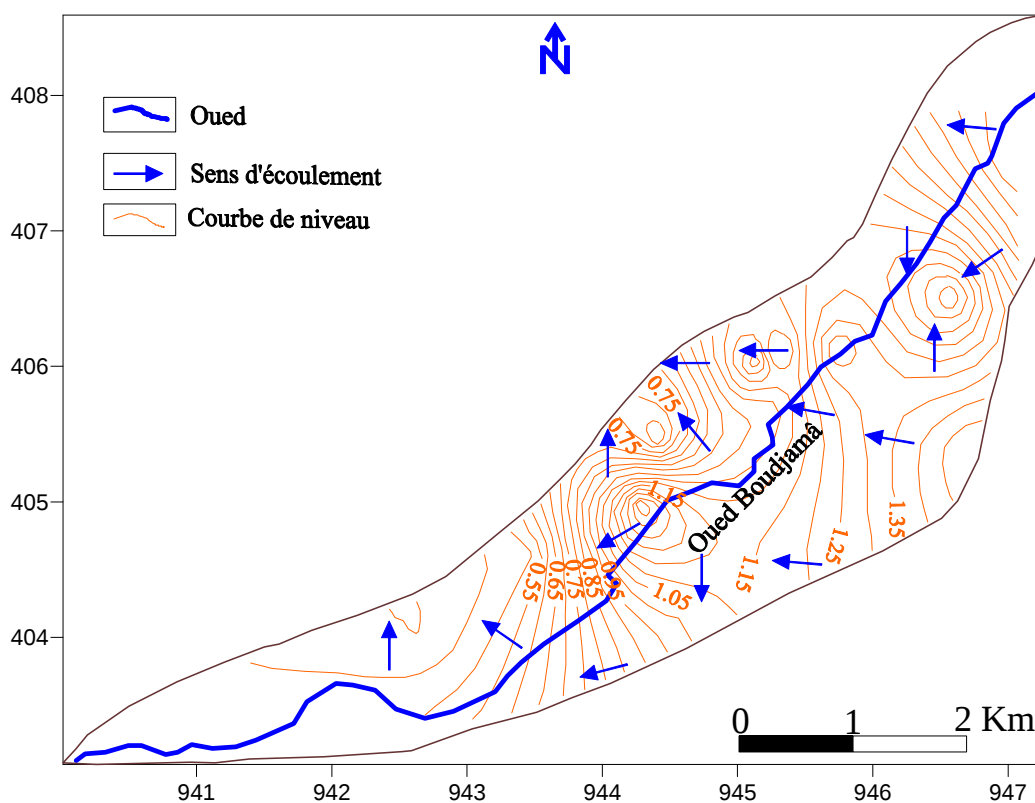


Fig. 33. Carte piézométrique le long de L'oued Boudjamaa Mai, 2008

La première carte (basses eaux); montre que les courbes isopièzes sont moyennement espacées ce qui indique un écoulement assez calme dû à la topographie plate de la région.

L'examen de cette carte montre que l'écoulement général des eaux souterraines se fait de l'oued vers la nappe presque partout.

La carte des hautes eaux montre un écoulement différent de celui des basses eaux, son examen montre un drainage de l'oued vers la nappe. Les courbes isopièzes sont serrées au centre de la plaine avec un gradient hydraulique fort ce qui traduit une grande vitesse de l'écoulement. Cependant on note, dans les deux cas, la présence de quelques dépressions autour des puits marquant une surexploitation. La cote piézométrique varie entre 0.5 et 1.5 m durant les hautes eaux et entre 0.8 et 3 m lors des basses eaux

Conclusion

Selon les études, effectuées dans la région d'étude, les cartes hydrogéologiques schématiques et les colonnes stratigraphiques des forages implantés dans la région, on peut distinguer un ensemble de remplissage Mio-Plio-quaternaire formé par une alternance de sables argileux, de sables, de graviers et de travertins

On peut distinguer deux nappes aquifères principales d'importance quantitative et qualitative inégales vis-à-vis de l'étendue.

- l'une superficielle (libre) ; formée de sable fin et gravier d'une épaisseur de l'ordre de 10 m, sa transmissivité est très faible (10^{-6} à 10^{-4} m²/s), sa perméabilité moyenne est comprise entre 10^{-6} et 10^{-5} m/s et le coefficient d'emménagement est de l'ordre de 2 %.
- L'autre profonde ; semi-captive qui devient captive à l'Ouest de la zone d'étude localisée à une profondeur varie de 12 à 80 mètres ; transmissivité comprise entre 5.10^{-5} et 10^{-3} m²/s.

L'infiltration représente la principale source d'alimentation de ces aquifères.

L'observation des cartes piézométriques réalisées montre que :

Dans la plaine de l'oued Méboudja; La cartographie piézométrique permet de définir le sens de l'écoulement souterrain et met en évidence la relation qui existe entre l'oued et la nappe. Les relevés piézométriques effectués montrent que l'oued draine la nappe dans le secteur amont (localité de Derradji Redjem) alors que dans le secteur aval c'est la nappe qui draine l'oued.

Au niveau de la zone industrielle de Kalitoussa à Berrahal ; le sens global de l'écoulement des eaux souterraines aboutit à l'alimentation du lac Fetzara.

Dans la plaine de l'oued Zied, L'alimentation de la nappe s'effectue à partir des massifs de l'Edough et de Béllielita. L'écoulement souterrain diverge vers l'Ouest et vers le Lac.

Deux types d'échanges semblant exister entre la nappe et le Lac. Le premier met en évidence une alimentation du Lac par la nappe et les bordures, quant au second, il montre un drainage de la nappe par l'Oued Zied.

Quant à la plaine de Kharézas ; L'écoulement des eaux souterraines est généralement dirigé de l'oued vers la nappe pendant la période des hautes eaux et l'inverse durant la période des basses eaux, c'est-à-dire de la nappe vers l'oued.

Dans l'ensemble, les secteurs étudiés se caractérisent par un gradient hydraulique faible d'où un écoulement lent dus à la topographie plane de la région et une perméabilité assez forte.

En général, les différentes nappes identifiées dans la plaine de Annaba constituent un même système aquifère avec des transferts hydrauliques par drainance mettant en communication la nappe superficielle et la nappe profonde.

CHAP. V

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX

Introduction

Les phénomènes de pollution se traduisent généralement par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur. Un des moyens d'étude de cette pollution consiste à mesurer, par des analyses et à différents secteurs d'exposition, les paramètres physico- chimiques des eaux dans les forages, les puits et les rejets. En effet, l'accroissement de la population et le développement des agglomérations, des unités industrielles et des terres cultivées ont conduit à l'utilisation intensive des engrais, l'intensification des pompages dans les forages et l'augmentation des rejets ce qui a provoqué la modification du régime hydrodynamique de la nappe et la dégradation de la qualité de l'eau.

Les nombreux travaux réalisés dans la région (Debièche, 2002, Djabri L, 1996, Hani A. 2003, Khérici N. 1993, Zenati N. E., 1999, Belhamra A., 2001, Djorfi S., 2005, Fougou A., 2008...) ont permis de suivre l'hydrochimie des eaux afin de mettre en évidence l'influence des rejets industriels et urbains ainsi que l'activité agricole sur l'hydrochimie des eaux des aquifères.

Dans le cadre de ce travail notre étude est faite dans les quatre secteurs qui semblent être les plus sujettes à la pollution dans la région d'Annaba : la Méboudja – Arcelor Mittal, la zone industrielle de Berrahal - Lac Fetzara, la plaine de l'oued Zied - décharge de Berka Zerga et la plaine de Kharézas, l'étude hydrochimique, partie la plus importante, vise à analyser les mécanismes qui régissent les transferts de la pollution vers la nappe, et identifier l'origine et la genèse de certains éléments polluants. A partir des données analytiques (tab.20), des cartes de distribution spatiale, des cercles de L'ACP ont été élaborés, pour illustrer ainsi l'évolution physico-chimique des eaux et de mettre en relief l'influence des actions anthropiques.

Tableau.20. Statistiques élémentaires des résultats analytiques de l'échantillonnage des eaux de la zone d'étude. Avril 2008. Ds: déviation standard; CE: conductivité électrique; les teneurs chimiques sont données en mg.l⁻¹.

Variables	Min	Max	Moy	Ds	sVariable	Min	Max	Moy	Ds
(°C)T	19.8	25.7	22.9	1.64	NO3	0	296	43.85	64.12
pH	6.88	8.4	7.4	0.31	NO2	0.07	0.73	0.25	0.21
Eh (mV)	238	416	356	32	PO4	0.11	1.72	0.50	0.45
Si	4.2	12.2	7.16	1.95	NH4	0	4.5	0.18	0.77
Ca	44	746	209	156	CE (µS.cm ⁻¹)	558	20333	3222	3592
Mg	12	495	78.5	94.3	Cr(T)	0.02	1.25	0.07	0.21
Na	35	3670	419.8	642.6	Mn	0	2.48	0.13	0.46
K	1	56	8.7	13.2	Fe(T)	0.01	2.81	0.22	0.61
Cl	48	6274	658	1148	Ni	0.02	0.55	0.1	0.10
SO4	60	883	204	147	Sn	0	0.24	0.03	0.04
HCO3	188	610	416	108	Al	0	0.06	0.02	0.01
F	0.05	1.62	0.62	0.40	Sr	0.3	6.8	1.5	1.3

V.1. LA MEBOUDDJA - ARCELOR MITALL STEEL

V.1.1. Echantillonnage, méthodes d'analyse

Pour mieux étudier la présence ou l'absence d'une pollution industrielle, on a effectué des campagnes d'échantillonnage. Les échantillons ont été prélevés jusqu'à débordement dans des flacons en polyéthylène, rincés avec de l'eau distillée, puis avec l'eau à échantillonner puis bouchonnés. Pour l'analyse des métaux lourds on a ajouté quelques gouttes d'acide nitrique pour assurer une conservation dans un milieu acide, et immédiatement mis dans une glacière.

Les échantillons sont prélevés selon une répartition qui couvre toute la zone d'étude (le long de l'oued Méboudja Fig.34) :

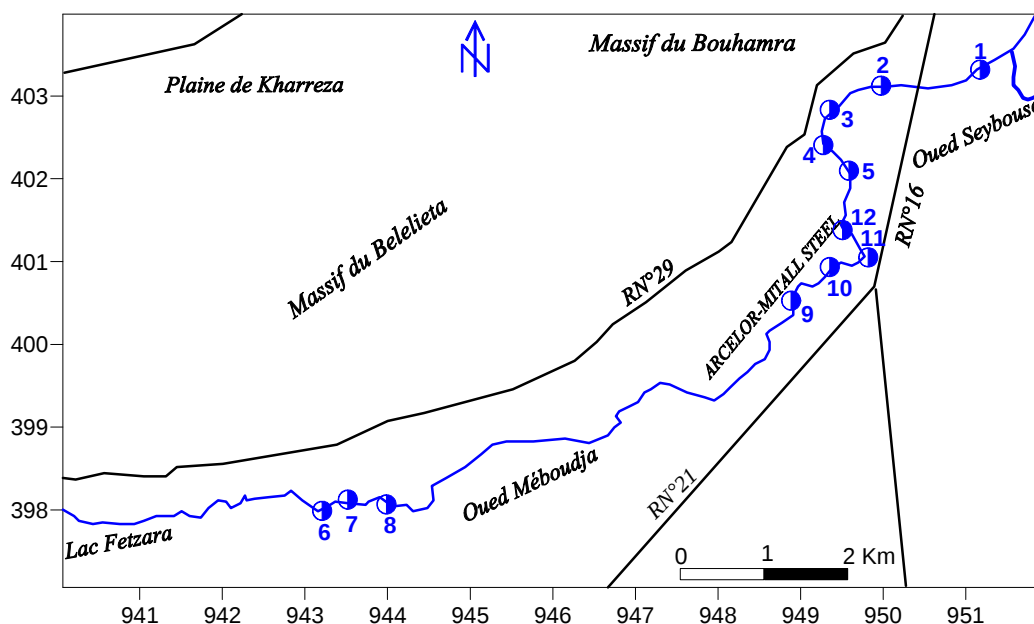


Fig.34. Carte d'échantillonnage Méboudja, Avril 2008

- Trois (03) échantillons en amont, dans la région de Derradji Rdjem : n° 6, 7 et 8.
- Quatre (04) échantillons à la sortie de l'usine sidérurgique « ARCELOR MITALL STEEL » (n° 11 et 12) et la ville d'El-Hadjar (n° 9 et 10).
- Cinq (05) échantillons (1, 2, 3, 4 et 5) à l'aval après les deux zones industrielles Méboudja1 et Méboudja2.

Les analyses effectuées ont porté sur les variables suivantes : température, pH, conductivité électrique, DBO5, DCO, TH, Cr, Pb, Fe total, Cu et Ni.

Trois paramètres physico-chimiques (T°C, pH et conductivité) sont mesurés in situ directement après le prélèvement des échantillons à l'aide d'un appareil multi paramètres de marque WTW, Les métaux lourds (Cr, FeT, Pb, Cu et le Ni), par un spectrophotomètre à absorption atomique avec flamme (au niveau de l'ENIP, SONATRACH SKIKDA).

Pour identifier la contamination des eaux, on compare les valeurs obtenues par rapport aux normes de potabilité fixées par l'OMS. De même pour les eaux des rejets, la comparaison des valeurs obtenues avec les normes Algériennes décrites dans le tableau n° 21 et 22.

Tableau.21. Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises en place à Genève en 1993 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable.

Elément/ substance	Symbole/ formule	Lignes directrices fixées par l'OMS	
		Les eaux potables	Les rejets
Conductivité	CE	400 μ S/cm	
Cuivre	Cu	2 mg/l	0.6 mg/l
Chrome	Cr	0.05mg/l	2 mg/l
Fer	Fe	0.2 mg/l	10 mg/l
Manganèse	Mn	0.5 mg/l	
Plomb	Pb	0,01 mg/l	4 mg/l
Nickel	Ni	0,02 mg/l	5mg/l
pH		6,5-8,5	
T (C°)		25	

Tableau.22. Normes algériennes des rejets

Elément/ substance	Valeurs limites / type d'activité			
	Corps gras	Industrie de l'énergie	Industrie mécanique/ transformation des métaux	Rejets
Température	30°C	30°C	30°C	30 C°
pH	5.5-8.5	5.5-8.5	5.5-8.5	5.5-8.5
DBO ₅	200 g/t	25 g/t		
Pb		0.5 mg/l	0.7mg/l	1mg/l
Cu			0.7/1.5 mg/l	3mg/l
Ni			2 mg/l	5mg/l
Fe			5 mg/l	5mg/l

V.1.2. Interprétation des résultats

V.1.2.1. La température

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et l'évaporation des eaux ; elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Les valeurs mesurées de la température oscillent entre 22 et 24.9°C. Ces valeurs n'ont pas un rôle dans la toxicité des eaux, en prétendant qu'elles sont inférieures à la norme de potabilité (norme < 25°C).

V.1.2.2. Le pH

Il est en fonction de HCO_3^- ou H^+ ; autant dire, est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques (Fig. 35)

Les valeurs du pH des échantillons prélevés sont comprises entre 7.35 (point n° 11) et 8.29 (point n° 1).

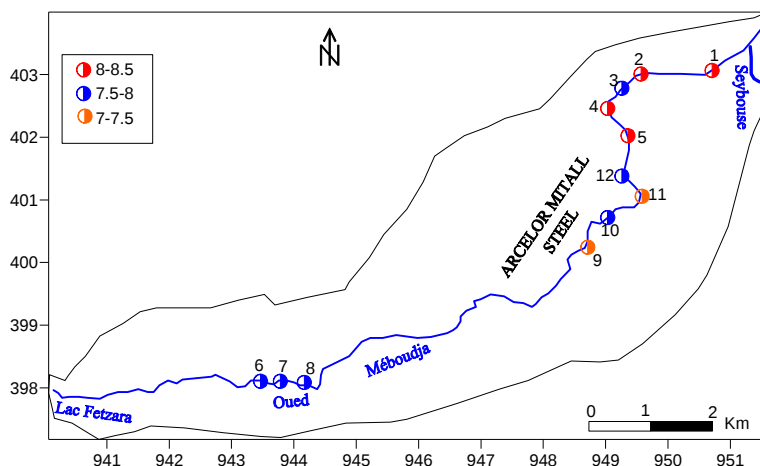


Fig.35. Carte du pH des eaux de la Méboudja Avril, 2008.

V.1.2.3. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (Fig. 36) permet d'avoir une idée sur la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée. Pour l'eau d'alimentation la valeur guide est de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

- 50 à 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$: qualité excellente.
- 400 à 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$: bonne qualité.
- 750 à 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$: qualité médiocre mais eau utilisable.
- 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation excessive.

La plus faible valeur de la conductivité est marquée au point n° 6 avec 567 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et elle devient très élevée (2240 $\mu\text{S}/\text{cm}$) au niveau des points 7 et 8. Ces différences sont dues aux apports pluvieux qui diluent les concentrations et à l'effet de la dissolution des évaporites. D'une façon générale, toutes les conductivités mesurées sont élevées et dépassent la norme (< 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

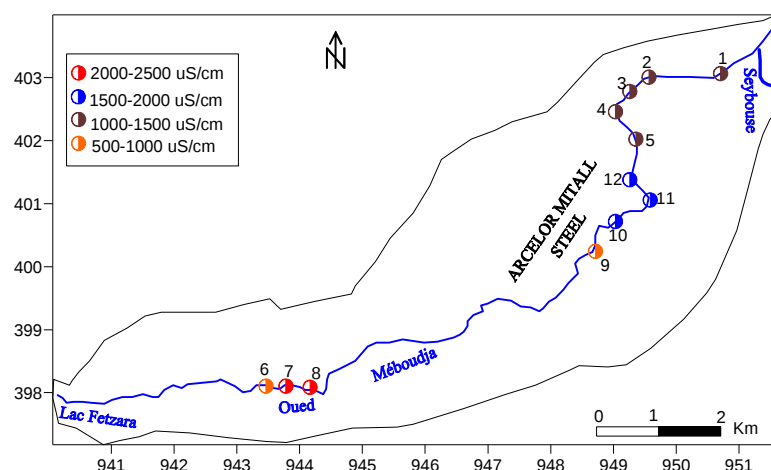


Fig.36. Carte de la conductivité des eaux de la Méboudja Avril, 2008.

V.1.2.4. Solide total dissous (TDS)

L'origine du TDS est liée à la présence de certains éléments : Cl^- et Na^+ présentant des Concentrations variables.

La carte de la distribution des concentrations (Fig. 37) montre que les fortes teneurs en TDS se localisent dans la partie amont (Derradji Rdjem) et sont représentées par les échantillons 6 et 8 dont les concentrations correspondantes sont de 1240 et 1050 mg/l. L'échantillon n° 7 présente la valeur minimale du TDS, elle est de 314 mg/l.

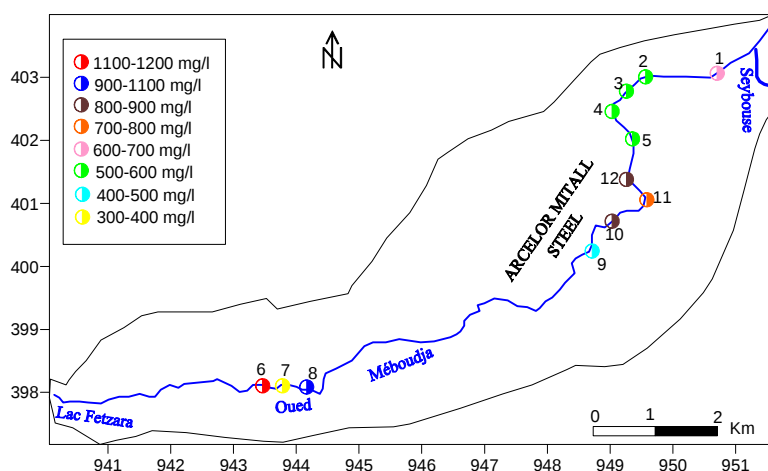


Fig.37. Carte du TDS des eaux de la Méboudja, Avril 2008.

V.1.2.5. La dureté totale (TH)

La dureté d'une eau correspond à la présence de sels de calcium et, dans une moindre mesure, des sels de magnésium (strontium, et baryum). On l'exprime en général en milligrammes d'équivalents de carbonate de calcium par litre.

Ce paramètre ne fait pas l'objet de normes strictes. Il varie le plus souvent entre 10

mg/l et 500 mg/l. La valeur de 100 mg/l est couramment atteinte. Avec l'intervention d'autres facteurs (pH, alcalinité), une dureté de plus de 200 mg/l peut entraîner l'entartrage des canalisations et des appareils de chauffage. A l'inverse, une dureté trop faible (inférieure à 100 mg/l) ne permet pas la formation d'une couche carbonatée protégeant les canalisations de certains risques de corrosion. Cependant, on peut considérer qu'une eau ayant une teneur inférieure à 75 mg/l de CaCO_3 ou à 30 mg/l de calcium est une eau douce et qu'au dessus, il s'agit d'une eau dure (J. Rodier et al. 1996).

Les eaux de la région de point de vue dureté ne sont pas dures, ils ont une dureté comprise entre 3 et 6°F sauf pour le point 7 qui a une dureté de 10°F (Fig.38).

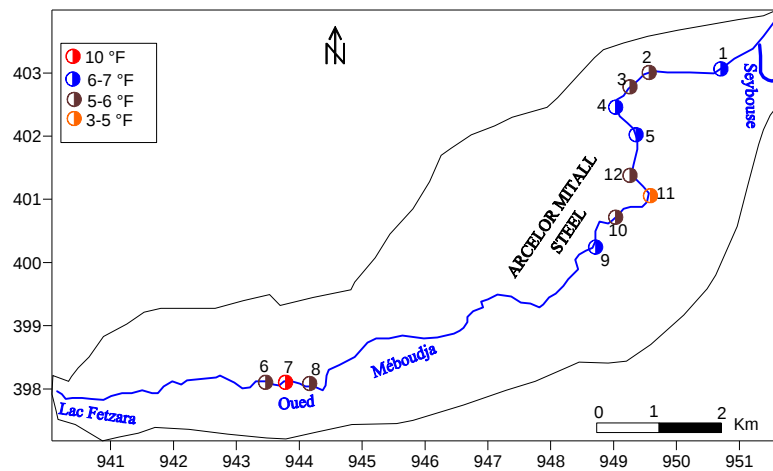


Fig.38. Carte du TH des eaux de la Méboudja Avril, 2008.

V.1.2.6. La DBO_5

L'oxydation des composés organiques biodégradables par des micro-organismes entraîne une consommation d'oxygène, donc la mesure de ce paramètre permet d'évaluer la qualité d'une eau ou son degré de pollution. La dégradation complète des matières organiques peut être relativement longue, d'autre part l'oxydation des dérivées ammoniacaux et des nitrites en nitrates absorbe également de l'oxygène.

Les valeurs de la DBO varient selon les types d'eaux :

- de 0 à 10 mg/l : eau naturelle.
- de 10 à 50 mg/l : eau usée épurée.
- de 50 à 400 mg/l : eau usée domestique.
- 400 mg/l : eau usée industrielle.

Les phénomènes d'autoépuration dans les eaux superficielles entraînent la dégradation de la charge organique polluante par les micro-organismes. L'activité de ces derniers tend à consommer de l'oxygène et c'est cette diminution de l'oxygène dans le milieu qui est mesurée

par la DBO₅. En effet, à 20°C la dégradation des matières organiques commence immédiatement. Il a été conventionnellement retenu d'exprimer la DBO₅ en mg/l d'oxygène consommé pendant 5 jours à 20°C.

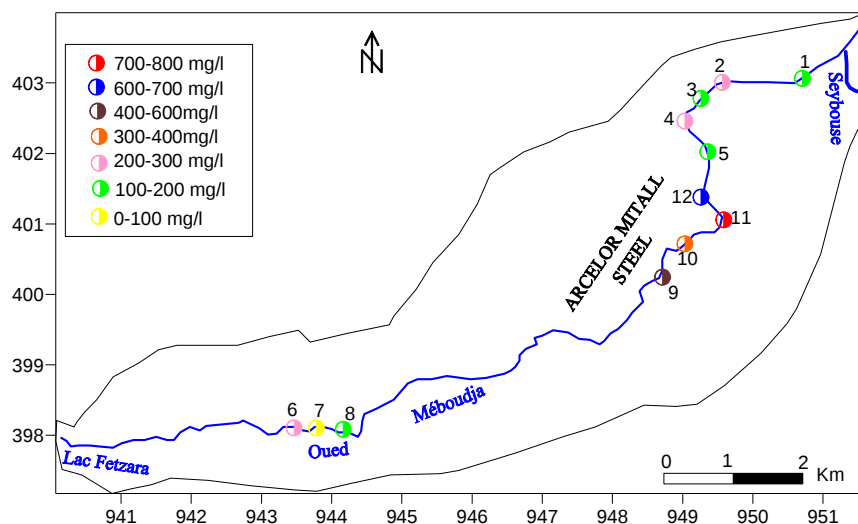


Fig.39. Carte du DBO₅ des eaux de la Méboudja Avril, 2008.

Les fortes teneurs de la DBO₅ sont observées surtout au niveau du point 11 (rejet ARCELOR MITALL STEEL).

D'après la carte précédente (Fig. 39), on observe que tous les points d'eau situés dans le terrain d'étude présentent des valeurs de DBO₅ extrêmement supérieures à la norme (< 10). La valeur minimale (160 mg/l) est observée à l'amont de l'usine sidérurgique, le maximum (780 mg/l) au niveau du point 11 (rejet sidérurgique). Ces valeurs excessives de la DBO₅ sont des indicateurs d'une importante pollution des eaux.

V.1.2.7. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en Oxygène (DCO) est la quantité d'Oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. Nous remarquons d'après la figure (Fig.40) que les valeurs de DCO sont relativement élevées par rapport à la norme préconisée par l'OMS. La valeur minimale est de 15.84 mg/l, elle est enregistrée au niveau de l'effluent n° 4 à l'aval de l'oued Méboudja ; cependant, la valeur maximale est observée au niveau de l'effluent n°9 à la sortie de l'usine sidérurgique (ARCELOR MITALL STEEL), elle est de 440.8 mg/l.

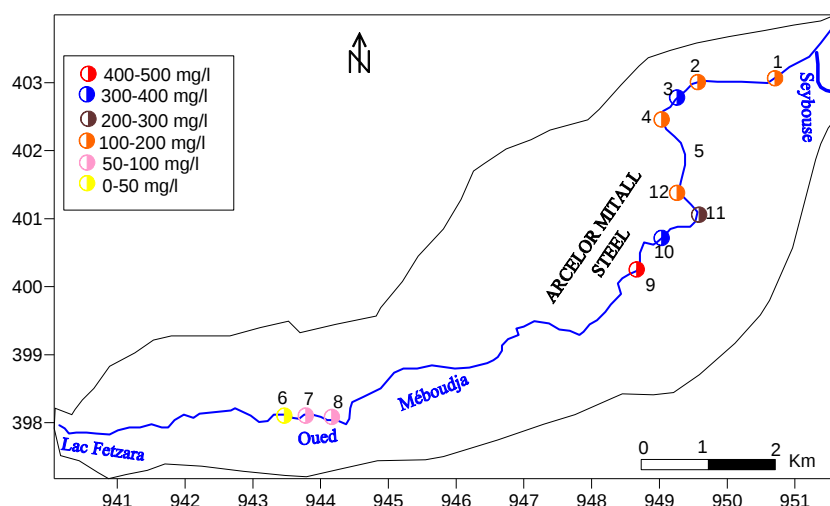


Fig.40. Carte du DCO des eaux de la Méboudja Avril, 2008.

V.1.2.8. Les métaux lourds

On appelle métaux lourds, les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm^3 . Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse.

V.1.2.8.1. Les rejets de métaux lourds dans l'eau

Pendant de nombreuses années, les industries situées à proximité de cours d'eau ont rejeté leurs effluents dans la nature en particulier dans les oueds. A ce phénomène, de plus en plus limité par l'installation de station d'épuration au sein même des sites industriels, il faut ajouter l'érosion et le ruissellement de l'eau sur les sols et les chaussées. L'eau constitue un élément fondamental en matière de pollution, puisque dans le cas des métaux, comme pour d'autres composés, celle-ci va favoriser de nombreuses réactions chimiques. L'eau transporte les métaux lourds et les insert dans les chaînes alimentaires (algues, poisson, etc.). Même si les métaux lourds sont le plus souvent présents à l'état de traces, ils n'en restent pas moins très dangereux, puisque leur toxicité se développe par bioaccumulation dans les organismes.

La toxicité des métaux lourds n'est plus à démontrer. Les effets toxiques des métaux lourds concernent le système nerveux, le sang ou la moelle osseuse. Ils sont généralement cancérigènes. Pour plus d'information de façon spécifique sur les Méthodes de traitement de chaque métal, nous avons dressé le tableau n° 23.

Tableau.23. Méthodes de traitement de quelques métaux lourds dans les eaux

	Plomb	Cuivre	Nickel
Préchloration	Améliore l'élimination de tous les métaux lourds		
Coagulation	***	***	**
Filtre à sable	***	***	
Échangeurs d'ions	***	**	
Charbon actif	**	**	**

* : peu effet.

** : Suffisant pour répondre aux normes en vigueur.

*** : Excellent.

V.1.2.8.2. Le Chrome (Cr)

Dans la nature, le Chrome se trouve dans les roches basiques avec des teneurs plus importantes et sous forme de traces dans les silicates.

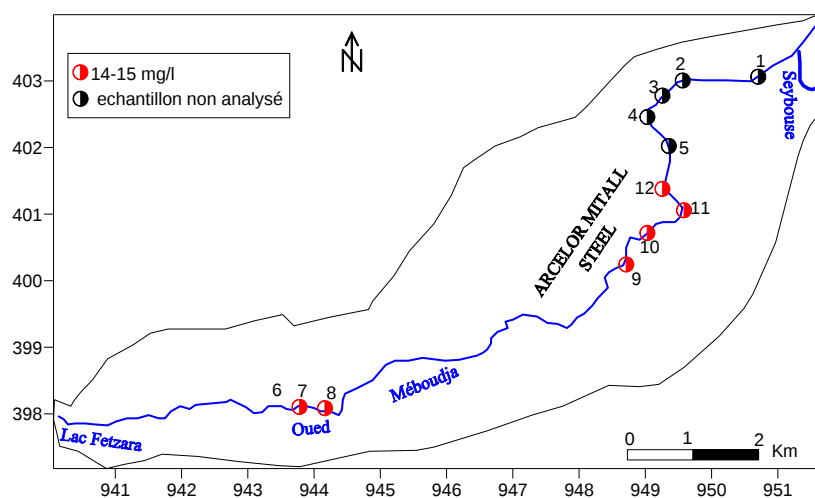


Fig.41. Carte du Cr des eaux de la Méboudja Avril, 2008.

D'après (Fig. 41) on remarque que tous les points de prélèvement ont des teneurs en chrome supérieures à la norme ; elles sont de l'ordre de 14mg/l. Ces fortes valeurs sont liées à l'effet des rejets surtout industriels et urbains.

V.1.2.8.3. Le Plomb (Pb)

En dehors des zones des gisements plombifères, le plomb est un constituant naturel

largement répandu dans la croûte terrestre. La norme fixée par l'OMS est de 0.01 mg/l.

Le plomb est concentré dans les gisements de sulfures où il est communément rencontré sous forme de galène (PbS(s)). Il peut être également rencontré sous la forme d'anglésite ($\text{PbSO}_4\text{(s)}$) et de cérusite ($\text{PbCO}_3\text{(s)}$). La concentration moyenne en plomb de la croûte terrestre serait de l'ordre de 13 à 16 mg/kg. Le plomb soluble ajouté au sol réagit avec des argiles, phosphates, sulfates, carbonates, hydroxydes et la matière organique, si bien que la concentration du plomb en phase aqueuse est fortement diminuée. Pour des pH supérieurs à 6, le plomb est soit adsorbé à la surface des argiles soit sous forme de carbonate de plomb. Il existe sous deux états de valence : +2 et +4. A cause de son caractère basique, cet élément ne s'hydrolyse qu'à des pH neutres ou alcalins.

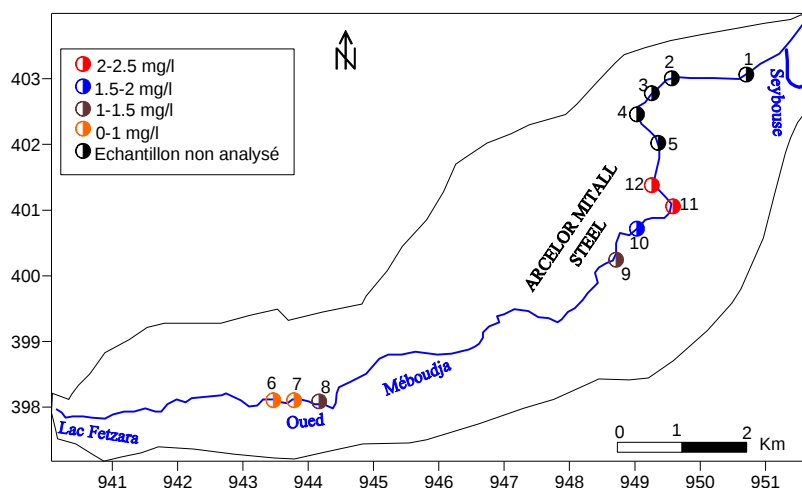


Fig.42. Carte du Pb des eaux de la Méboudja Avril, 2008.

La figure (Fig.42) illustrée ci-dessus montre que Le plomb présente des teneurs supérieures à la norme (0.01mg/l) au niveau de tous les points de prélèvement ; elles sont comprises entre 0.0685 mg/l (point 8) et 2.1764 mg/l. Ces concentrations très importantes du plomb proviennent de sa fréquente utilisation dans l'industrie : la fabrication de la soudure, des pigments, des batteries, des gaines des câbles électriques,...etc.

V.1.2.8.4. Le Fer total (Fe. T)

Les teneurs en cet élément sont assez fortes, allant de 0.420 mg/l en amont (point 6) à 1.030 mg/l à la sortie de l'usine ARCELOR MITALL STEEL (points 11 et 12) indiquant ainsi une pollution de ces eaux (Fig.43).

La présence du Fer est liée au caractère réduit des eaux qui favorisent la libération de cet élément et aux rejets industriels de l'usine sidérurgique déversés directement dans l'oued Méboudja (la poussière des ateliers du SIDER).

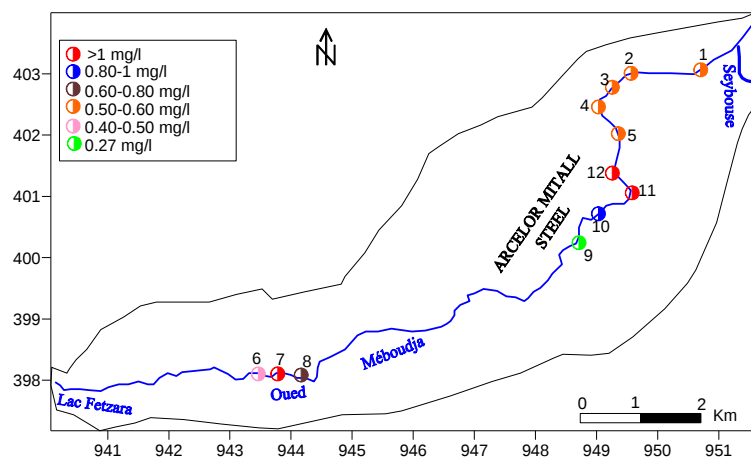


Fig.43. Carte du Fer T des eaux de la Méboudja Avril, 2008.

V.1.2.8.5. Le Cuivre (Cu)

La composition moyenne de la croûte terrestre en cuivre serait comprise entre 45 et 70 mg/kg. Le cuivre est un élément chalcophile qui se trouve associé à des sulfures, avec le plomb, le cadmium et le zinc. Il est habituellement présent en petites quantités dans des minerais de zinc. Le cuivre, comme le plomb est adsorbé de manière importante par les sols, plus que les autres métaux étudiés.

Le cuivre est retenu dans les sols par des mécanismes d'échanges et d'adsorption. Aux concentrations retrouvées dans les sols naturels, les précipités de cuivre sont instables. Cavallaro et McBride (1978), ont suggéré qu'une phase minérale argileuse pouvait servir de stock au Cuivre dans des sols non calcaires. Dans des sols calcaires, l'adsorption spécifique du cuivre sur des surfaces de CaCO_3 peut contrôler les concentrations en cuivre en solution (Cavallaro et McBride, 1978 ; Dudley et al. 1988, 1991).

Dans la région d'étude, les concentrations sont très faibles dans la plupart des points de prélèvement (Fig. 44), elles sont inférieures à la norme (2 mg/l) et varient de 0.013 mg/l (point 8) à 0.153 mg/l (point 7). La présence de cet élément est due essentiellement aux rejets industriels et à la géologie.

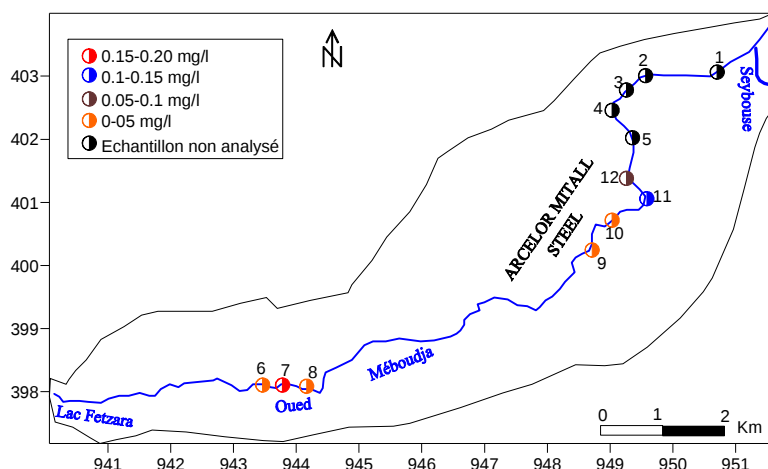


Fig.44. Carte du Cu des eaux de la Méboudja Avril, 2008.

V.1.2.8.6. Le Nickel (Ni)

La norme exigée pour les eaux potables est de 0.02 mg/l alors que pour les rejets et selon les normes algériennes la valeur limite serait de 0.7 mg/l pour l'industrie mécanique et 2 mg/l pour la transformation des métaux.

La concentration en nickel des roches sédimentaires serait de l'ordre de 20 à 40 mg/kg, elle dépasserait 100 mg/kg dans les roches volcaniques. Dans la nature, le nickel est principalement associé au manganèse et aux oxydes de fer. Il possède un comportement chalcophile et en présence d'ions HS-, forme des sulfures, soit :

- En se substituant au Fe²⁺ dans la pyrite (FeS₂),
- En co-précipitant avec Fe²⁺ dans la pentlandite (Fe, Ni₉S₈),
- En co-précipitant avec Fe²⁺ et Cu²⁺ dans la chalcopyrite (CuFeS₂),
- Sous forme de vaesite (NiS₂) ou de millerite (NiS).

Le nickel s'adsorbe sur les argiles, les oxydes de fer et de manganèse ainsi que sur la matière organique. Dans le milieu aqueux, le nickel existe seulement au degré d'oxydation divalent Ni(II).

Les résultats des analyses du nickel (Fig.45) montrent que les échantillons prélevés au niveau des points 6 et 7 ont des concentrations presque nulles (sous forme de traces). Au niveau des autres points (8, 9, 10, 11 et 12) situés à la sortie de l'usine ARCELOR MITALL STEEL, elles dépassent largement la norme (0.02mg/l), et oscillent entre 0.30mg/l et 0.70mg/l. Ces teneurs sont principalement dues aux rejets industriels.

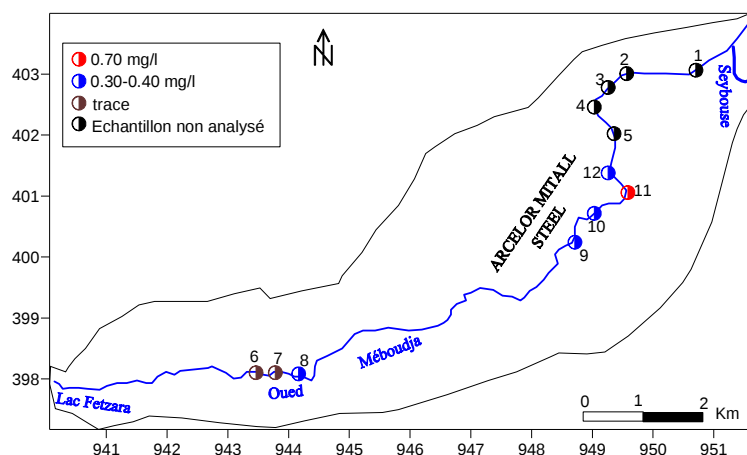


Fig.45. Carte du Ni des eaux de la Méboudja Avril 2008.

V.2. LA ZONE INDUSTRIELLE DE BERRAHAL ET LE LAC FETZARA

V.2.1. Echantillonnage, méthodes d'analyse

La présente étude est consacrée à analyser les eaux des puits et des forages de la région de Berrahal et leur relation avec le lac Fetzara. Dans le but de contrôler l'état actuel de la qualité des eaux de ce secteur et de déterminer l'impact des rejets des unités industrielles sur les eaux superficielles et souterraines, on a utilisé l'ancienne documentation (Khalifaoui H, 2007, Debous K, 2008...) ainsi que nos propres données obtenues lors de la campagne d'échantillonnage effectuée au mois de mars 2008. L'étude a concerné 30 points d'eau, bien répartis sur la zone d'étude (10 forages ,12 puits et 8 rejets) en relation directe avec l'agglomération de Berrahal et les 21 entreprises de la zone industrielle (Fig. 46).

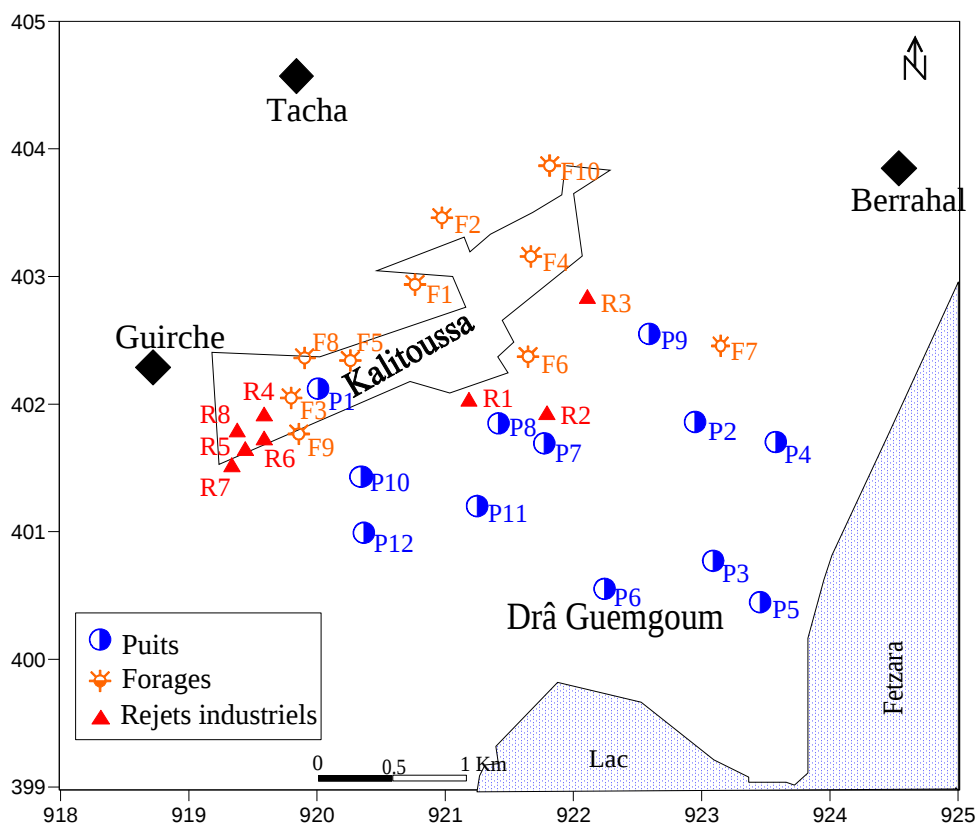


Fig.46. Carte d'inventaire des points d'eaux et rejets Mars, 2008.

V.2.2. Interprétation des résultats

V.2.2.1. La température

Pour les eaux souterraines les températures varient entre 14°C et 19°C dans les puits, 13°C et 20°C dans les forages, les eaux analysées présentent donc des températures conformes aux normes, de ce fait elles ne présentent pas un critère de pollution.

V.2.2.2. Le pH

Les échantillons prélevés ont un potentiel d'hydrogène inférieure à 7, donc ce sont des eaux acides avec un pH variant entre 5.6 et 7. Cependant, on note que les puits P5, P11, P12 et F7 tendent vers une neutralité. Pour les eaux des rejets, les valeurs du pH ne dépassent pas les normes (Fig. 47). Cette variation est probablement due à la nature des produits industriels utilisés et aux conditions naturelles (précipitations, végétations, sol).

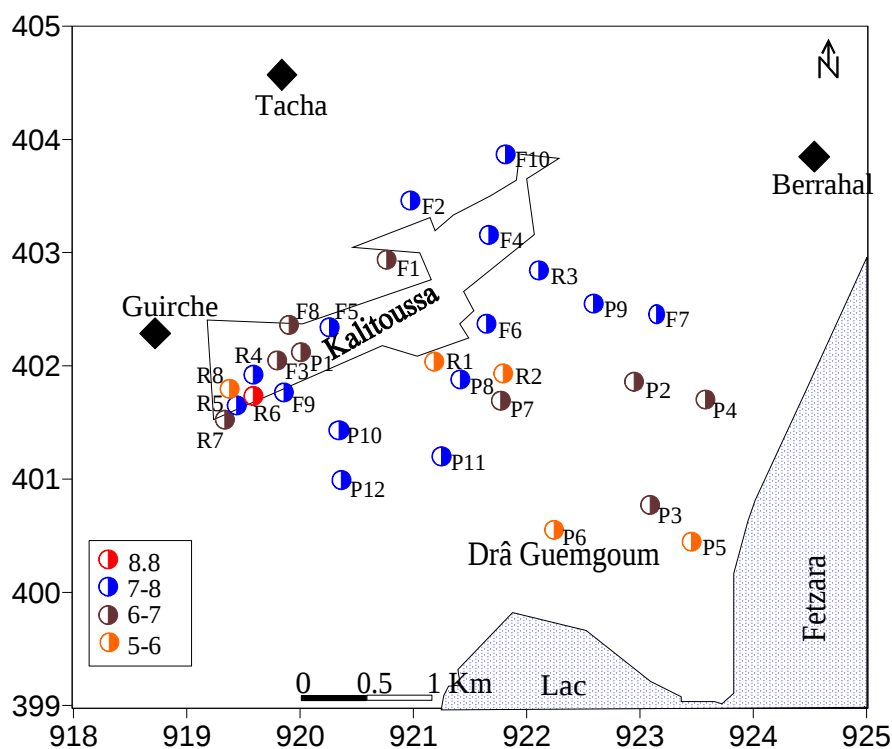


Fig. 47. Carte du pH des eaux de Berrahal Mars, 2008.

V.2.2.3. La conductivité électrique (CE)

Tous les échantillons présentent des conductivités qui dépassent la norme (Fig. 48). Les eaux de la région de Berrahal sont très minéralisées donc très conductrices, ce qui indique qu'il y a un fort lessivage des minéraux, soit au niveau des couches superficielles (argiles, sables et graviers) captées par les puits, soit au niveau des couches relativement profondes (cipolins) captées par les forages.

Le rejet R6 de l'unité (Bona, olive) présente la plus forte conductivité 4200 $\mu\text{S/cm}$.

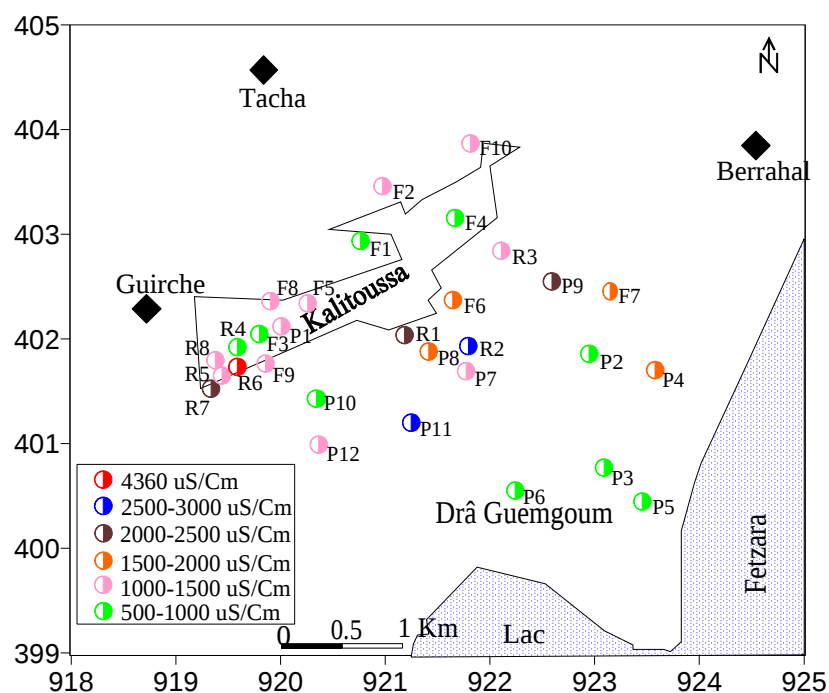


Fig. 48. Carte de la conductivité électrique des eaux de Berrahal Mars, 2008.

V.2.2.4. La dureté totale (TH)

Les eaux des forages et puits ayant des duretés différentes (Fig. 49); dans les points (P2, P14, P20, F1 et F3) les eaux sont relativement douces et présentent des duretés variant entre (13.5 à 18.4 mg/l). Pour le reste des points, les eaux sont dures à très dures (31.2 à 126 mg/l). Ces fortes teneurs sont dues à la matrice géologique riche en Ca^{2+} et Mg^{2+} (cas du cipolin).

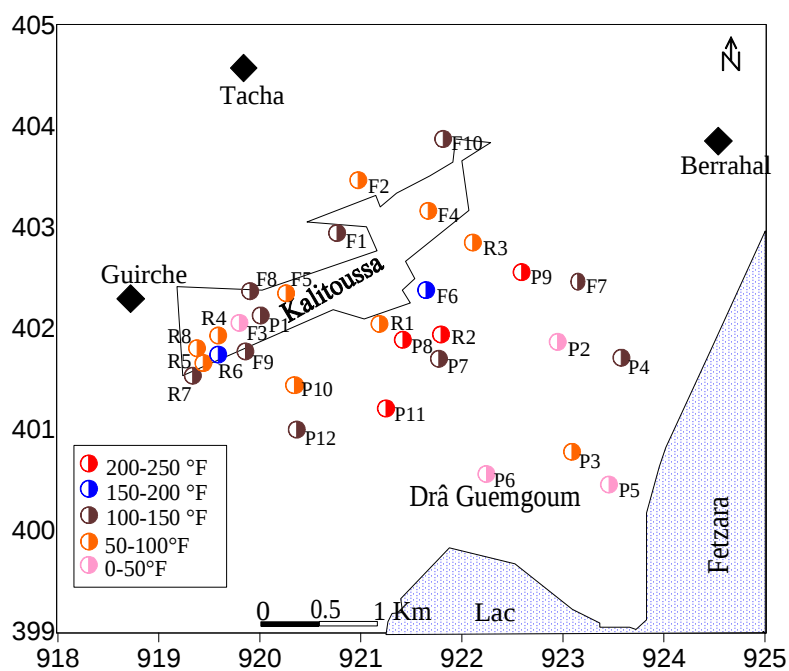


Fig. 49. Carte de la Dureté des eaux de Berrahal Mars, 2008.

V.2.2.5. La DBO₅

L'eau a une DBO₅ faible au niveau des forages allant de 1.33 à 5.10 mg/l. Cependant elle est élevée (6 à 30 mg/l) au niveau des puits, ce qui indique qu'il y a une abondance de la matière organique (Fig. 50). Ces puits sont très vulnérables à la pollution car ils sont parfois mal équipés et se trouvent au niveau de la nappe phréatique accessible à la pollution industrielle, domestique et agricole (effluents industriels, fosses septiques, élevage etc....).

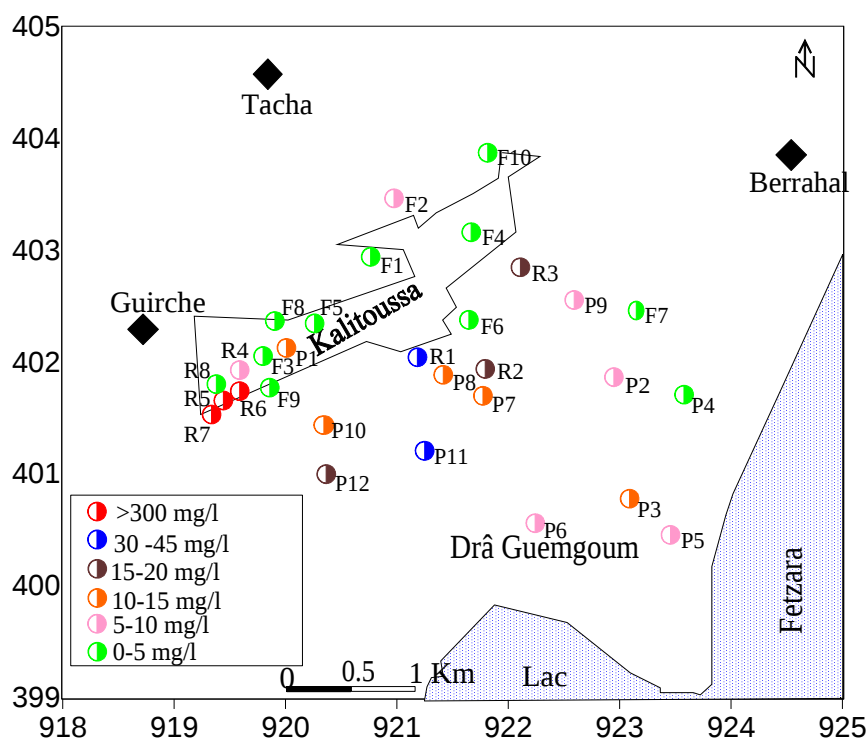


Fig. 50. Carte de la DBO₅ des eaux de Berrahal Mars, 2008.

Pour les rejets, les valeurs sont très variables, elles oscillent entre 4.23 et 45 mg/l pour les rejets R1, R2, R3 et R4. On constate que ces rejets contiennent une faible quantité de matière organique biodégradable à cause des types d'activités exercées, Par contre les valeurs de la DBO₅ sont élevées au niveau des rejets des industries agro-alimentaires R5, R6 et R7, elles atteignent 410.15mg/l (valeur maximale) au niveau du rejet de la laiterie Fetzara R6.

V.2.2.6. Les métaux lourds

V.2.2.6.1. Le Plomb (Pb)

On remarque que tous les échantillons possèdent des teneurs très élevées, qui dépassent largement la norme, soit pour les eaux des puits, des forages ou des eaux des rejets (Fig. 51). La teneur minimale est de 0.035 mg/l au point F5 et la teneur maximale est de 1.8 mg/l au rejet

R2 (rejet entreprise Protuil et entreprise de Semoule).

Ces concentrations excessives sont probablement dues, d'une part, à la nature des formations géologiques et le phénomène de lessivage qui régissent la libération en grandes quantités de cet élément, d'autre part, à l'infiltration des eaux usées (industrielles et urbaines) dans la nappe phréatique.

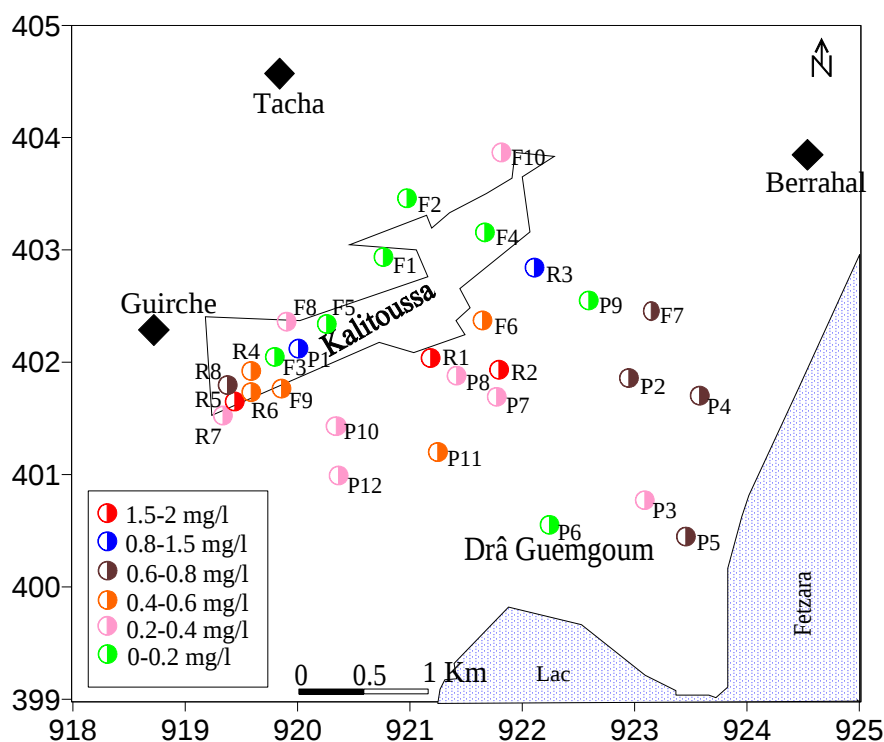


Fig. 51. Carte du Pb des eaux de Berrahal Mars, 2008.

A ce niveau, l'industrie est marquée par une activité intense de transformation des métaux et de stockages des déchets minéraux et le lavage des engins.

V.2.2.6.2. Le Fer total (Fe. T)

Les teneurs observées sont supérieures à la norme induisant une forte contamination (Fig. 52). La plus faible valeur est de 0.28 mg/l au point P2 et la plus forte est de 2.43 mg/l au niveau du rejet R1 (rejet Entreprise Protuil : galvanisation à chaud).

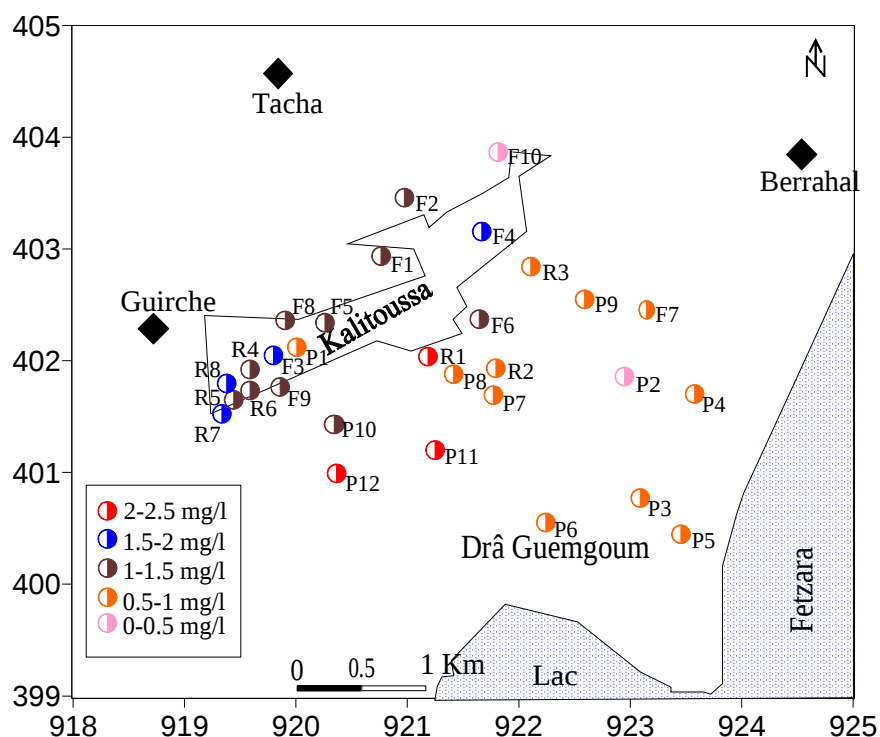


Fig. 52. Carte du Fer Total des eaux de Berrahal Mars, 2008.

Les rejets des industries de galvanométrie et de lavage constituent la principale cause de cette pollution. En effet, l'absence de station de traitement des eaux usées et la défection du réseau d'assainissement contribuent dans de larges mesures dans la contamination des eaux de la nappe superficielle.

La nature géologique de la région; formations métamorphiques et alluvionnaires) pourraient être, aussi, à l'origine des teneurs élevées au niveau de certains points d'eau. La présence de la pyrite dans les niveaux alluvionnaires, tourbeux et argileux, son oxydation induit l'augmentation des teneurs en sulfates et en métaux traces dans les aquifères (Mariotti, 1994).

V.2.2.6.3. Le Cuivre (Cu)

La norme fixée par l'OMS est de 2 mg/l pour les eaux potables et 1.5 mg/l pour les rejets de transformation des métaux (normes Algériennes).

A l'inverse des autres métaux lourds, le cuivre se trouve à des concentrations qui ne dépassent pas la norme dans tous les points. La teneur minimale est de 0.070 mg/l enregistrée au niveau du puits P6 et la teneur maximale est enregistrée au point P8 avec une concentration de 1.87 mg/l, (Fig. 53)

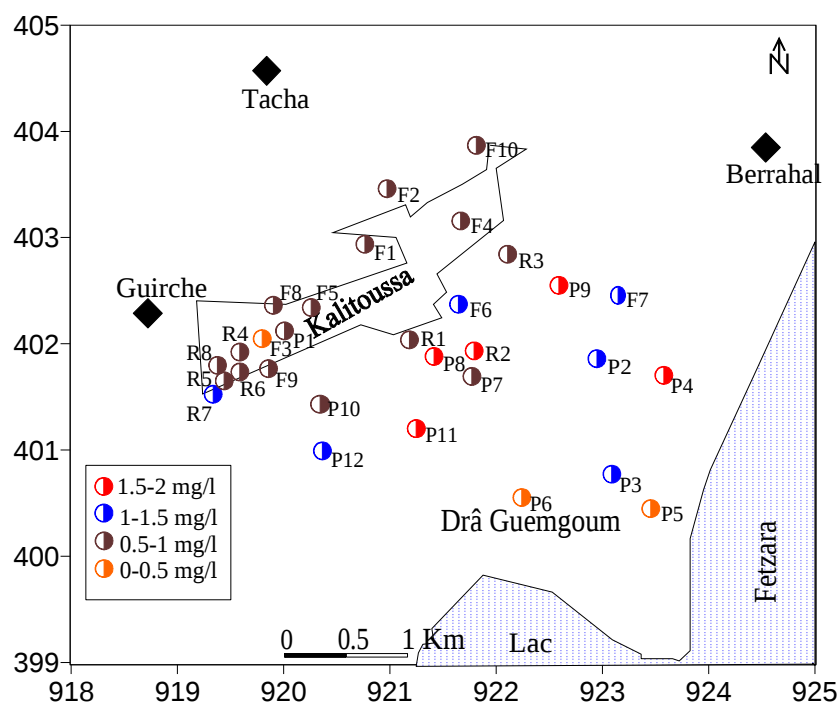


Fig. 53. Carte du Cu des eaux de Berrahal Mars, 2008.

V.2.2.6.4 Le Manganèse

La norme fixée par l'OMS est de 0.5 mg/l pour les eaux potables, Cet élément se trouve à des concentrations élevées qui dépassent la norme dans la majorité des échantillons sauf aux points P1, P5, P6 et F3 (Fig. 54). Les teneurs les plus élevées sont observées au niveau des rejets des industries mécaniques et agro-alimentaires (maximale 2.732 mg/l) au rejet R2 (Entreprise Protuil).

Les eaux des puits et des forages présentent une teneur de l'ordre de 2.3 mg/l au point P4 et P11, Cette dernière est relativement plus élevée pour les puits, notamment ceux situés à proximité du cours d'eau qui reçoivent les rejets de l'entreprise Protuil et qui débouchent plus loin dans le lac Fetzara.

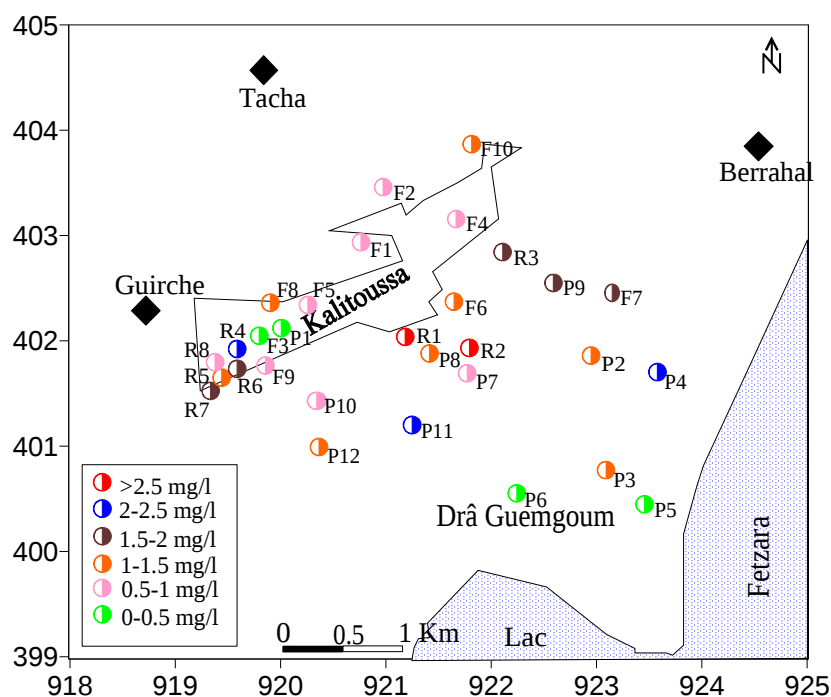


Fig. 54. Carte du Mn des eaux de Berrahal Mars, 2008.

V.2.2.6.5. Le Nickel (Ni)

Pour les eaux des puits et forages les teneurs dépassent la norme. La teneur minimale est de l'ordre de 0.089 mg/l au point P8, la concentration maximale est enregistrée aux points P12 avec 0.960 mg/l pour les puits et R1 avec 2.630 mg/l pour les rejets (Fig. 55).

Les sources de nickel, principalement invoquées en milieu naturel, sont donc les sulfures de fer par coprécipitation, les hydroxydes de fer et manganèse par coprécipitation et surtout par adsorption.

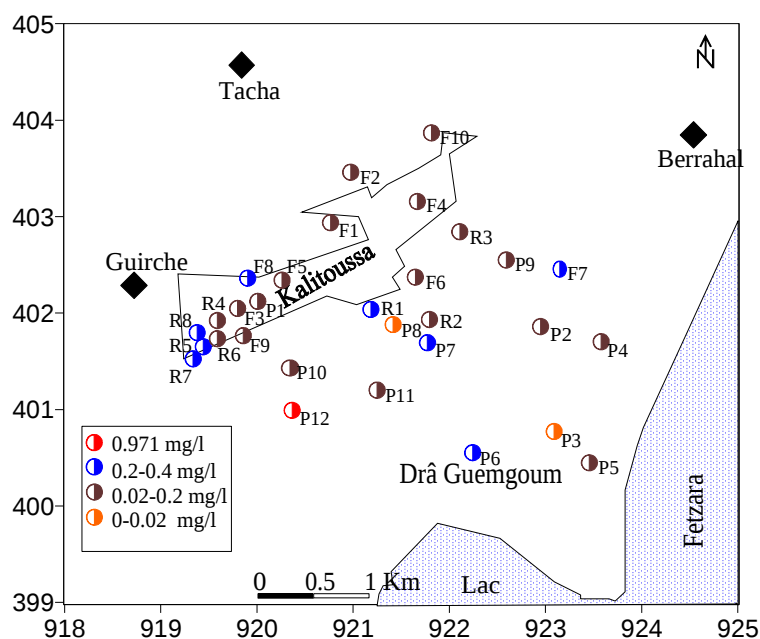


Fig. 55. Carte du Ni des eaux de Berrahal Mars, 2008.

V.3. LA DECHARGE DE BERKA ZERGA

V.3.1. Echantillonnage et méthodes d'analyse

Les mesures et les prélèvements effectués sur les eaux superficielles et souterraines ont touché près de 30 puits utilisés généralement pour l'alimentation du bétail et pour l'irrigation. La température (T), la conductivité électrique (CE) et le pH ont été mesurés in situ en utilisant un multiparamètre WTW (multiligne P3 PH/LF-SET) et un Oxymètre (WTW) avec une sonde (CellOx 325) pour la mesure de l'oxygène dissous. L'analyse des éléments chimiques s'est effectuée selon deux méthodes : l'absorption atomique à flamme (Perkin-Elmer 1100) pour le dosage des cations majeurs et le spectrophotomètre Photolab Spektral de marque WTW pour l'analyse des anions et des éléments en traces.

Les analyses effectuées se rapportent aux eaux prélevées dans la plaine dans les puits captant la nappe, dans l'oued Gouilla, l'oued Zied, et dans trois points caractérisant les eaux des lixiviats de la décharge elle-même comme il est indiqué dans la carte d'échantillonnage (Fig. 56).

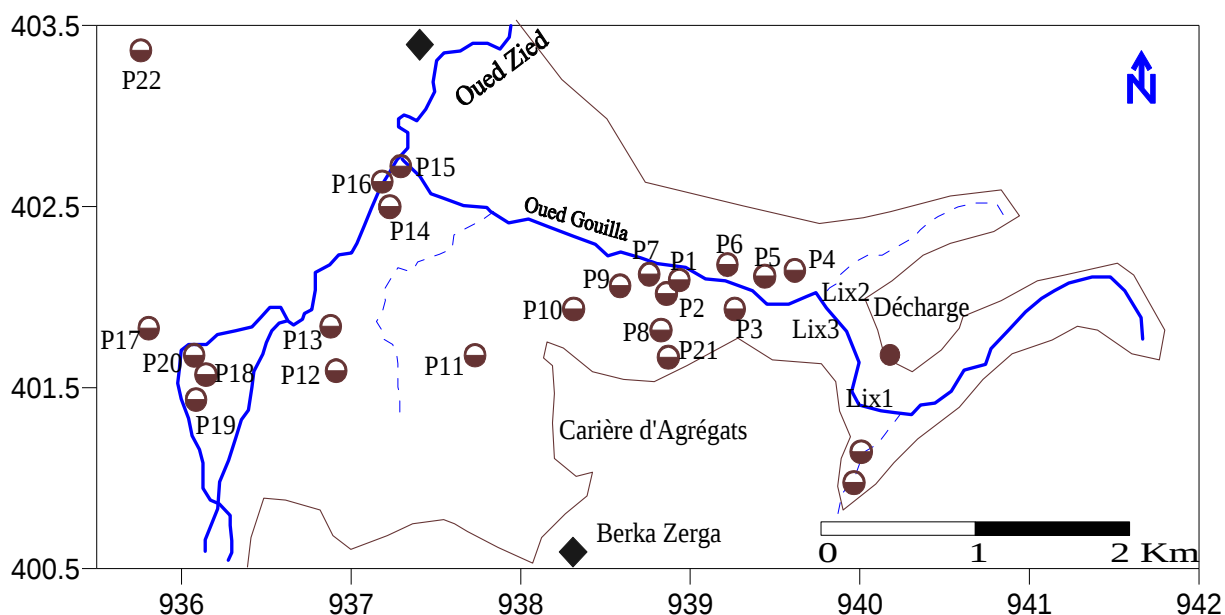


Fig. 56. Carte d'inventaire des points d'eaux analysées Juin, 2008

V.3.2. Interprétation des résultats

V.3.2.1. La température

Elle varie entre 15,1°C et 23,2°C, le maximum est observé au point P10, le minimum au point P15. La température de l'eau des lixiviats est relativement élevée.

V.3.2.2 Le pH

Les valeurs du pH varient entre 6,21 et 8,33 pour les eaux de la nappe, le pH le plus acide est mesuré au point P17 (à l'air libre) alors que le pH le plus basique est mesuré au point P1 (rejets industriels basiques), (Fig. 57). Pour le pH des lixiviats, il est trop basique. Le maximum est observé au point Lix.2, le minimum au point Lix.3.

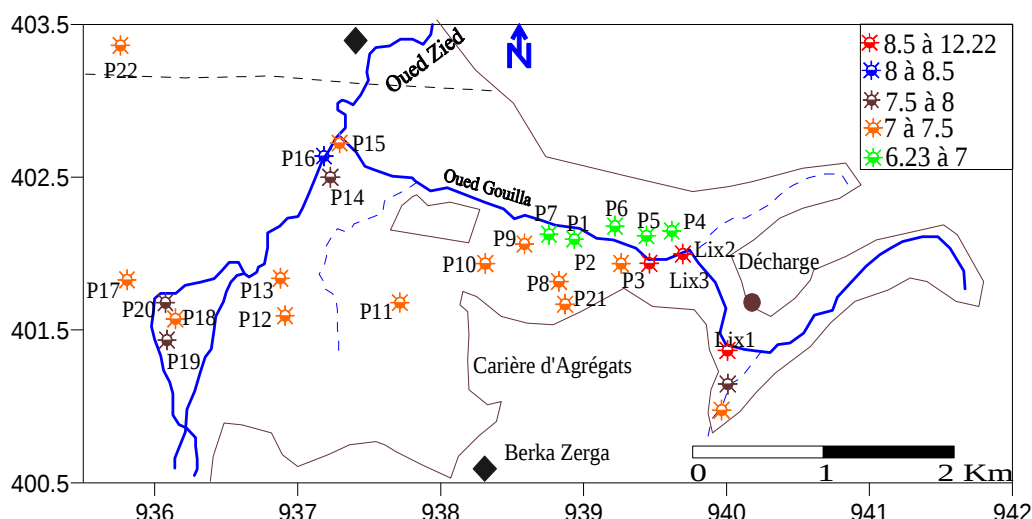


Fig. 57. Carte du PH des eaux de la plaine d'Oued Zied Juin, 2008.

V.3.2.3. La conductivité électrique (CE)

Pour les échantillons des eaux de la nappe, ils présentent des conductivités qui dépassent les normes de potabilité (Fig. 58). Les eaux de la plaine sont très minéralisées, ce qui indique qu'il y a un fort lessivage des minéraux, soit au niveau des couches superficielles (argiles, sables et graviers) captées par les puits, soit au niveau des couches relativement profondes (cipolins) captées par les forages. Cependant, la conductivité des points d'eau qui se trouvent à la limite de la décharge (P3, P4, P5, et P7) est plus élevée, c'est le lessivage des déchets de toutes natures déposés au niveau de la décharge. Ici, La valeur maximale de la conductivité est enregistrée au point P4, elle atteint 2750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, le minimum est enregistré au point dénommé source, situé à l'amont de la décharge 692 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

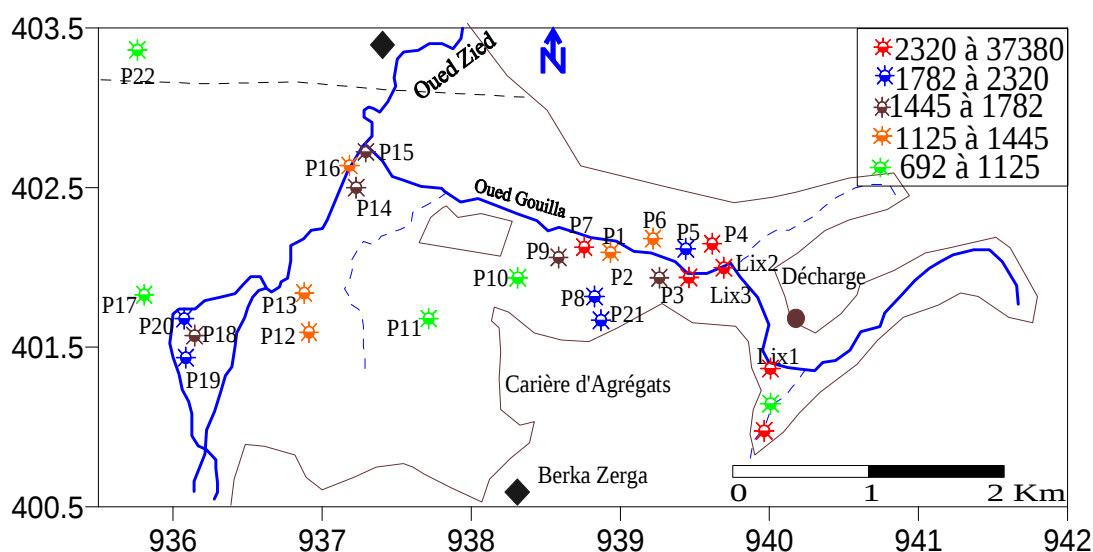


Fig. 58. Carte de la conductivité électrique des eaux de la plaine Juin, 2008.

La conductivité des lixiviats est très forte ce qui influe sur la qualité des eaux de la Nappe, car ces lixiviats sont déversées directement dans les eaux de l'oued Gouilla. Les valeurs les plus fortes sont observées au point Lix2 avec 27100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, c'est l'effet de la forte évaporation et la faible précipitation induisant une surconcentration des éléments chimiques.

V.3.2.4. La DBO₅

Les valeurs élevées de la DBO₅ sont localisées sur la bordure de la décharge et au niveau des lixiviats. On remarque que les valeurs diminuent selon le sens d'écoulement de l'oued Gouilla (de la décharge vers le lac Fetzara). La forte valeur à proximité de l'oued Zied (P16) serait due aux rejets urbains et à l'usine agroalimentaire qui se trouve dans l'agglomération de l'oued Zied (rejets direct des effluents dans l'oued Zied, (Fig.59).

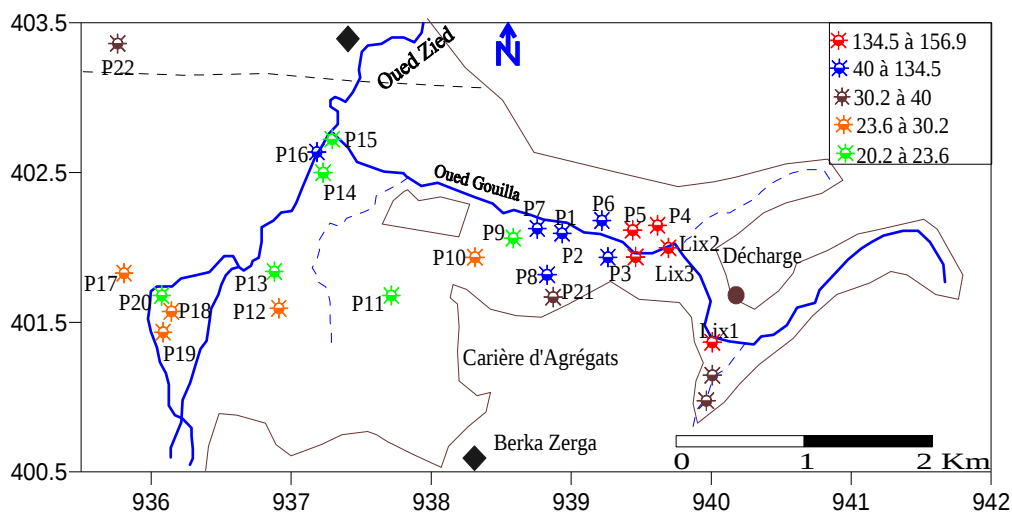


Fig. 59. Carte de la DBO₅ électrique des eaux de la plaine Juin, 2008.

V.3.2.5. Les métaux lourds

V.3.2.5.1. Le Chrome Cr

Les valeurs relevées témoignent d'une contamination importante des eaux de la nappe. En effet, la valeur minimale de 0,03 mg/l est enregistrée au niveau du puits P22 et la valeur maximale est de l'ordre de 3,26 mg/l est enregistrée au niveau du point P17 (Fig.60).

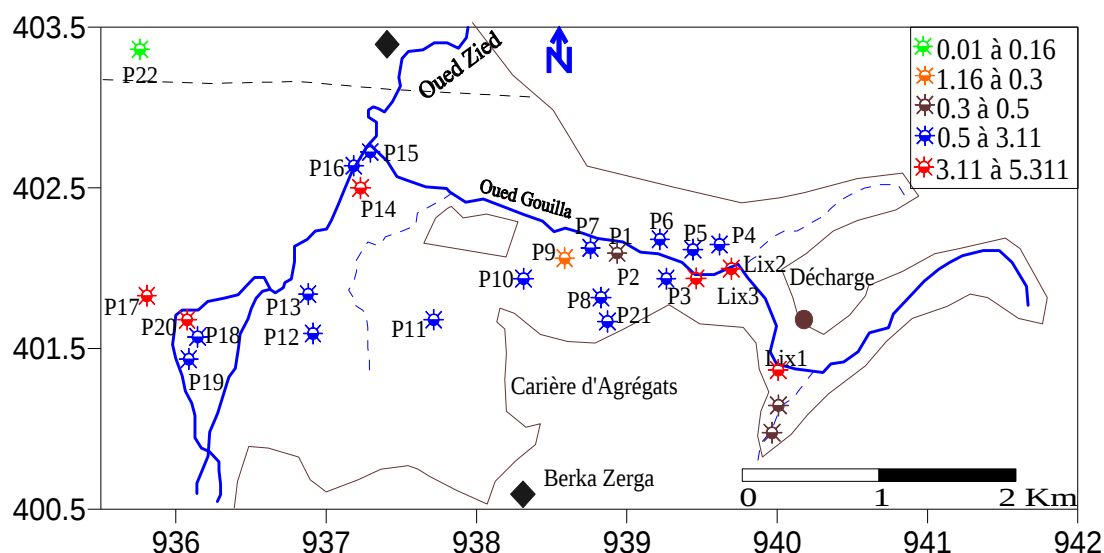


Fig. 60. Carte des teneurs du Cr des eaux de la plaine Juin, 2008.

Pour les lixiviats, la valeur minimale de 3,71 mg/l est enregistrée au niveau du point Lix.2, la valeur maximale de 5,26 mg/l est enregistrée au niveau du point Lix.1. On remarque que les teneurs en chrome dépassent largement les normes préconisées pour les effluents et se localisent toujours à la limite de la décharge publique.

V.3.2.5.2. Le plomb (Pb)

Les valeurs relevées témoignent d'une contamination irrégulière et parfois importante des eaux de la nappe. En effet, la valeur minimale de 0,03 mg/l est enregistrée au niveau du point P15 et la valeur maximale de 0,81 mg/l est enregistrée au niveau du point P16 (Fig. 61). Pour les lixiviats la valeur minimale de 1,23 mg/l est enregistrée au niveau du point Lix.3, le maximum de 1,46 mg/l est enregistré au niveau du point Lix.1.

L'analyse détaillée des teneurs en plomb montre que les faibles valeurs ont été enregistrées au niveau des points situés dans le centre de la plaine, loin de toute source de pollution, tandis que les concentrations les plus élevées ont été relevées au niveau des points situés à proximité de l'oued Zied (P16) ou à côté de la décharge.

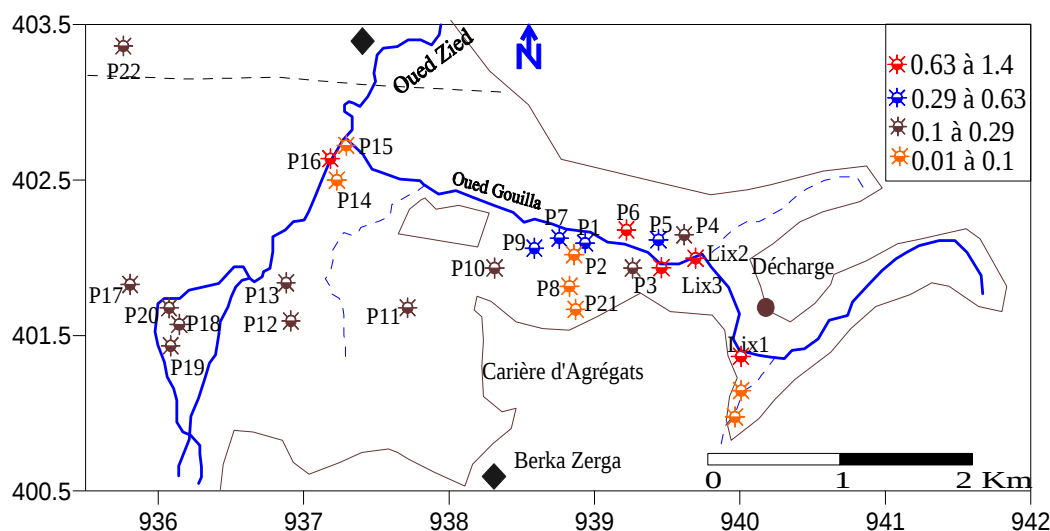


Fig. 61. Carte des teneurs du Pb des eaux de la plaine Juin, 2008.

V.3.2.5.3. Le Zinc(Zn)

Les teneurs en zinc indiquent des concentrations importantes particulièrement au niveau des points P3, P4 et P5 avec des valeurs respectives de 7,51 mg/l, 2,59 mg/l et 3,57mg/l. Ces points se trouvent à proximité de la décharge, ce qui explique ces fortes teneurs. Pour les autres points, les valeurs oscillent entre 0,01 mg/l et 2,01 mg/l (Fig.62).ces teneurs ne dépassent pas la norme admissible.

Pour les lixiviats on a enregistré des fortes teneurs, la plus faible valeur a été Observée au Lix 2 (32 mg/l). La valeur maximale est enregistrée au point Lix.1 (56,01 mg/l). Les teneurs en zinc des lixiviats dépassent largement les normes des rejets des effluents.

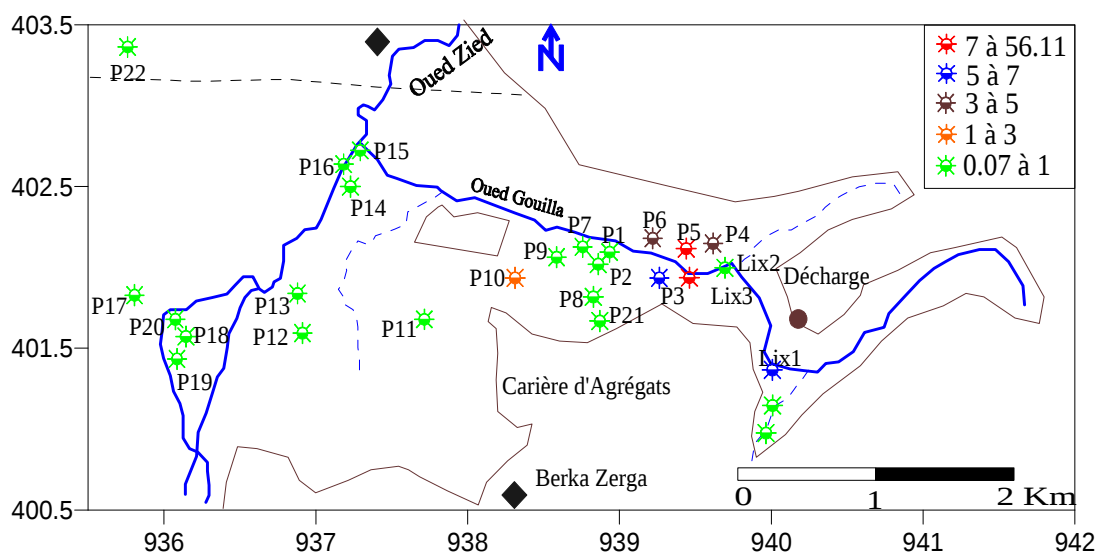


Fig. 62. Carte des teneurs du Zn des eaux de la plaine Juin, 2008.

V.3.2.5.4. Le Cuivre (Cu)

Les eaux de la nappe sont très contaminées présentant ainsi des concentrations excessives de ce micropolluant. En effet la valeur minimale de 4,02 mg/l est enregistrée au niveau de la source, elle est trois fois supérieure à la concentration maximale admissible (CMA) recommandée par l'OMS, une valeur maximale de 26mg/l est enregistrée au niveau du point P5 (Fig. 63).

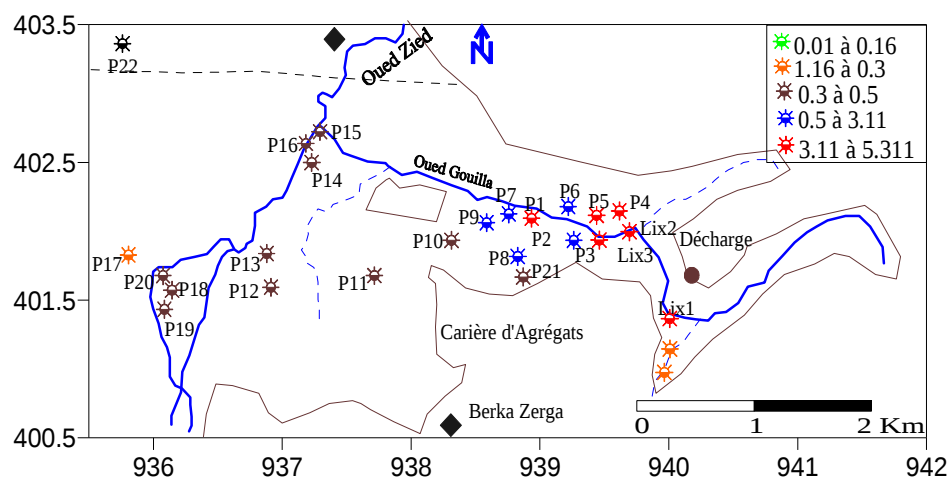


Fig. 63. Carte des teneurs en Cu des eaux de la plaine Juin, 2008

Géographiquement; Les plus fortes teneurs se localisent au niveau de la décharge et sur ses bordures. La concentration diminue de l'Est vers l'Ouest suivant le sens d'écoulement de l'oued Gouilla. Au centre de la plaine, les concentrations en cuivre sont relativement fortes, L'origine de ces teneurs serait de nature géologique.

V.3.2.5.5. Le Fer total (Fer T)

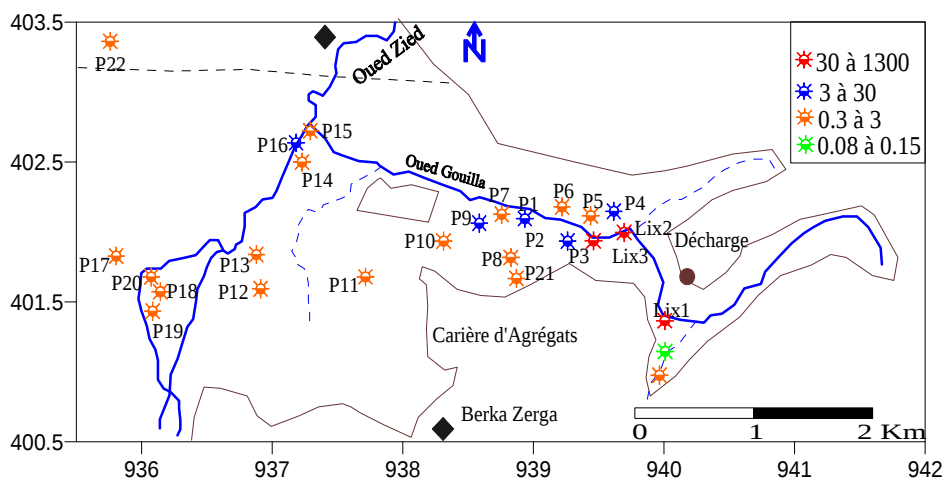


Fig. 64. Carte des teneurs en Fer des eaux de la plaine Juin, 2008.

Tous les points échantillonnés présentent des valeurs supérieures à la CMA préconisée par l'OMS pour les eaux de boisson sauf au niveau de la source où la concentration ne dépasse guère les 0.08 mg/l ; (Fig. 64). Ces fortes teneurs sont observées exceptionnellement au niveau des puits (P1, P3, P9), ils sont respectivement de l'ordre de 9.31mg/l, 7.46mg/l et 8.87mg/l.

Géographiquement en allant de l'est vers l'ouest, le degré de contamination s'accroît. Le centre de la plaine est caractérisé par des teneurs élevées (origine naturelle) mais à un degré moins important par rapport aux puits qui se trouvent à proximité de la décharge et ceux situés à la bordure de l'oued Zied. Ces derniers présentent des teneurs très fortes surtout aux puits P1, P3 et P10 (effet direct des effluents et des lixiviats).

V.4. LA PLAINE DE KHAREZAS

V.4.1. Echantillonnage et méthodes d'analyse

Pour l'étude hydrochimique de ce secteur, nous disposons des résultats des analyses chimiques de 34 échantillons prélevés en différents points réparties comme suit :

- 8 échantillons sur l'oued Forcha.
- 4 échantillons sur l'oued Sidi Harb.
- 5 échantillons sur l'oued Bouhdid.
- 17 échantillons sur l'oued Boudjemaa.

L'analyse des 34 échantillons prélevés pour les paramètres suivants :

Physiques : pH, T°C, CE, TDS.

Chimiques: Fe (T), TH, DBO5, Zn, Cu, Cr, Pb.

V.4.2. Interprétation des résultats

V.4.2.1. La température

Les valeurs de la température enregistrées des eaux de surface et de la nappe phréatique sont inférieures à la norme de potabilité (norme $\leq 25^{\circ}\text{C}$), c'est-à-dire ce paramètre n'a pas une influence sur la toxicité des eaux.

V.4.2.2 Le pH

La répartition du pH (Fig. 65) montre que les points d'eau se trouvent dans l'intervalle de la norme de potabilité (6 à 8). Cela est dû au contact direct avec l'air pour les oueds et à cause de l'absence des apports acides ou alcalins pour les eaux souterraines (puits).

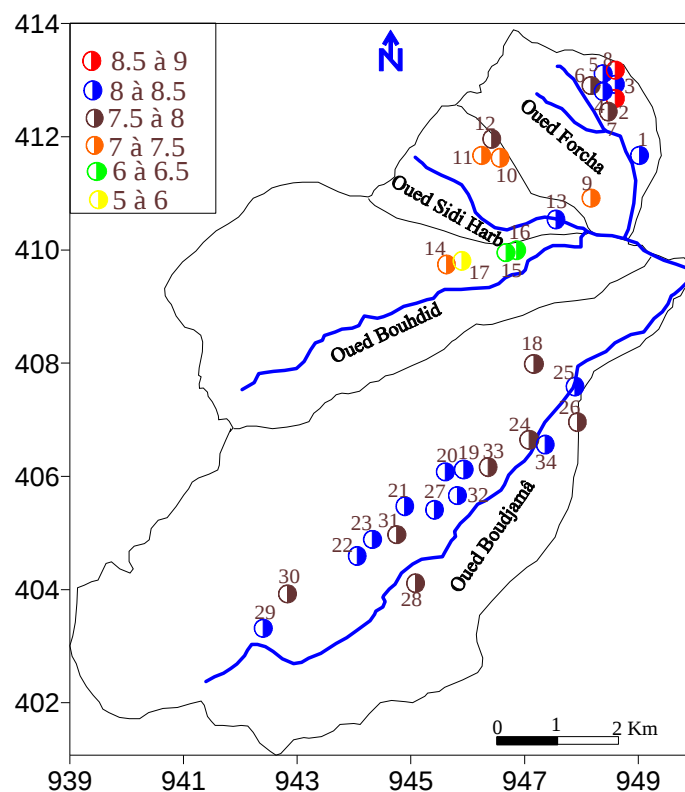


Fig. 65. Carte du pH des eaux de la plaine de kharézas Mai, 2008

V.4.2.3. La conductivité électrique (CE)

Les valeurs de la conductivité électrique sont très élevées dans toute l'étendue de la plaine (Fig. 66). La minéralisation augmente progressivement de l'amont vers l'aval des cours d'eau. Elle est minimum au puits P33 (31mg/l) et atteint son maximum au point P27 avec 3950 mg/l.

Ces différences sont dues aux apports pluvieux qui diluent les concentrations, et à l'effet de la dissolution des évaporites.

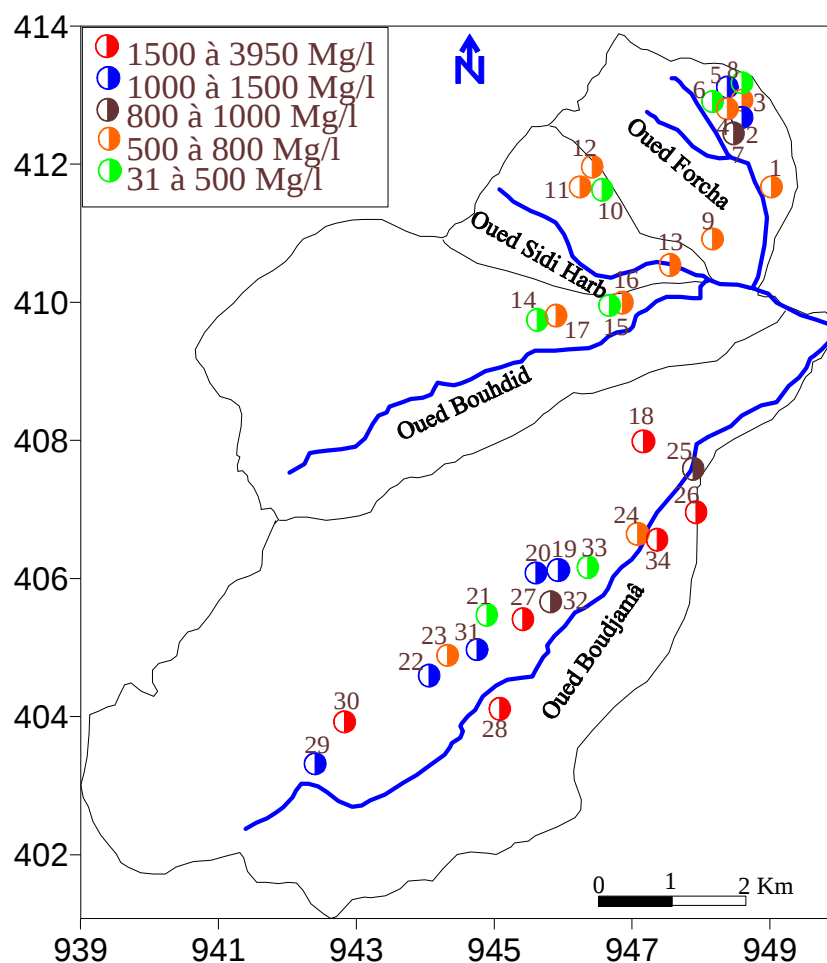


Fig. 66. Carte de la CE des eaux de la plaine de kharézas Mai, 2008.

V.4.2.4. Solide total dissous (TDS)

La figure n° 67 montre que les teneurs les plus élevées sont relevées principalement au niveau de la plaine de Kharézas et l'oued Boudjamaa (2278 mg/l et 2812 mg/) par contre les valeurs faibles sont situées aux niveaux des oueds Sidi Harb et Bouhdid variant entre 402,07 et 535,44 mg/l.

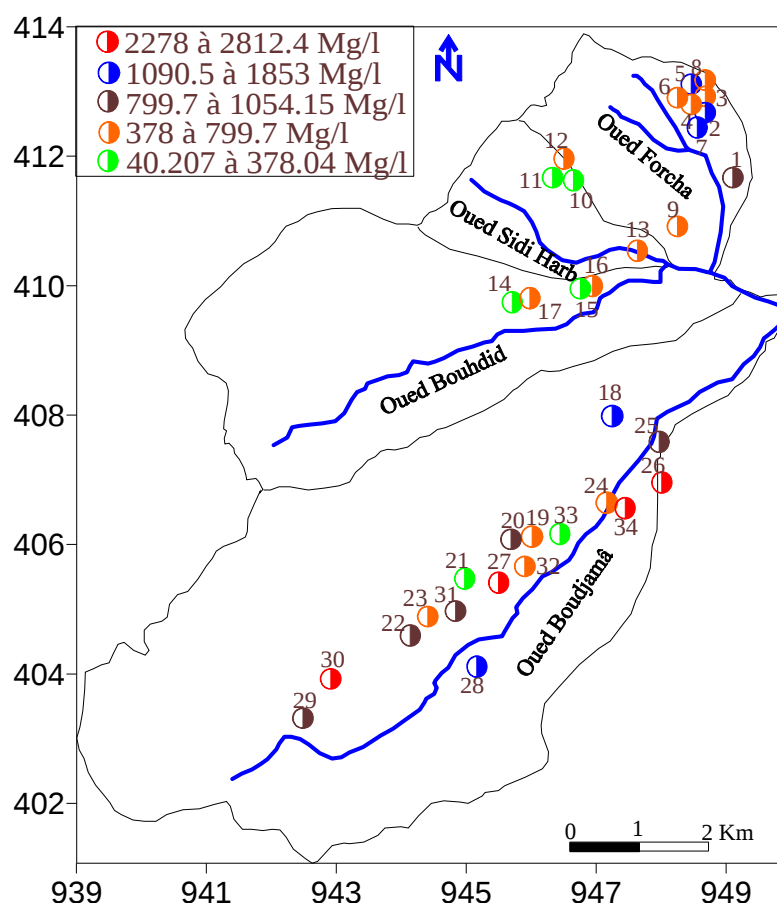


Fig. 67. Carte du TDS des eaux de la plaine de kharézas Mai, 2008

V.4.2.5. La DBO5

D'après la carte (Fig. 68), on observe que tous les points d'eau situés dans le terrain d'étude présentent des valeurs de DBO5 supérieures à 5 mg/l. Les plus élevées sont observées au niveau de la plaine de kharézas, atteignant 32 mg/l.

Il faut noter que dans un milieu nettement pollué de faibles valeurs en DBO5 peuvent être liées à la présence d'éléments toxiques, d'où l'intérêt de ne pas considérer la DBO5 comme unique critère d'estimation de la qualité d'une eau.

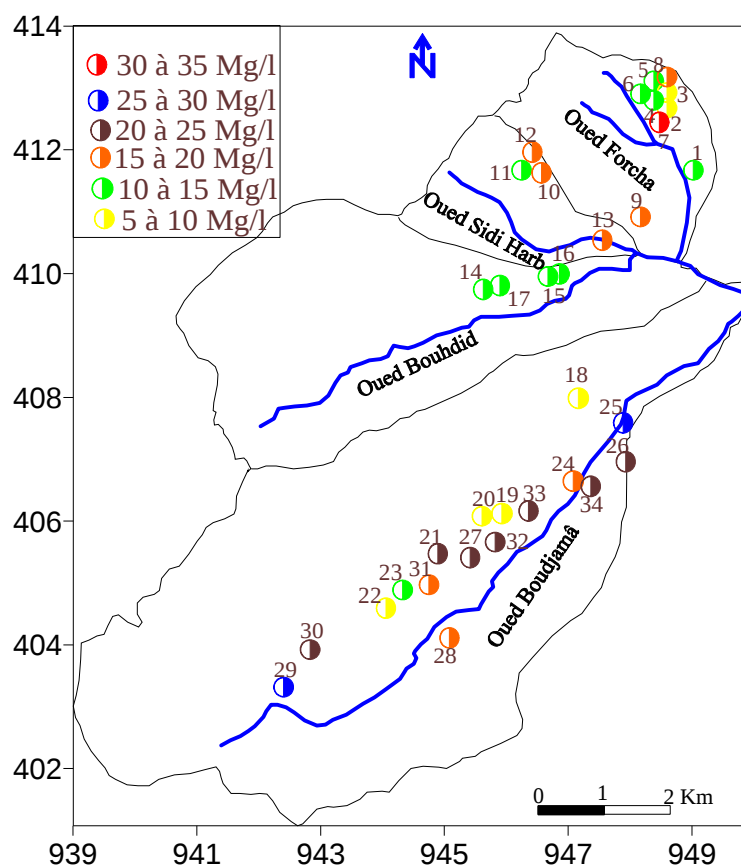


Fig.68. Carte de la DBO₅ des eaux de la plaine de kharézas Mai, 2008.

V.4.2.6. Les métaux lourds

V.4.2.6.1. Le Chrome (Cr)

La concentration en chrome varie selon la nature des formations géologiques. Comme il est montré dans la carte (Fig.69) ;

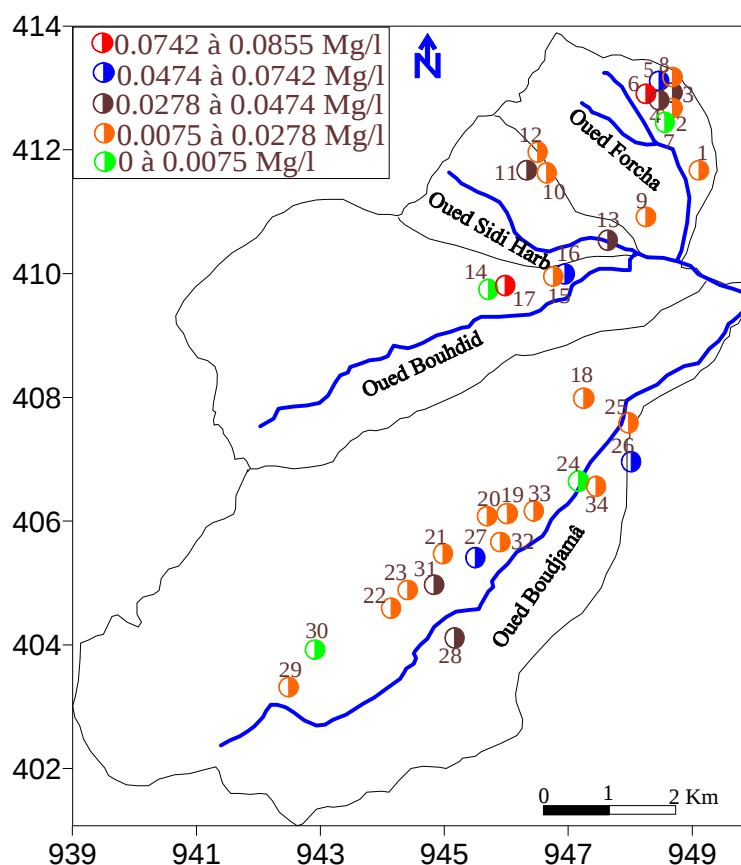


Fig. 69. Carte du chrome des eaux de la plaine de kharézas Mai, 2008.

Les teneurs les plus élevées se localisent au niveau de la plaine Ouest de Annaba (Oued Forcha, Sidi Harb et Bouhdid) (0.1 mg/l), en revanche la plaine de Kharézas est caractérisée par les teneurs les plus faibles (inférieures à 0.03 mg/l).

Elles sont dues aux rejets urbains et au caractère stagnant des eaux de l'oued Boudjemmaa.

V.4.2.6.2. Le Fer Total (Fer T)

La présence du fer dans l'eau peut avoir diverses origines naturelles par le lessivage des terrains argileux. Dans les eaux bien aérées, la concentration de cet élément est forte, elle varie de 0.7mg/l à 6.4 mg/l ; par contre dans les eaux peu aérées ou dans la nappe phréatique les concentrations sont faibles ; les teneurs se situent entre 0 et 0.6 mg/l.

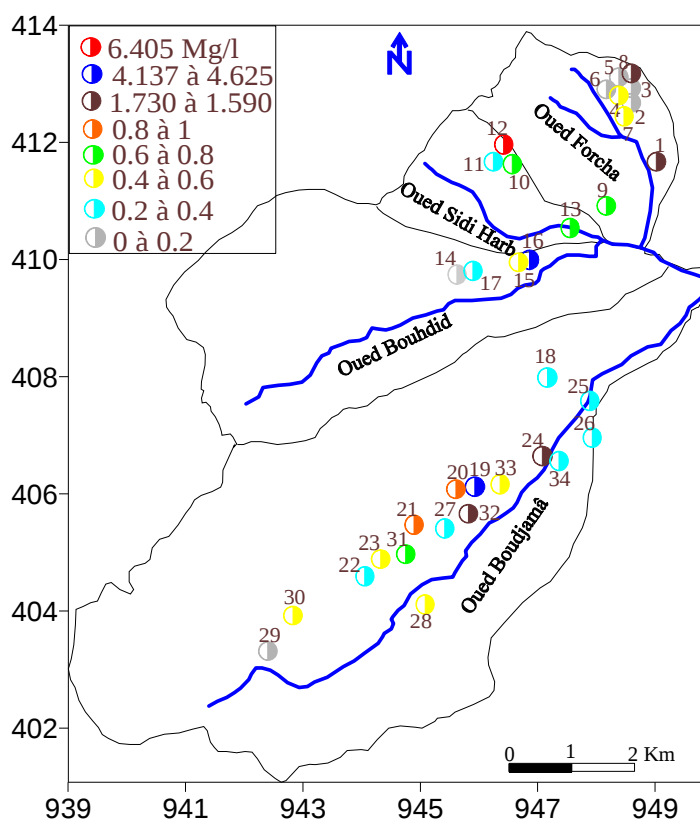


Fig. 70. Carte du Fer T des eaux de la plaine de kharézas Mai, 2008.

V.4.2.6.3. Le Plomb (Pb)

La majorité des points analysés montrent des valeurs presque nulles (Fig.71), Les faibles teneurs sont enregistrées au niveau de la plaine de Kharézas dont les concentrations varient entre 0 et 0.27 mg/l. Cependant, les fortes teneurs sont observées au niveau du bassin de l'oued Forcha (0.7 à 0.9 mg/l), correspondant, respectivement, aux points P4 et P7.

Le secteur de Sidi Harb et Bouhdid présentent des teneurs moyennes qui varient entre 0 et 0.48 mg/l, ces concentrations restent inférieures aux normes établies par L'OMS.

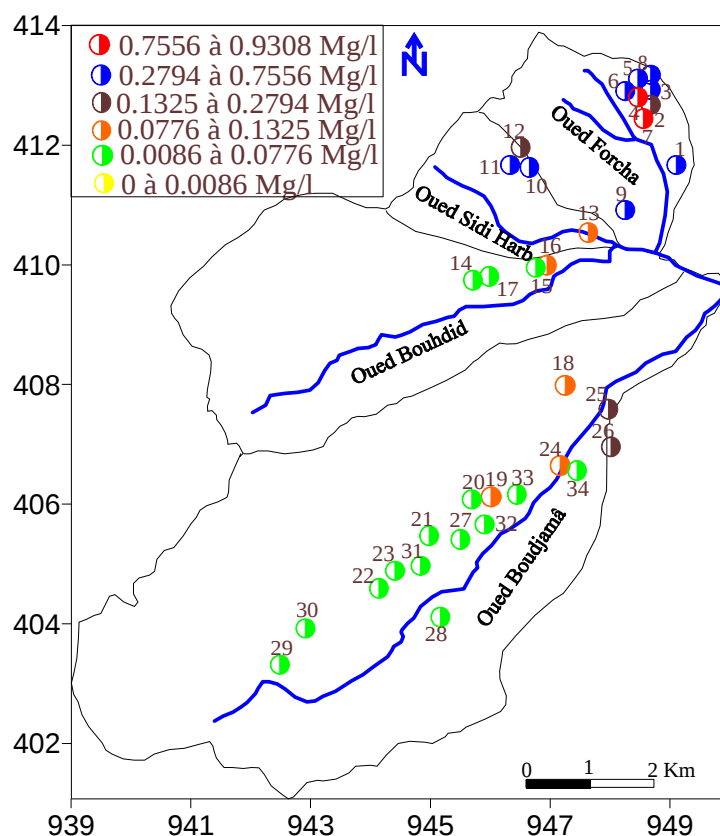


Fig.71. Carte du Plomb des eaux de la plaine de kharézas Mai, 2008.

V.4.2.6.4. Le Cuivre (Cu)

Dans ce secteur d'étude (Fig.72), les concentrations sont très faible (< 0.03 mg/l). Elles sont inférieures à la norme de potabilité. La plus part des point analysés indiquent des teneurs nulles ou en traces à l'exception du puits P9 dans le bassin de oued Forcha qui enregistre la plus forte concentration (0.0245 mg/l).

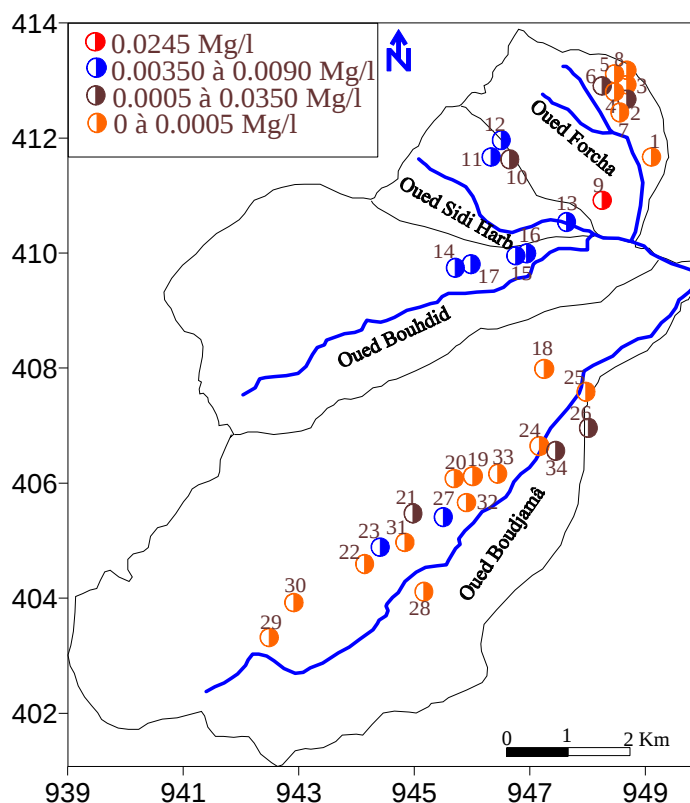


Fig.72. Carte du Cuivre des eaux de la plaine de kharézas Mai, 2008.

V.4.2.6.5. Le Zinc (Zn)

Les teneurs observées dans les différents points de prélèvement sont inférieures aux seuils établis par l'OMS (Fig.73). Les teneurs les plus élevées se situent dans la plaine de kharézas, avec des valeurs qui varient entre 0 et 0.27 mg/l. La présence de cet élément est liée à la fabrication métallique et à l'utilisation des teintures.

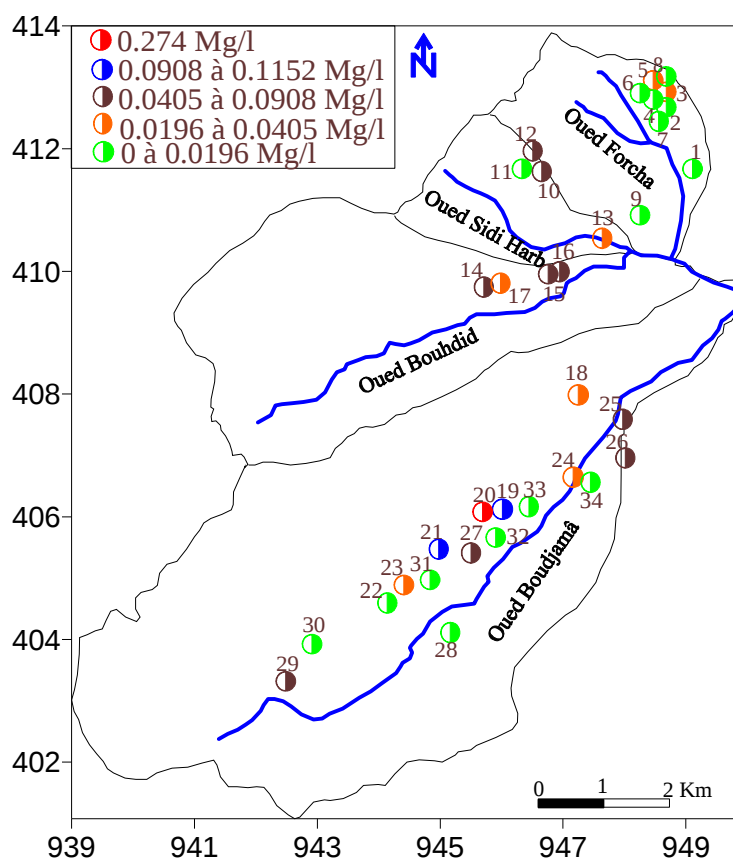


Fig.73. Carte du Zinc des eaux de la plaine de kharézas Mai, 2008.

V.5. L'ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALE

Introduction

Dans cette étude, plusieurs analyses en composantes principales ont été effectuées sur les campagnes d'échantillonnage dans la période d'observation pour chaque secteur.

L'A.C.P peut s'utiliser dans des situations nombreuses et variées pour savoir comment se structurent les variables, quelles sont celles qui sont associée, quelles sont celles qui ne le sont pas, quelles sont celles qui «vont dans le même sens», quelles sont celles qui s'opposent . L'A.C.P permettra de regrouper, selon les mêmes facteurs, les échantillons présentant des caractères d'origine ou d'évolution similaire.

Dans cette partie, seules les A.C.P. les plus représentatives seront discutées.

V.5.1. La zone d'oued Méboudja

La matrice des données comporte 12 variables et 7 individus. Pour le traitement nous avons choisi trois axes qui expriment 83.74% des renseignements.

Tableau.24. Inerties totales (Méboudja, ACP avril 2008)

Facteurs	F1	F2	F3
Valeur propre	4.589	3.739	2.068
% Variance	38.245	31.156	17.235
% Cumulé	38.245	69.400	86.635

Le tableau (24) ; permet de constater que plus de 38% de l'information est contenue dans le premier axe factoriel FI.

Pour interpréter cette ACP, nous allons nous contenter du cercle formé par les axes FI et FII, qui fournissent eux seuls 69.39% de l'information (Fig.74.). Ajoutant, la matrice de corrélation correspondante (Tab.25.), qui, à son tour peut indiquer les éléments ayant des bonnes corrélations.

Tableau.25. Matrice de corrélation (Méboudja, ACP Avril 2008)

	T	PH	CE	TDS	TH	DBO5	DCO	Cr	Pb	Fe	Cu	Ni
T	1	-0.141	0.570	-0.550	-0.024	0.375	-0.086	0.738	0.414	0.525	0.461	0.650
PH	-0.141	1	0.474	0.280	0.227	-0.199	-0.826	0.182	0.143	0.410	0.358	-0.345
CE	0.570	0.474	1	-0.221	0.325	-0.328	-0.555	0.725	0.057	0.682	0.508	0.005
TDS	-0.550	0.280	-0.221	1	-0.607	-0.018	-0.234	-0.479	0.047	-0.239	-0.600	-0.094
TH	-0.024	0.227	0.325	-0.607	1	-0.661	-0.301	0.394	-0.614	0.120	0.618	-0.707
DBO5	0.375	-0.199	-0.328	-0.018	-0.661	1	0.264	-0.015	0.866	0.197	0.003	0.838
DCO	-0.086	-0.826	-0.555	-0.234	-0.301	0.264	1	-0.512	0.062	-0.431	-0.499	0.368
Cr	0.738	0.182	0.725	-0.479	0.394	-0.015	-0.512	1	0.113	0.782	0.844	0.100
Pb	0.414	0.143	0.057	0.047	-0.614	0.866	0.062	0.113	1	0.521	0.124	0.806
Fe	0.525	0.410	0.682	-0.239	0.120	0.197	-0.431	0.782	0.521	1	0.762	0.231
Cu	0.461	0.358	0.508	-0.600	0.618	0.003	-0.499	0.844	0.124	0.762	1	-0.125
Ni	0.650	-0.345	0.005	-0.094	-0.707	0.838	0.368	0.100	0.806	0.231	-0.125	1

La matrice montre de bons coefficients de corrélation ($0.762 < r < 0.866$) mentionnés en gras, indiquant probablement l'origine commune des éléments considérés. On cite notamment les corrélations suivantes : (PH - DCO), (DBO5-Pb-Ni), (Cr-Fe-Cu), (Fe-CR-Cu).

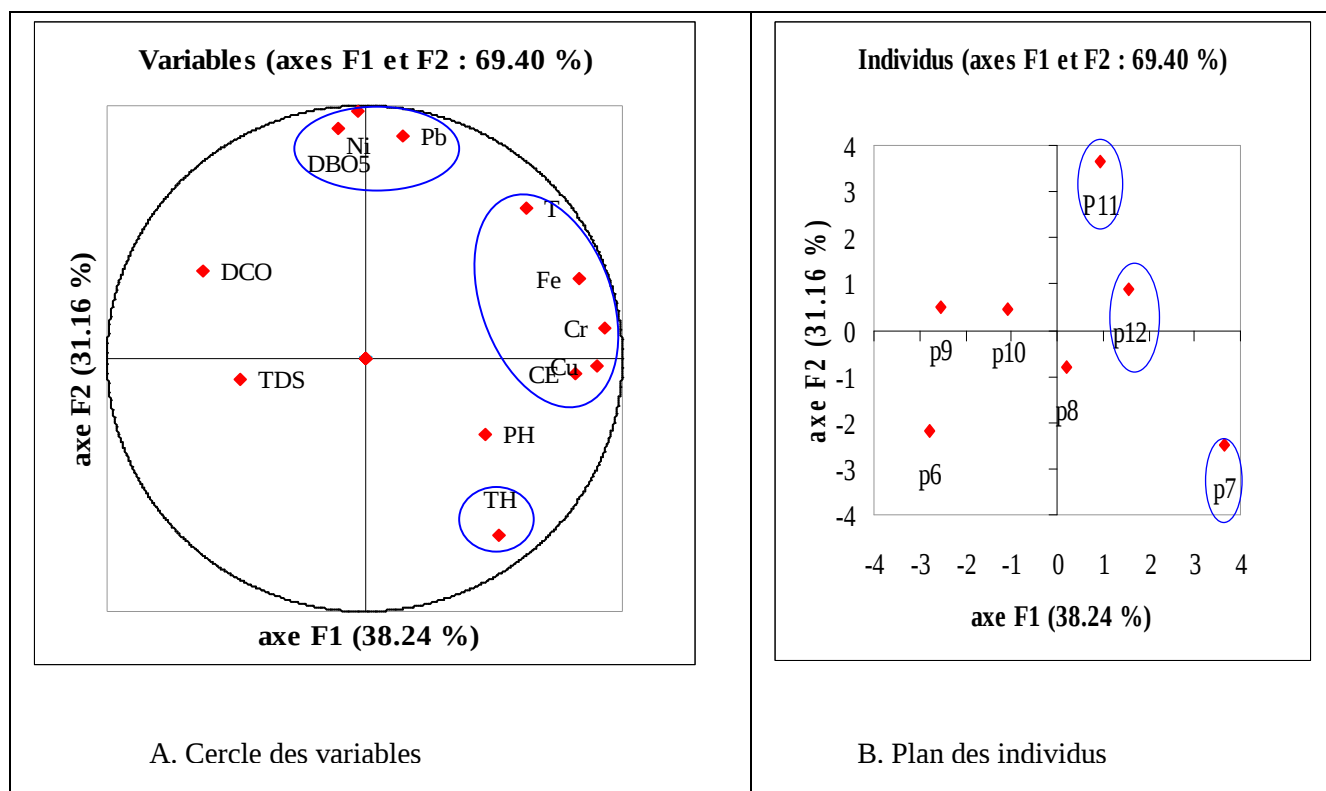


Fig.74. Représentation graphique de L'ACP selon les axes F1 et F2 Méboudja Avril, 2008.

V.5.1.1. Cycle F1-F2, Plan F1-F2

Le facteur FI (38.24% 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 (Cu, Cr, Fe) avec un pH acide, la projection des individus montre que ce groupe est bien présenté par le point P12 (effluent de l'Arcelor mitall steel).

Le facteur F2; (31.15% de la variance totale) montre l'existence de deux groupes; sa partie positive est occupée par le Pb, Ni et la DBO5, cependant sa partie négative est caractérisée par la dureté (Ca + Mg) ce qui traduit l'origine différente de ces deux groupes ; le premier est du à (l'action anthropique), car les eaux de la Méboudja reçoivent les rejets urbains des agglomérations environnantes et industriels de l'ensemble des unités existantes. Le deuxième est d'origine naturelle traduit par la dissolution des formations géologiques.

V.5.2. La zone industrielle de Berrahal

La matrice des données comporte 10 variables et 30 individus. Pour le traitement, nous avons choisi les deux premiers axes qui expriment une inertie totale de 55.19 % de l'ensemble

des informations. Le tableau (26), permet de constater que 33 % de l'information est contenue dans le premier axe factoriel F1 et 22% contenu sur l'axe F2.

Tableau.26. Inerties totales (Berrahal, ACP Mai 2008)

Facteurs	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	3.296	2.223	1.415	1.140
% variance	32.961	22.230	14.148	11.397
% cumulé	32.961	55.191	69.340	80.737

La matrice de corrélation (Tab.27.) montre de bons coefficients de corrélation dont ceux mentionnés en gras sont les plus significatifs, parmi lesquels, on note :(Pb-T), (CE-TH-DBO5-Mn-Cu), (Cu-TH).

Tableau.27. Matrice de corrélation (Berrahal, ACP Mai 2008)

	T	PH	CE	TH	DBO5	Pb	Fe	Mn	Cu	Ni
T	1	-0.239	0.221	-0.141	0.424	0.574	0.031	0.390	-0.110	-0.085
PH	-0.239	1	0.353	0.318	0.104	-0.482	0.120	0.189	0.288	-0.096
CE	0.221	0.353	1	0.705	0.537	0.253	0.225	0.675	0.570	-0.030
TH	-0.141	0.318	0.705	1	0.031	0.002	0.123	0.468	0.832	-0.013
DBO5	0.424	0.104	0.537	0.031	1	0.260	0.107	0.237	-0.044	0.140
Pb	0.574	-0.482	0.253	0.002	0.260	1	-0.016	0.476	0.018	0.077
Fe	0.031	0.120	0.225	0.123	0.107	-0.016	1	0.246	0.062	0.409
Mn	0.390	0.189	0.675	0.468	0.237	0.476	0.246	1	0.592	0.023
Cu	-0.110	0.288	0.570	0.832	-0.044	0.018	0.062	0.592	1	-0.012
Ni	-0.085	-0.096	-0.030	-0.013	0.140	0.077	0.409	0.023	-0.012	1

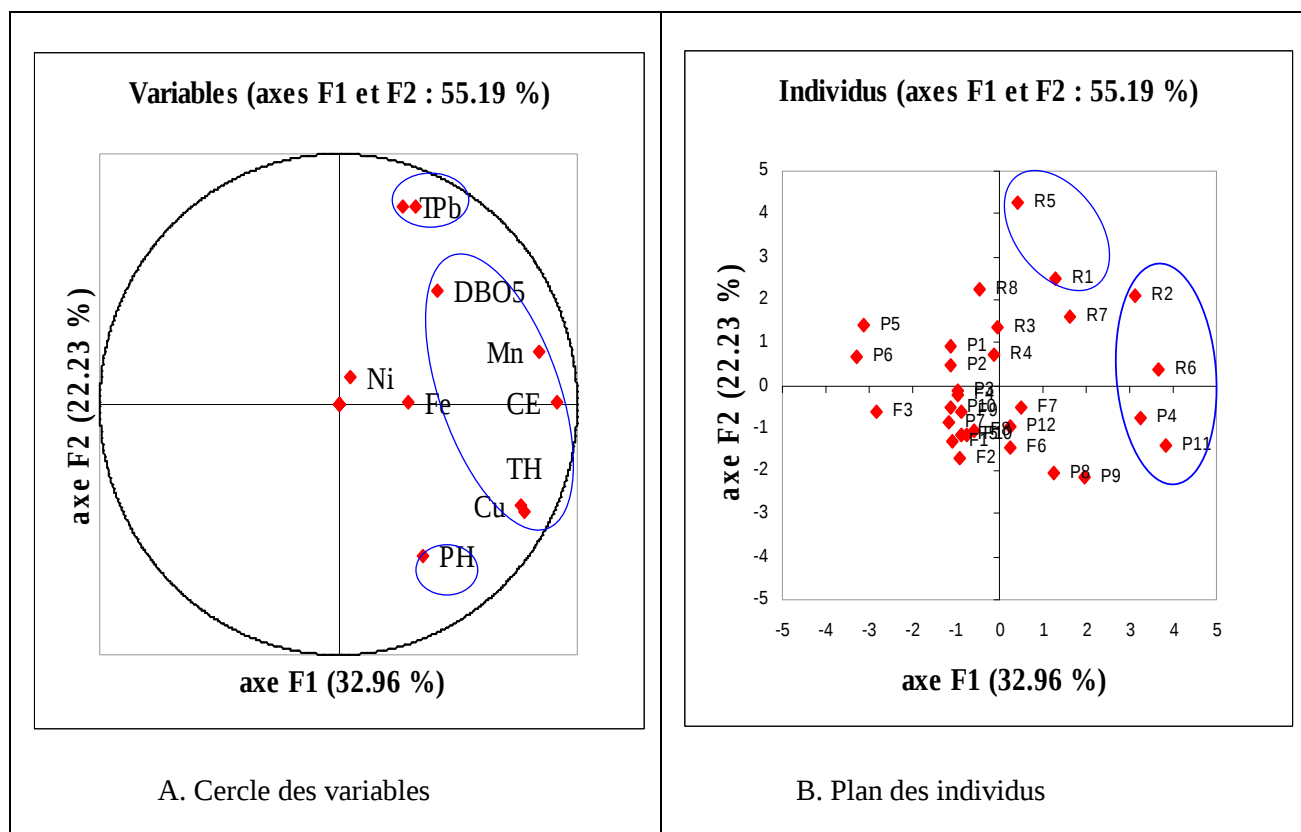


Fig.75. Représentation graphique de L'ACP selon les axes F1 et F2 Berrahal Mai, 2008.

V.5.2.2. Cycle F1-F2, Plan F1-F2

Selon l'axe F1, le regroupement des éléments de la minéralisation présenté par la conductivité électrique et la dureté associant aux éléments de la pollution tel que la DBO5, Mn et Cu. Cela permet de dire que la pollution dans cet endroit peut avoir plusieurs origines que ce soit anthropique ou naturelle. La projection des individus montre qu'il s'agit des eaux des puits (P4, P11) et les eaux des points (R6, R2) appartenant aux rejets des agglomérations et de la laiterie du nom de Fetzara. Cet axe représente, en effet, la minéralisation et la pollution.

L'axe F2, (55.19 %) de la variance totale fait ressortir deux catégories; la première occupe sa partie positive présentée par le plomb et la température avec un pH acide qui s'oppose aux eaux ayant un pH faible ou basique, cet axe représente l'alcalinité et l'acidité en plus de la pollution.

V.5.3. La plaine de l'Oued Zied et la décharge publique

La matrice des données comporte 8 variables et 22 individus, Pour le traitement nous avons choisi Les axes F1et F2 qui expriment une inertie totale de 65.29% de l'ensemble des

Informations. Le tableau n°28, permet de constater que 45 % de l'information est contenu dans le premier axe factoriel F1 et 19.85% contenu sur l'axe F2

Tableau.28. Inerties totales (Oued Zied, ACP Juin, 2008)

Facteurs	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	3.635	1.589	0.956	0.680
% Variance	45.433	19.857	11.949	8.504
% Cumulé	45.433	65.289	77.238	85.742

Tableau.29. Matrice de corrélation (ACP Juin, 2007)

	T	PH	CE	Pb	Zn	Cu	Cr	Fe
T	1	-0.344	0.087	0.342	0.416	0.626	-0.107	0.494
PH	-0.344	1	0.093	-0.447	-0.545	-0.612	0.520	-0.525
CE	0.087	0.093	1	0.179	-0.276	0.097	-0.258	-0.265
Pb	0.342	-0.447	0.179	1	0.143	0.287	-0.526	0.146
Zn	0.416	-0.545	-0.276	0.143	1	0.434	-0.250	0.777
Cu	0.626	-0.612	0.097	0.287	0.434	1	-0.441	0.664
Cr	-0.107	0.520	-0.258	-0.526	-0.250	-0.441	1	-0.342
Fe	0.494	-0.525	-0.265	0.146	0.777	0.664	-0.342	1

La matrice de corrélation (Tab.28.) donne une probabilité sur les corrélations qui peuvent être représentées sur le cercle de L' ACP par la suite (T-Cu), (Fe- Zn- Cu), (PH-Cr).

V.5.3.1. Cycle F1-F2, Plan F1-F2

L'axe F1 (Fig.76.) oppose les eaux fortement polluées, acides riches en Pb, Cr, Fe et Zn. Dans sa partie positive, correspond au plan des individus aux points (p1, p2 et p3) qui se localisent dans la décharge d'ordure. La partie négative montre que la corrélation est entre (pH et Cr). C'est l'axe de la pollution en plus l'alcalinité/l'acidité des eaux.

L'axe F2 regroupe les eaux fortement minéralisées, présentées par la conductivité électrique, correspond au plan des individus (P6, P16et P9), c'est l'axe de la minéralisation.

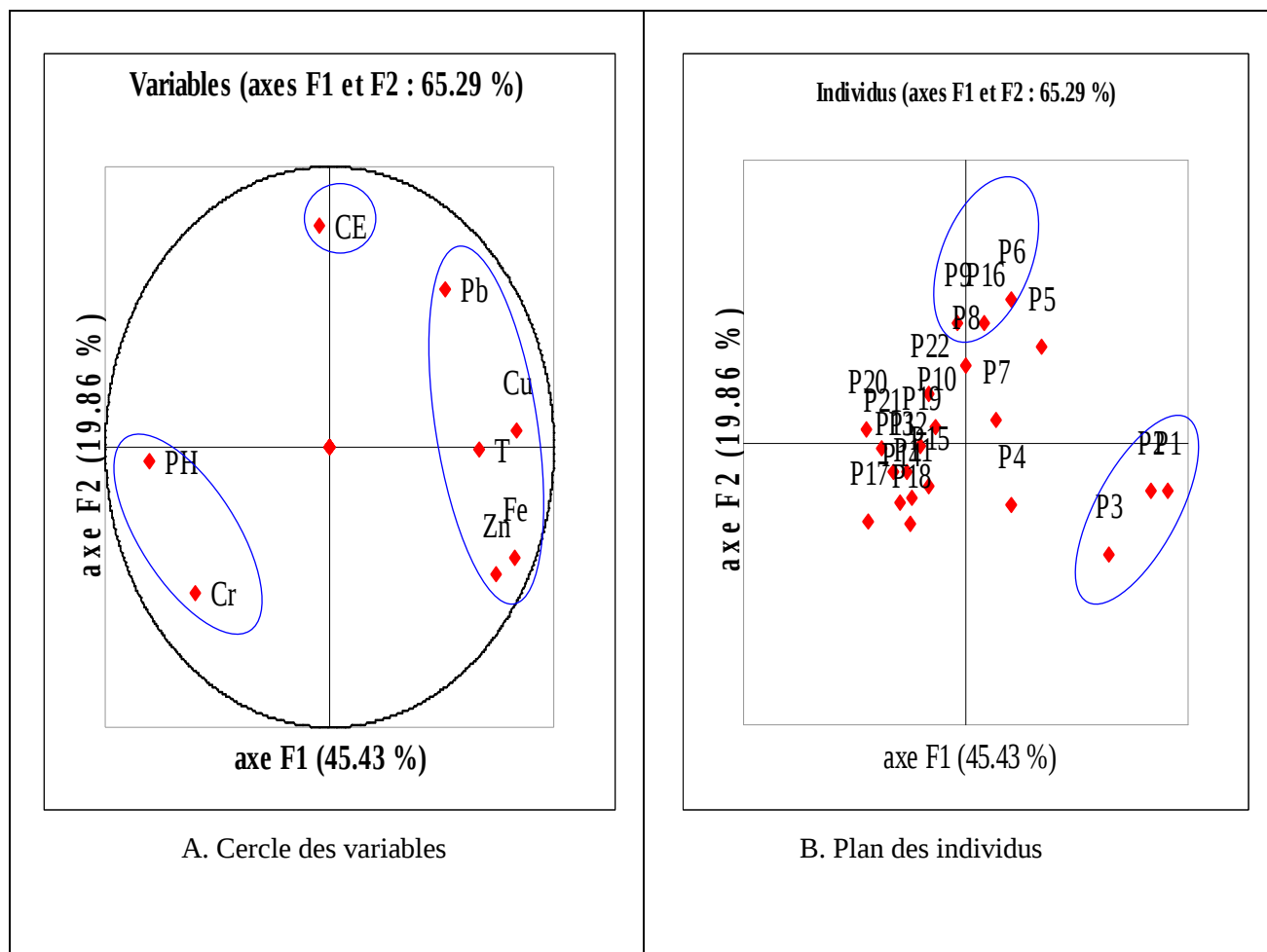


Fig.76. Représentation graphique de L'ACP selon les axes F1et F2 Plaine de Oued Zied Juin, 2008.

V.5.4. La plaine de Kharézas

La matrice des données comporte 11 variables et 34 individus, nous pouvons noter, d'après le tableau n°30 que le taux d'information contenu dans les premiers axes est assez faible; cela traduit l'existence de nombreuses sources d'acquisition de la chimie et donc de la pollution dans la plaine de Kharézas (pollution urbaine, industrielle et agricole)

Pour le traitement nous avons choisi Les axe F1et F2 qui expriment une inertie totale de 44.95% de l'ensemble des informations. En effet, le tableau (30), permet de constater que 25 % de l'information est contenu dans le premier axe factoriel FI et 21.85% contenu sur l'axe F2.

Tableau.30. Inerties totales (Kharézas, ACP Mai 2008)

Facteurs	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	2.910	2.484	1.409	1.210
% Variance	24.247	20.702	11.745	10.087
% Cumulé	24.247	44.948	56.693	66.780

La matrice de corrélation (Tab.31.) montre les éléments corrélés entre eux tel que (Ca-Mg, TDS et CE) (DBO5 T et Fe)

Tableau.31. Matrice de corrélation (Kharézas, ACP Mai 2008)

	Fe	CE	DBO5	PH	TDS	Pb	Cr	Cu	Zn	T	Ca	Mg
Fe	1	-0.171	0.305	-0.191	-0.214	-0.157	-0.055	-0.028	0.246	0.114	-0.197	0.026
CE	-0.171	1	0.075	0.188	0.956	-0.262	0.058	-0.138	0.016	0.067	0.556	0.187
DBO5	0.305	0.075	1	-0.145	-0.147	-0.429	0.161	-0.148	0.188	0.646	0.276	0.201
PH	-0.191	0.188	-0.145	1	0.281	0.128	-0.173	-0.239	-0.114	-0.405	0.282	0.135
TDS	-0.214	0.956	-0.147	0.281	1	-0.107	0.025	-0.168	-0.078	-0.173	0.486	0.166
Pb	-0.157	-0.262	-0.429	0.128	-0.107	1	-0.142	0.242	-0.282	-0.380	-0.304	-0.135
Cr	-0.055	0.058	0.161	-0.173	0.025	-0.142	1	-0.095	-0.121	0.150	0.326	-0.081
Cu	-0.028	-0.138	-0.148	-0.239	-0.168	0.242	-0.095	1	-0.101	0.273	-0.370	-0.170
Zn	0.246	0.016	0.188	-0.114	-0.078	-0.282	-0.121	-0.101	1	0.158	-0.174	0.049
t	0.114	0.067	0.646	-0.405	-0.173	-0.380	0.150	0.273	0.158	1	0.114	0.010
Ca	-0.197	0.556	0.276	0.282	0.486	-0.304	0.326	-0.370	-0.174	0.114	1	0.390
Mg	0.026	0.187	0.201	0.135	0.166	-0.135	-0.081	-0.170	0.049	0.010	0.390	1

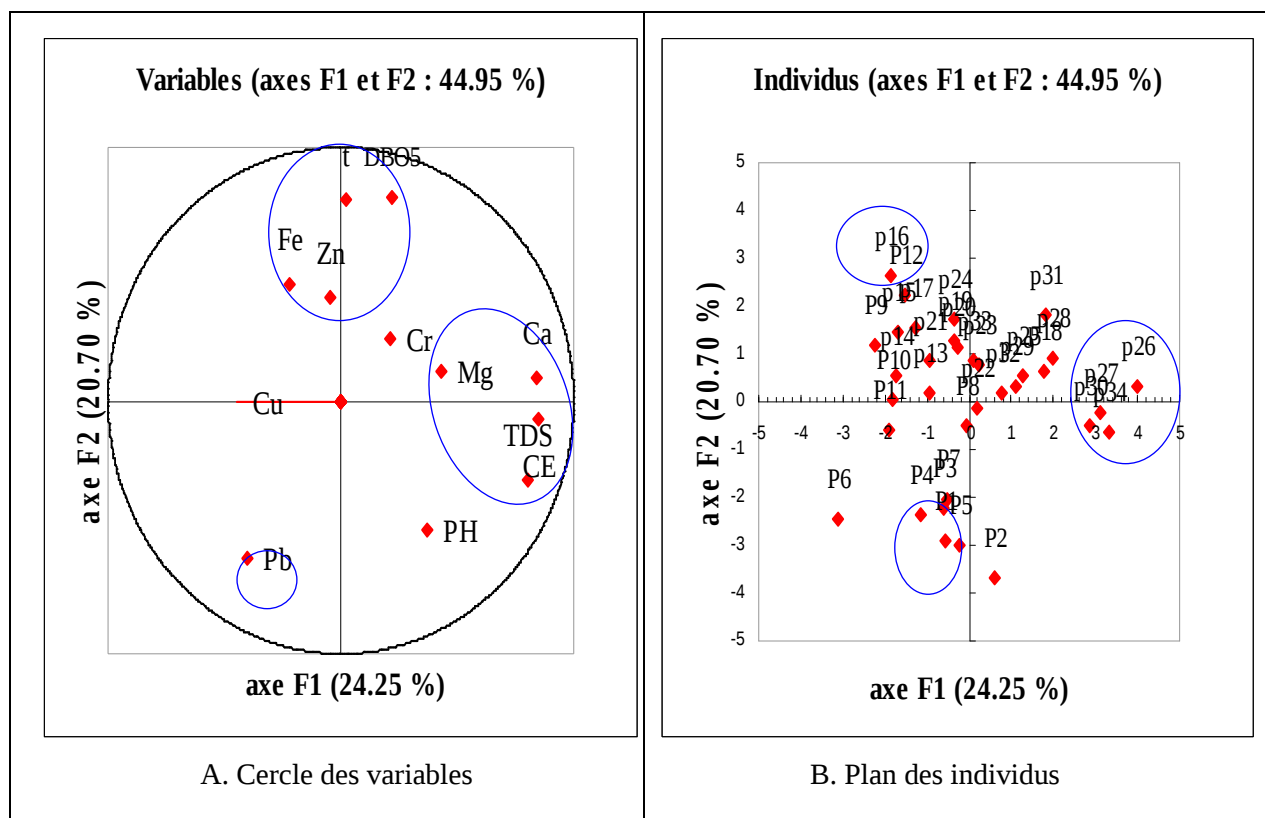


Fig.77. Représentation graphique de L'ACP selon les axes F1et F2 La plaine de Kharézas Mai, 2008.

V.5.4.1. Cycle F1-F2, Plan F1-F2

D'après la figure (Fig.77.) et selon l'axe F1 (24.25 de la variance), on constate que le regroupement de la conductivité électrique et le solide total dissous avec Ca et Mg correspond aux puits (P26 ; P27 ; P30 et P34) projetés sur le plan des individus; c'est l'axe de la minéralisation.

Selon l'axe F2 deux groupes se présentent; le premier sur la partie positive, il regroupe (DBO5 ; T°, Zn et le Fe) correspond aux puits (P16 et P12); il oppose les eaux chargées en plomb dans la partie négative. On note que ces deux regroupements inversement proportionnels ont une origine différentes portés sur l'axe F2 de la pollution.

Conclusion

L'étude hydrochimique nous a permis de montrer l'existence de plusieurs polluants chimiques au niveau des eaux de surface et de la nappe superficielle avec des concentrations élevées.

Les eaux des secteurs étudiés sont très minéralisées, parfois de mauvaise qualité et non potables dans plusieurs puits. De plus ces eaux impropres d'un point de vue organique car les valeurs de la DBO5 sont assez élevées surtout au niveau des effluents urbains et industriels et dans des puits qui sont mal équipés et qui se trouvent au niveau de la nappe libre très vulnérable à la pollution.

L'autre type de pollution qui est bien individualisé est celui de la pollution industrielle, les entreprises industrielles de Méboudja 1 et 2, Berrahal, Arcelor mitall impactent négativement les eaux souterraines de la région. Cette contamination est marquée par la présence des éléments toxiques tels les métaux lourds (Cr, Fe, Pb, Ni, Zn, Mn) en fortes teneurs. Les rejets liquides de quelques entreprises (galvanisation, transformation des métaux, raffinerie, chocolaterie...) qui sont rejetés soit à l'air libre au niveau des oueds ou a proximité du lac Fetzara sont très chargés et constituent une menace pour la santé des habitants qui utilisent ces puits.

L'absence, dans la quasi-totalité des cas, de traitement préalable des rejets industriels serait en grande partie responsable de la contamination des eaux souterraines de la région, par les métaux lourds.

De même, les lixiviats de la décharge contribueraient à la pollution métallique, d'autant plus que la décharge, n'est pas conçue selon les normes d'une décharge contrôlée: système d'étanchéité, collecteur de biogaz et de lixiviat.

L'analyse en composantes principales a permis de regrouper selon la projection des individus, les points analysés en fonction de la qualité d'eau.

Le but escompté à travers l'étude de l'analyse en composante principale était de regrouper les éléments ayant une origine ou évolution similaire.

Les nuages de point établis sur la projection des individus selon les axes 1-2 dans les secteurs étudiés, mettent ainsi en exergue l'évolution similaire des points regroupés en fonction des paramètres de qualité considérés.

Cette étude contribue donc à mettre en évidence que les ressources en eaux souterraines de la région sont confrontées à un sérieux problème de pollution par les métaux

lourds, notamment par le chrome, le plomb et le fer. En effet, Les métaux lourds présents à des concentrations faibles sont à considérés à causes des phénomènes de toxicité chronique, de bioaccumulation et des effets d'interaction. Ils représentent ainsi des risques certains pour la santé des populations et pour la qualité des ressources naturelles.

CHAP. VI

APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION ET EVALUATION DU RISQUE SUR LA SANTE HUMMAINE

VI. Evaluation du risque (EDR) sur la santé

La notion de risque fait appel à celle de nuisance. Une nuisance est tout ce qui fait du tort, qui agresse et qui perturbe. C'est un produit ou un phénomène susceptible d'agresser l'homme et la nature en général (la flore et la faune) et d'altérer leur équilibre.

Bien que le terme nuisance soit surtout utilisé pour les produits chimiques et certains phénomènes physiques, il est possible d'affirmer qu'une nuisance engendre un risque lorsqu'elle atteint un certain seuil insupportable par l'organisme humain.

Sur la base des résultats d'analyses de notre travail, on va essayer, d'une part, de mettre en relief la toxicité des E.T.M., d'autre part de quantifier le risque de leur pollution.

L'étude de risque a pour objectif :

- D'identifier les différents types de risques qui peuvent découler de la pollution.
- De quantifier ces risques.
- De définir les buts de réhabilitation pour mettre en conformité le site avec la réglementation sur l'environnement.
- De déterminer les actions qui vont réduire le risque pour le rendre acceptable.

VI.1. La toxicité des métaux lourds

VI.1.1. Le Chrome (Cr)

VI.1.1.1. Impact sur l'environnement

Le chrome existe principalement dans la nature sous forme de dérivées. Le principal minéral est le chrome de fer ou chromite. Le chrome pur est obtenu par réaction d'aluminium et d'oxydes (III) de chrome (aluminothermie) par électrolyse ou à partir d'iodure de chrome.

Le chrome est utilisé comme catalyseur dans la synthèse de l'ammoniac, dans la fabrication d'aciers chromés, d'aciers de fabrication, d'aciers inoxydables et d'alliages ainsi que pour chromage galvanique. Des complexes organiques sont utilisés comme colorant de développement dans la photographie couleur. Les dérivées inorganiques du chrome sont utilisées comme pigments. Les sels de chrome (VI) connaissent une très large utilisation dans les produits de conservation du bois et la tannerie.

Les quantités de chrome détectées dans l'hydrosphère, la pédosphère, l'atmosphère et la biosphère sont liées pour l'essentiel à des émissions d'origine industrielle.

Les déchets contenant du chrome sont considérés comme problématiques en raison de leur comportement dans les couches profondes du sol lorsqu'ils sont stockés dans des décharges. En milieu alcalin, on estime que la stabilité des chromes peut atteindre 50 ans, et qu'ils peuvent migrer vers les nappes aquifères, même au travers des sols cohérents.

La combustion des boues contenant des composants chromiques doit être évitée en raison du risque de formation de chromâtes.

VI.1.1.2. Impact sur la santé

Il existe deux formes du chrome (trivalent et hexavalent). Le chrome métal et le chrome trivalent ne sont pas toxiques. Le chrome hexavalent qui entraîne des inflammations muqueuses et des ulcères est cancérigène. On note également le risque de cancer important pour les embryons et les fœtus concernant le chrome VI. Les intoxications chromiques peuvent entraîner des altérations du tube gastro-intestinal. Le composé peut s'accumuler dans le foie, les reins, la glande thyroïde et dans la moelle osseuse.

VI.1.2. Le Plomb (Pb)

Le plomb est un élément chimique dense et ductile. Il est généralement associé au zinc dont le minerai est appelé « galène ».

D'importantes quantités du plomb sont utilisées dans les batteries et dans les gaines des câbles électriques, ainsi que dans l'industrie pour garnir les conduites, les réservoirs et les dispositifs à rayons X. Il est utilisé aussi comme adjuvant dans les essences.

VI.1.2.1 Impact sur la santé

Le plomb est introduit dans le corps sous quelques formes reste très toxique. Ses effets se font généralement sentir après une période d'accumulation du métal dans l'organisme.

Les enfants sont particulièrement exposés à l'intoxication, même pour des concentrations minimales, le plomb peut retarder le développement moteur, altérer la mémoire et provoquer des problèmes d'audition et des troubles de l'équilibre. L'empoisonnement par le plomb se manifeste par l'anémie, la faiblesse, la constipation, la colique et la paralysie, en particulier des poignets et des chevilles.

VI.1.3. Le Fer total (Fe. t)

Le fer est le métal le plus largement utilisé par l'industrie métallurgique (fontes, aciers,...).

VI.1.3.1. Impact sur l'environnement

Dans l'eau, le fer est présent avec une concentration très faible qui peut être augmentée suite au lessivage des terrains riches en fer ou à cause d'une pollution industrielle. Le fer se trouve dans l'eau sous une forme dissoute ou en solution colloïdale. Cet élément présente un danger de toxicité assez modéré pour la vie aquatique. Cette toxicité est difficile à préciser car elle est fonction de l'état chimique du métal et de la présence du précipité de l'hydroxyde de fer qui tend à se déposer sur les branchies des poissons et entraîner leur colmatage.

VI.1.3.2. Impact sur la santé

L'ingestion d'une forte dose d'un sel de fer peut produire une intense altération des muqueuses digestives se traduisant par des douleurs abdominales, de vomissement et une diarrhée souvent sanglante. Les intoxications sévères peuvent entraîner des complications hémorragiques, des brûlures chimiques de tube digestif pouvant conduire à la mort.

VI.1.4. Le Cuivre (Cu)

C'est un métal mou et ductile de couleur rouge caractéristique. Il existe dans la nature à l'état pur ou combiné à différents éléments notamment au Soufre. Il est largement utilisé en plomberie et dans l'industrie électrique.

VI.1.4.1. Impact sur l'environnement

Concernant les végétaux, une forte dose de cuivre provoque des lésions réticulaires des racines et formation de nombreuses radicules brunâtres. Le cuivre s'accumule dans les parois cellulaires.

Pour les poissons, l'effet toxique du cuivre est très remarquable, il provoque une altération des branchies des poissons et retarde la ponte de ces derniers.

VI.1.4.2. Impact sur la santé

Le cuivre est un élément essentiel pour l'homme. Cependant, de très grosses doses peuvent avoir des effets sur la santé. Une exposition à long terme à des poussières de cuivre peut irriter les sinus, la bouche et les yeux et entraîner des maux de tête, des nausées et des diarrhées. Il peut aussi entraîner des dégâts au niveau du foie et des reins, voir même un décès. L'intoxication chronique est marquée par un amaigrissement et des difficultés respiratoires surtout pour les enfants en bas âge.

VI.1.5. Le Nickel (Ni)

Le nickel est un métal de couleur blanche argentée, malléable et ductile, son utilisation est très diverse : pièces de monnaie, automobiles, aviations,...etc.

VI.1.5.1. Impact sur l'environnement

Le nickel est un oligo-élément important pour la croissance des plantes. La présence du nickel est influencée par la présence d'autres éléments. Ainsi, la présence simultanée de cuivre, de zinc et de nickel aurait pour effet d'accroître la toxicité aigue vis-à-vis de certains poissons (truite arc en ciel).

VI.1.5.2. Impact sur la santé

L'exposition répétée aux dérivées inorganiques du nickel peut produire une irritation des voies respiratoires (des rhinites et ulcérations de la cloison nasale, bronchite chronique,...etc.).

Les dermatoses allergiques au nickel sont très fréquentes chez les ouvriers exposés (Eczéma de contact). Certains sels de nickel sont irritants pour la peau.

Une longue exposition au nickel peut provoquer des atteints et le cancer des poumons.

Le nickel est très toxique par ingestion et peut induire de graves maladies digestives.

VI.1.6. Le Zinc (Zn)

Le zinc est une substance très commune qui est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol, c'est un élément essentiel (à faibles doses) pour l'organisme humain.

VI.1.6.1. Impact sur l'environnement

Le zinc en fortes concentrations dans un sol, seul un nombre limité de plantes a des chances de survivre. C'est pourquoi il n'y a pas beaucoup de diversité des plantes près des usines manipulant du zinc. Du fait de ces effets sur les plantes le zinc est une sérieuse menace pour la production des terres agricoles. Enfin le zinc peut interrompre l'activité du sol, car il a une influence négative sur l'activité des micro-organismes et les vers de terre. De ce fait, La décomposition de la matière organique peut être sérieusement ralentie.

VI.1.6.2. Impact sur la santé

Le zinc est un élément essentiel pour la santé de l'homme. Lorsqu'on absorbe trop peu de zinc on peut alors avoir une perte de l'appétit, une diminution des sensations de goût et d'odeur, les blessures cicatrisent lentement et on peut avoir des plaies. Les carences en zinc

peuvent aussi provoquer des problèmes lors des naissances. Trop de zinc peut tout de même provoquer des problèmes de santé importants, comme des crampes d'estomac; des irritations de la peau, des vomissements, des nausées, de l'anémie.

VI.2. Evaluation des risques des métaux lourds sur la santé

L'étude des risques est basée sur les étapes suivantes :

- ◆ Définition des concentrations d'exposition.
- ◆ Estimation des doses journalières d'exposition (DJE).

VI.2.1. Définition des concentrations d'exposition

La première phase de l'analyse des risques consiste à l'estimation des concentrations en polluants présents dans l'environnement aux différents points d'exposition. Dans le cadre de cette étude, les concentrations employées pour l'estimation des risques sont les concentrations des métaux lourds (chrome, plomb, fer total, cuivre et nickel) observés dans les secteurs étudiés.

VI.2.2. Estimation des doses d'exposition

Après l'estimation des concentrations des métaux lourds précédents, l'analyse des risques s'appuie sur l'estimation des doses d'exposition des individus aux métaux lourds.

VI.2.2.1. Dose journalière d'exposition (DJE) : Est donnée par la relation suivante

La dose journalière d'exposition est la dose de substance reçue par l'organisme rapportée au poids de l'individu et au nombre des jours d'exposition. Elle a pour but de définir une quantité de polluant administrée, exprimée en mg/kg/j. Le calcul de la DJE pour les différents scénarios se déroule toujours en appliquant des équations adaptées pour chacune des voies d'exposition. Les équations se présentent de la manière suivante :

$$DJE = C.Q.Fsp.De.Fe/P.T$$

Tel Que :

DJE : Dose journalière d'exposition (mg/kg/j). **C** : Concentration dans le milieu d'exposition (mg/ kg). **Q** : Quantité ingérée (kg). **Fsp** : Facteur d'absorption. **De** : Durée d'exposition (années). **Fe** : Fréquence d'exposition (j/an). **P** : Poids de l'individu (Kg).

T : Période du temps sur laquelle l'exposition est moyennée (j).

VI.2.2.2. DJE pour le contact dermique avec le sol

L'équation utilisée pour le calcul de la dose journalière d'exposition due au contact dermique est basée sur des hypothèses de fraction de peau exposée, de la fraction du sol qui adhère à la peau et des propriétés de la peau à absorber le composant chimique.

La DJE pour la voie d'exposition par contact dermique est estimée par l'équation suivante :

$$DJE = Cs.Sa.Fs.SL.0,000001.EF.Z/Bw.365$$

Tel que :

DJE : Dose journalière exposée. **Cs** : Concentration du composé dans le sol (mg/kg). **Sa** : Surface de peau (cm²). **Fs** : Facteur d'adsorption. **SL** : Facteur climatique (sans dimension). **EF** : Fréquence d'exposition (j/an). **Z** : Poids du corps (Kg). **Bw** : Fraction de peau exposée.

VI.2.2.3. Dose journalière acceptable (DJA)

La dose journalière acceptable présente la quantité de substance chimique que peut ingérer un homme par jour au cours de sa vie sans aucun risque appréciable pour sa santé.

VI.3. Estimation du risque

L'estimation du risque est différente en fonction de la substance qui est cancérogène ou non cancérogène.

VI.3.1. Estimation du risque non cancérogène

L'estimation du risque non cancérogène est exprimée par le rapport entre la dose journalière d'exposition (DJE) et la dose journalière acceptable (DJA).

Le rapport est appelé indice de risque (IR) :

$$IR = DJE / DJA$$

Si « IR » est inférieur à 1, alors le risque toxique est considéré comme acceptable.

VI.3.2. Estimation du risque cancérogène

l'introduction des données dans le logiciel risk4 nous a permis de dégager les observations suivantes:

Le risque cancérigène est estimé par la notion d'excès de risque individuel (ERI) qui est obtenu par multiplication de la dose journalière d'exposition par l'excès de risque unitaire (ERU); soit une probabilité d'attraper un cancer de 1 sur 1 million comme niveau de risque certainement acceptable. Si par contre la valeur atteint 10^{-4} , le risque sera considéré comme certainement inacceptable en terme de santé publique.

Dans ce travail, en fonction de la disponibilité de données, nous avons pris en considération l'usage eaux de surface pour les populations des agglomérations: Sidi Ammar et El Hadjar. Cependant pour les secteurs de Berrahal, Oued-Zied (Berka Zerga) et Kharézas, on a utilisé le scénario usage eaux souterraines).

Les résultats obtenus par le logiciel RISK4 sur les deux catégories de la société (adultes et enfants) sont illustrés dans les tableaux (32, 33, 34 et 35) et les histogrammes (78, 81, 84, 87 et 88), ainsi les cartes des risques qui correspondent à chaque secteur (Fig.79, 80, 82, 83, 85,86, 89,90).

Tab.32. Indice du risque total pour l'usage des eaux de surface (Oued Méboudja) Avril, 2008.

point d'eau	Indice du Risque							
	Cr		Pb		Cu		Ni	
	enfant	adulte	enfant	adulte	enfant	adulte	enfant	adulte
P6	$1.5 \cdot 10^{+2}$	$7.2 \cdot 10^{+1}$	7.1	3.4	/	/	/	/
P7	$1.5 \cdot 10^{+2}$	$7.3 \cdot 10^{+1}$	6.5	3.1	$2.5 \cdot 10^{-1}$	$1.2 \cdot 10^{-1}$	/	/
P8	$1.5 \cdot 10^{+2}$	$7.2 \cdot 10^{+1}$	9.5	4.5	/	/	$4.9 \cdot 10^{-1}$	$2.3 \cdot 10^{-1}$
P9	$1.5 \cdot 10^{+2}$	$7.2 \cdot 10^{+1}$	$1.1 \cdot 10^{+1}$	5.1	/	/	$6.3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
P10	$1.5 \cdot 10^{+2}$	$7.2 \cdot 10^{+1}$	$1.4 \cdot 10^{+1}$	6.8	/	/	$5.7 \cdot 10^{-1}$	$2.7 \cdot 10^{-1}$
P11	$1.5 \cdot 10^{+2}$	$7.3 \cdot 10^{+1}$	$1.8 \cdot 10^{+1}$	8.7	/	/	1.1	$5.3 \cdot 10^{-1}$
P12	$1.5 \cdot 10^{+2}$	$7.2 \cdot 10^{+1}$	$1.9 \cdot 10^{+1}$	9.1	/	/	$5.7 \cdot 10^{-1}$	$2.7 \cdot 10^{-1}$

Le secteur de l'oued Méboudja, en ce qui concerne la contamination par le chrome, présente un indice du risque supérieur à 1 donc il est inacceptable pour les deux catégories (enfant, adulte). Cependant L'IR dans le cas du nickel est acceptable pour tous les points à l'exception du P11 où il est inacceptable pour l'enfant. Quant au cuivre L'IR est tolérable dans tous les cas. L'exemple dans le cas du chrome qui semble être le plus nuisible est illustré dans l'histogramme (Fig.78.) et sur les cartes du risque (Fig. 79 et 80) ci après.

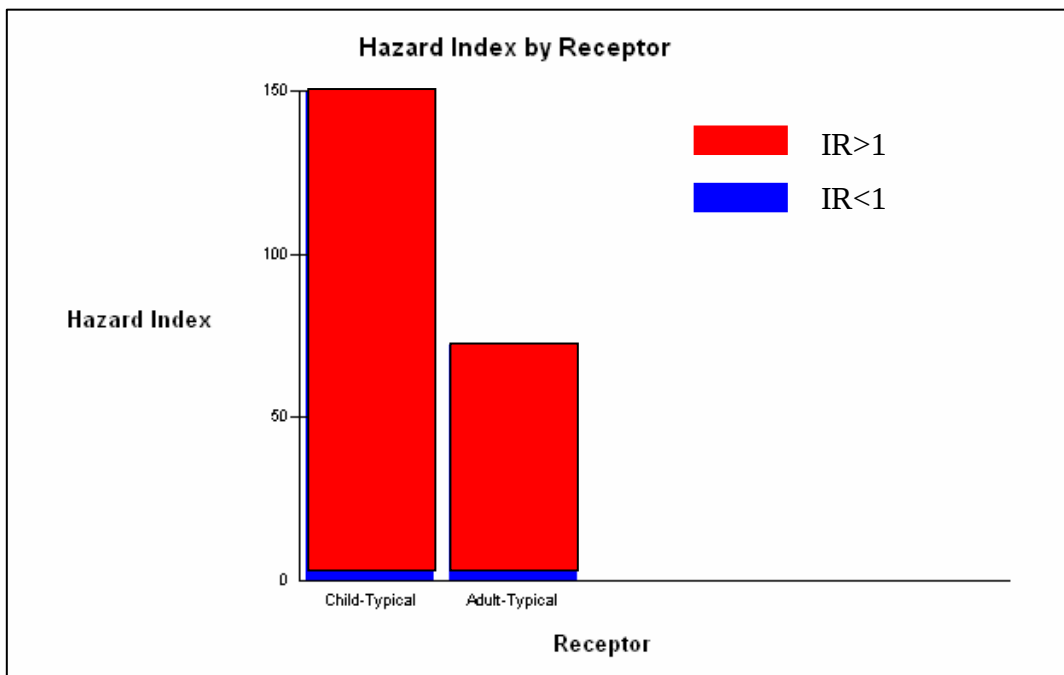


Fig.78. Indice du risque total du Cr dans l'Oued Méboudja Avril, 2008.

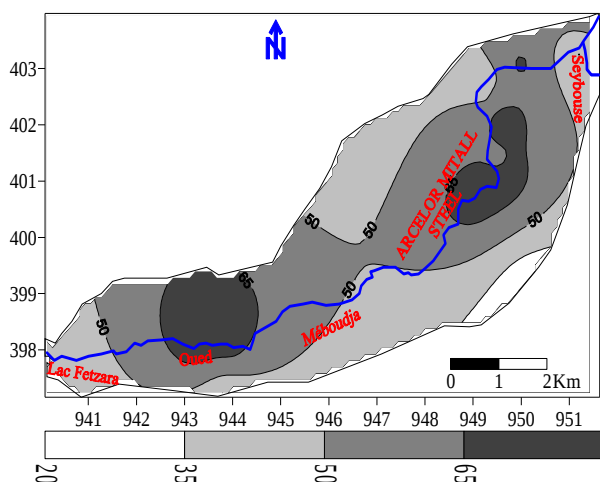


Fig.79 .Carte de L'IR du Cr pour l'enfant (Oued méboudja) Avril, 2008.

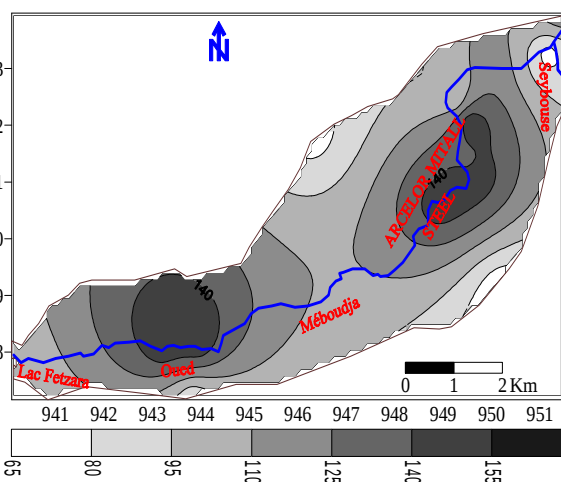


Fig.80 .Carte de L'IR du Cr pour l'adulte (Oued méboudja) Avril, 2008

Les figures (Fig.79 et Fig. 80), représentent clairement les plages de L'IR pour les deux catégories (enfant, adulte) dans le scénario des eaux de surface (Oued Méboudja), les deux illustrations sont presque identiques, sauf qu'il y'a une petite nuance; c'est que l'IR est plus accentué chez l'enfant, le risque apparait très élevé sur les rives de l'oued Méboudja notamment à la proximité de l'usine Arcelor mitall et sur la partie Est du lac Fetzara; les zones qui semblent être les plus sujettes à la pollution métallique, dans ces endroits L'IR

atteint son maximum (150), puis il s'amointrit progressivement en allant du centre vers les périphéries de la plaine.

Tab.33. Indice du risque total pour l'usage des eaux souterraines (Berrahal) Mars, 2008.

point d'eau	Indice du Risque					
	Pb		Cu		Ni	
	enfant	adulte	enfant	adulte	enfant	adulte
P1	9.8	4.6	/	/	$2.2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
P2	5.4	2.6	/	/	$1.8 \cdot 10^{-1}$	$8.6 \cdot 10^{-2}$
P3	1.9	$8.8 \cdot 10^{-1}$	/	/	$2.3 \cdot 10^{-1}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$
P4	4.6	2.2	/	/	$2.8 \cdot 10^{-1}$	$1.3 \cdot 10^{-1}$
P5	6.3	3.0	/	/	$2.3 \cdot 10^{-1}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$
P6	1.5	$7.1 \cdot 10^{-1}$	/	/	$3.4 \cdot 10^{-1}$	$1.6 \cdot 10^{-1}$
P7	1.9	$8.8 \cdot 10^{-1}$	/	/	$3.3 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$
P8	2.8	1.3	1.6	$7.7 \cdot 10^{-1}$	$1.4 \cdot 10^{-1}$	$6.8 \cdot 10^{-2}$
P9	1.7	$8 \cdot 10^{-1}$	/	/	$3.1 \cdot 10^{-1}$	$1.4 \cdot 10^{-1}$
P10	1.9	$8.8 \cdot 10^{-1}$	/	/	$2.3 \cdot 10^{-1}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$
P11	4.6	2.2	/	/	$2.8 \cdot 10^{-1}$	$1.3 \cdot 10^{-1}$
P12	3.3	1.5	/	/	1.6	$7.3 \cdot 10^{-1}$
F1	$6 \cdot 10^{-1}$	$2.8 \cdot 10^{-1}$	/	/	$3.2 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$
F2	$4 \cdot 10^{-1}$	$1.9 \cdot 10^{-1}$	/	/	$2.7 \cdot 10^{-1}$	$1.3 \cdot 10^{-1}$
F3	$9.8 \cdot 10^{-1}$	$4.6 \cdot 10^{-1}$	/	/	$1.7 \cdot 10^{-1}$	$7.9 \cdot 10^{-2}$
F4	1.5	$7.1 \cdot 10^{-1}$	/	/	$1.6 \cdot 10^{-1}$	$7.7 \cdot 10^{-2}$
F5	$3.1 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$	/	/	$1.6 \cdot 10^{-1}$	$7.4 \cdot 10^{-2}$
F6	3.6	1.7	/	/	$1.4 \cdot 10^{-1}$	$6.7 \cdot 10^{-2}$
F7	5.3	2.5	/	/	$3.4 \cdot 10^{-1}$	$1.6 \cdot 10^{-1}$
F8	2.8	1.3	/	/	$3.4 \cdot 10^{-1}$	$1.6 \cdot 10^{-1}$
F9	4.5	2.1	/	/	$2.9 \cdot 10^{-1}$	$1.4 \cdot 10^{-1}$
F10	$6.7 \cdot 10^{-1}$	$3.1 \cdot 10^{-1}$	/	/	$1.6 \cdot 10^{-1}$	$7.6 \cdot 10^{-2}$
R1	$1.4 \cdot 10^{+1}$	6.7	/	/	$3.8 \cdot 10^{-1}$	$1.8 \cdot 10^{-1}$
R2	$1.6 \cdot 10^{+1}$	7.5	/	/	$1.6 \cdot 10^{-1}$	$7.5 \cdot 10^{-2}$
R3	8.4	4.0	/	/	$1.6 \cdot 10^{-1}$	$7.6 \cdot 10^{-2}$
R4	4.5	2.1	/	/	$3.1 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$
R5	$1.6 \cdot 10^{+1}$	7.3	/	/	$6 \cdot 10^{-1}$	$2.8 \cdot 10^{-1}$
R6	3.6	1.7	/	/	$1.7 \cdot 10^{-1}$	$8.2 \cdot 10^{-2}$
R7	3.5	1.6	/	/	$4.9 \cdot 10^{-1}$	$2.3 \cdot 10^{-1}$
R8	6.3	3.0	/	/	$4.8 \cdot 10^{-1}$	$2.3 \cdot 10^{-1}$

L'évaluation du risque sur la santé humaine dans la zone industrielle de Berrahal dans le cas du plomb, affirme un IR inacceptable dans la quasi-totalité des points d'exposition sauf quelques forages (F1, F2, F3, F4, F5 et F10) où IR ne dépasse plus la norme. (Fig.81). Quant au nickel ; IR est acceptable dans tous les points analysés à l'exception du P12 où il est intolérable pour l'enfant (de l'ordre de 1.6).

IR pour le cuivre est conforme aux normes tolérables dans tous les points analysés sauf au point P8 où il est inacceptable pour l'enfant (IR=1.6).

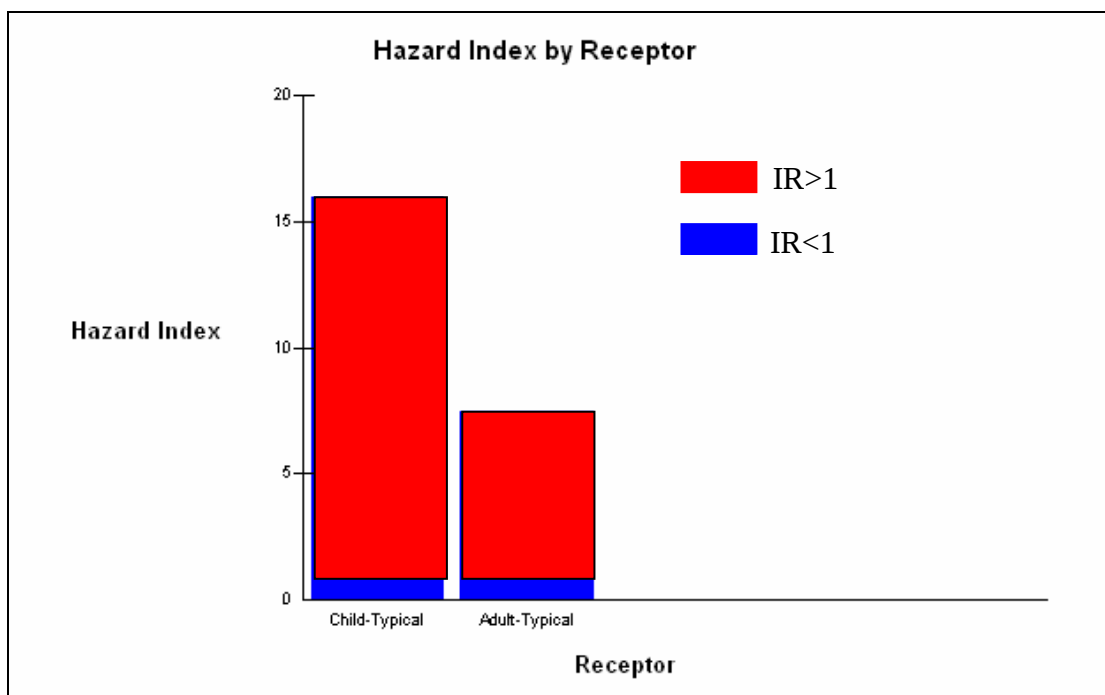


Fig.81. Indice du risque total du Pb dans la zone industrielle de Berrahal Mars, 2008.

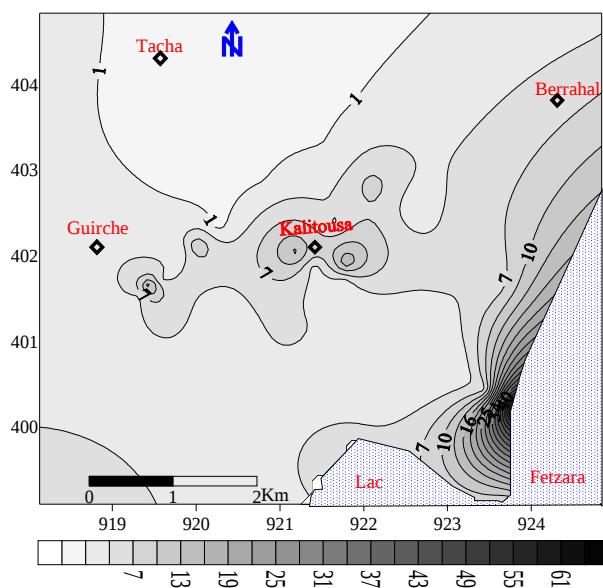


Fig.82 .Carte de L'IR du Pb pour l'enfant (Berrahal) Mars ,2008.

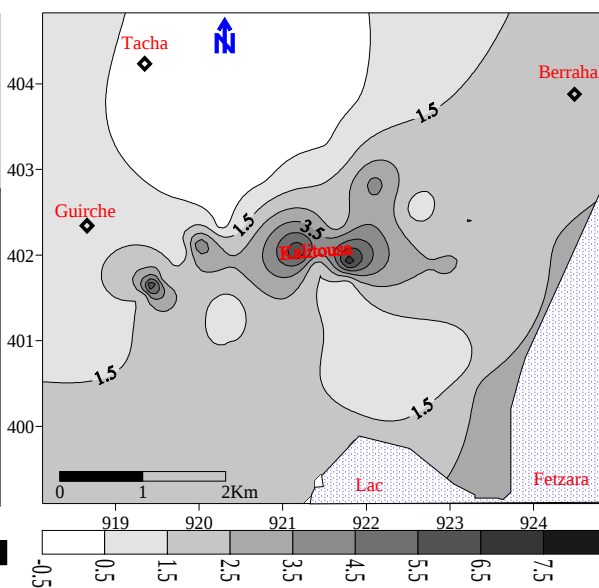


Fig.83 .Carte de L'IR du Pb pour l'adulte (Berrahal) Mars, 2008.

Les résultats de L'IR du plomb enregistrés pour l'enfant et l'adulte dans la région de Berrahal sont utilisés à fin de dresser les cartes du risque (Fig.82 et Fig.83), ces dernières montrent que L'IR augmente en allant de la périphérie vers le centre où se localise la zone industrielle du Kalitoussa (10 pour l'enfant et 5.5 pour l'adulte), les courbes dans la partie Sud Est sur les alentours du lac Fetzara ont la même allure que celles du centre indiquant ainsi un risque considérable, cependant il semble être négligeable ou nul dans la partie nord (plaine de Tacha).

Tab.34. Indice du risque total pour l'usage des eaux souterraines (plaine de kharézas) Mai, 2008

point d'eau	Indice du Risque							
	Cr		Pb		Cu		Zn	
	enfant	adulte	enfant	adulte	enfant	adulte	enfant	adulte
P1	/	/	$1.9 \cdot 10^{-1}$	$0.9 \cdot 10^{-1}$	/	/	/	/
P2	/	/	1.8	$8.3 \cdot 10^{-1}$	/	/	/	/
P3	/	/	2.5	1.2	/	/	/	/
P4	/	/	7.3	3.4	/	/	/	/
P5	$7.4 \cdot 10^{-1}$	$3.5 \cdot 10^{-1}$	4.0	1.9		/	/	/
P6	$9.1 \cdot 10^{-1}$	$4.3 \cdot 10^{-1}$	6.7	3.2	$2.4 \cdot 10^{-1}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$	/	/
P7	/	/	8.3	3.9	/	/	/	/
P8	/	/	3.6	1.7	/	/	/	/
P9	/	/	2.4	1.1	/	/	/	/
P10	/	/	4.3	2.0	/	/	/	/
P11	/	/	3.0	1.4	/	/	/	/
P12	/	/	1.2	$5.5 \cdot 10^{-1}$	/	/	/	/
P13	/	/	$2.5 \cdot 10^{-1}$	$1.2 \cdot 10^{-1}$	/	/	/	/
P16	$7.9 \cdot 10^{-1}$	$3.7 \cdot 10^{-1}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$	$5.1 \cdot 10^{-2}$	/	/	/	/
P17	$8.7 \cdot 10^{-1}$	$4.1 \cdot 10^{-1}$	/	/	/	/	/	/
P18	/	/	$1.1 \cdot 10^{-1}$	$5.1 \cdot 10^{-2}$	/	/	/	/
P19	/	/	$6.6 \cdot 10^{-1}$	$3.1 \cdot 10^{-1}$	/	/	/	/
P20	/	/			/	/	$4.0 \cdot 10^{-2}$	$1.8 \cdot 10^{-2}$
P24	/	/	$6.9 \cdot 10^{-1}$	$3.2 \cdot 10^{-1}$	/	/	/	/
P25	/	/	1.1	$5.2 \cdot 10^{-1}$	/	/	/	/
P26	/	/	1.0	$4.9 \cdot 10^{-1}$	/	/	/	/

Dans le secteur de la plaine de kharézas ; L'IR est acceptable pour le chrome, le cuivre et le zinc. En revanche il apparait clairement inacceptable dans le cas du plomb dans la majorité des points où il dépasse le seuil de tolérance à l'exception des puits (P1, P3, P16, P18, P19 et P26).

L'IR est inacceptable pour l'enfant au niveau des puits (P2, P25 et P26). Seulement l'exemple du plomb où le secteur est beaucoup plus sujette au risque est pris en compte dans les histogrammes de l'indice du risque (Fig.84.).

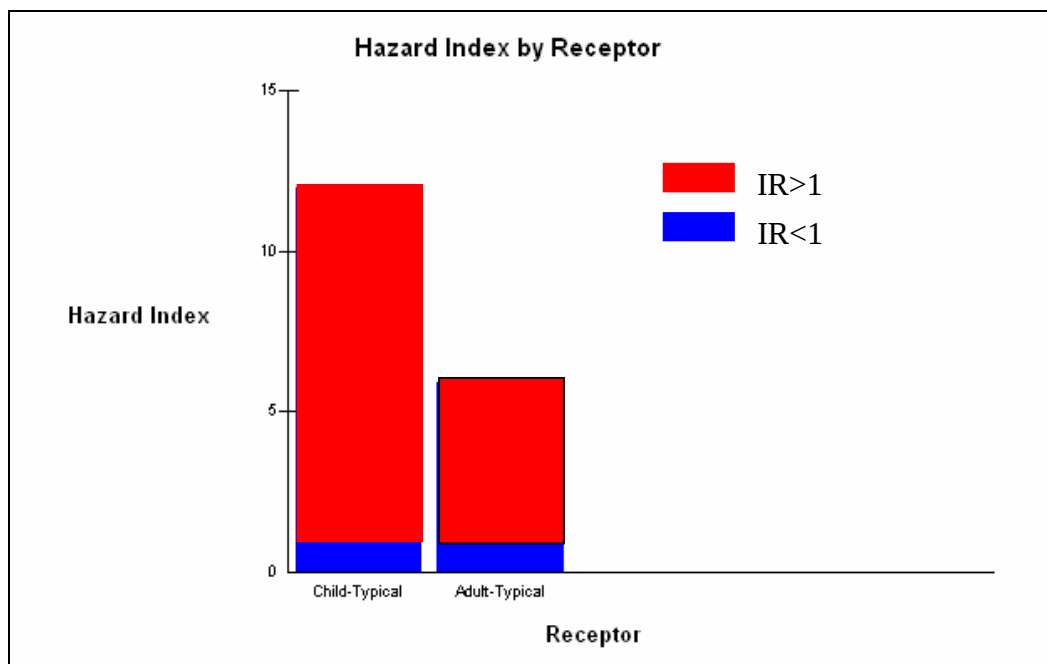


Fig.84. Indice du risque total du Pb dans la plaine de Kharézas Mai, 2008.

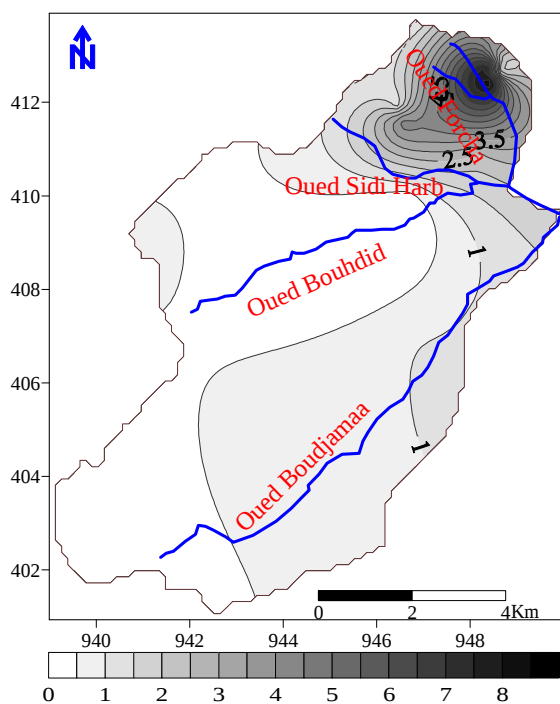


Fig.85 .Carte de L'IR du Pb pour l'enfant (Kharézas) Mai, 2008.

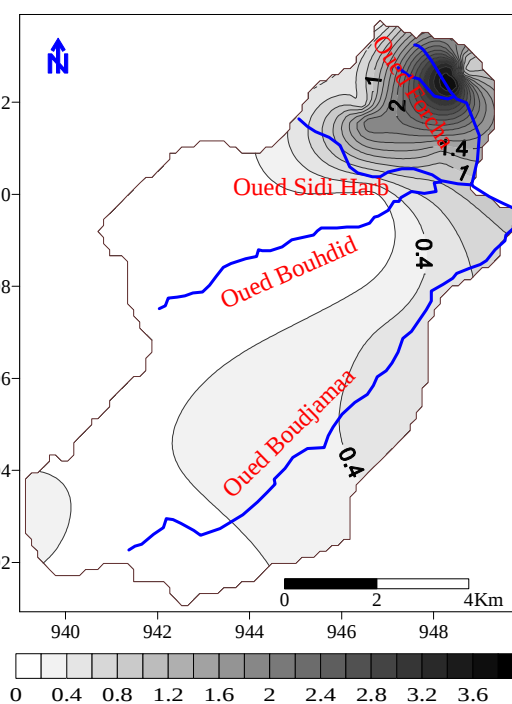


Fig.86 .Carte de l'IR du Pb pour l'adulte (Kharézas) Mai, 2008.

Les figures (Fig.85 et 86) dans le secteur de Kharézas (eaux souterraines) montrent qu'il n'y a pas un risque cancérigène dans la partie amont (les sources des oueds étant situées dans le massif métamorphique de l'Edough loin de toute pollution). En général, le risque

s'accroît en allant de l'amont vers l'aval, autrement dit, le risque devient plus important là où l'activité anthropique est très intense (urbanisme, industrie...).

Tab.35. Indice du risque total pour l'usage des eaux souterraines (plaine d'oued Zied et La décharge de Berka Zerga Juin, 2008)

point d'eau	Indice du Risque							
	Cr		Pb		Cu		Zn	
	enfant	adulte	enfant	adulte	enfant	adulte	enfant	adulte
P1	5.1	2.4	3.5	1.6	$2.3 \cdot 10^{+1}$	$1.1 \cdot 10^{+1}$	$5.4 \cdot 10^{-1}$	$2.5 \cdot 10^{-1}$
P2	5.1	2.4	3.5	1.6	$2.3 \cdot 10^{+1}$	$1.1 \cdot 10^{+1}$	$5.4 \cdot 10^{-1}$	$2.5 \cdot 10^{-1}$
P3	$1.5 \cdot 10^{+1}$	7.1	1.3	$6.1 \cdot 10^{-1}$	7.8	3.7	1.1	$5 \cdot 10^{-1}$
P4	$2.2 \cdot 10^{+1}$	$1.1 \cdot 10^{+1}$	2.5	1.2	$1.7 \cdot 10^{+1}$	8.2	$5.2 \cdot 10^{-1}$	$2.4 \cdot 10^{-1}$
P5	$1.6 \cdot 10^{+1}$	7.6	5.3	2.5	$2.2 \cdot 10^{+1}$	$1 \cdot 10^{+1}$	$2.9 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-2}$
P6	6.6	3.1	/	/	$1.4 \cdot 10^{+1}$	6.6	$4.6 \cdot 10^{-2}$	$2.1 \cdot 10^{-2}$
P7	$2.4 \cdot 10^{+1}$	$1.1 \cdot 10^{+1}$	3.6	1.7	$1.2 \cdot 10^{+1}$	5.8	$4.8 \cdot 10^{-2}$	$2.2 \cdot 10^{-2}$
P8	$2.3 \cdot 10^{+1}$	$1.1 \cdot 10^{+1}$	3.8	1.8	6.1	2.9	$3.9 \cdot 10^{-2}$	$1.8 \cdot 10^{-2}$
P9	2.1	1.0	2.6	1.2	7	3.3	$2.9 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-2}$
P10	$1.5 \cdot 10^{+1}$	7.1	$9.8 \cdot 10^{-1}$	$4.6 \cdot 10^{-1}$	6.5	3.0	$1.8 \cdot 10^{-1}$	$8.6 \cdot 10^{-2}$
P11	$1.5 \cdot 10^{+1}$	7.1	1.2	$5.4 \cdot 10^{-1}$	4.7	2.2	$1.3 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$
P12	$1.4 \cdot 10^{+1}$	6.8	1.1	$5 \cdot 10^{-1}$	5.4	2.5	$1.1 \cdot 10^{-1}$	$5.2 \cdot 10^{-2}$
P13	$2.6 \cdot 10^{+1}$	$1.2 \cdot 10^{+1}$	1.1	$5 \cdot 10^{-1}$	4.4	2.1	$2.6 \cdot 10^{-2}$	$1.2 \cdot 10^{-2}$
P14	$3.6 \cdot 10^{+1}$	$1.7 \cdot 10^{+1}$	$8 \cdot 10^{-1}$	$3.8 \cdot 10^{-1}$	5.5	2.6	$2.3 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$
P15	$2.6 \cdot 10^{+1}$	$1.2 \cdot 10^{+1}$	$1.8 \cdot 10^{-1}$	$8.4 \cdot 10^{-2}$	6.5	3.1	$2.6 \cdot 10^{-2}$	$1.2 \cdot 10^{-2}$
P16	5.5	2.6	7.2	3.4	6.1	2.9	$2.9 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-2}$
P17	$3.6 \cdot 10^{+1}$	$1.7 \cdot 10^{+1}$	$8.9 \cdot 10^{-1}$	$4.2 \cdot 10^{-1}$	4.0	1.9	$1.3 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$
P18	$3.3 \cdot 10^{+1}$	$1.6 \cdot 10^{+1}$	1.6	$7.5 \cdot 10^{-1}$	4.3	2.0	$2.9 \cdot 10^{-3}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$
P19	$2.5 \cdot 10^{+1}$	$1.2 \cdot 10^{+1}$	1.6	$7.5 \cdot 10^{-1}$	5.2	2.5	$4.3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
P20	$3.4 \cdot 10^{+1}$	$1.6 \cdot 10^{+1}$	1.5	$7.1 \cdot 10^{-1}$	4.3	2.0	$2.2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
P21	$2.8 \cdot 10^{+1}$	$1.3 \cdot 10^{+1}$	7.9	3.7	6.1	2.9	$1.9 \cdot 10^{-1}$	$8.6 \cdot 10^{-2}$
P22	/	/	$8 \cdot 10^{-1}$	$3.8 \cdot 10^{-1}$	4.3	2.0	$2.2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
Lix1	$5.6 \cdot 10^{+1}$	$2.6 \cdot 10^{+1}$	$1.2 \cdot 10^{+1}$	5.9	$2.3 \cdot 10^{+2}$	$1.1 \cdot 10^{+2}$	$8.2 \cdot 10^{-2}$	$3.8 \cdot 10^{-2}$
Lix2	$3.7 \cdot 10^{+1}$	$1.8 \cdot 10^{+1}$	$1.2 \cdot 10^{+1}$	5.5	$2.6 \cdot 10^{+2}$	$1.2 \cdot 10^{+2}$	4.5	2.1
Lix3	$3.6 \cdot 10^{+1}$	$1.7 \cdot 10^{+1}$	$1.1 \cdot 10^{+1}$	5.1	$2.4 \cdot 10^{+2}$	$1.1 \cdot 10^{+2}$	5.3	2.5

L'évaluation du risque des éléments chimiques dans la plaine de l'Oued Zied montre un IR pour le chrome et pour le cuivre qui dépasse largement le seuil toléré. Le puits P17 présente un risque avec une moyenne d'IR de l'ordre de 36 et 17 respectivement pour l'enfant et l'adulte (Fig.87.).

Cependant pour le plomb, il est souvent inacceptable sauf aux puits (P10, P14, P15, P17 et P22). Il faut signaler que l'IR est inacceptable chez l'enfant et acceptable chez l'adulte au niveau des puits (P3, P11, P12, P13, P18, P19 et P20).

L'IR pour le zinc est tolérable dans tous les points à l'exception du P3 où il est inacceptable pour l'enfant.

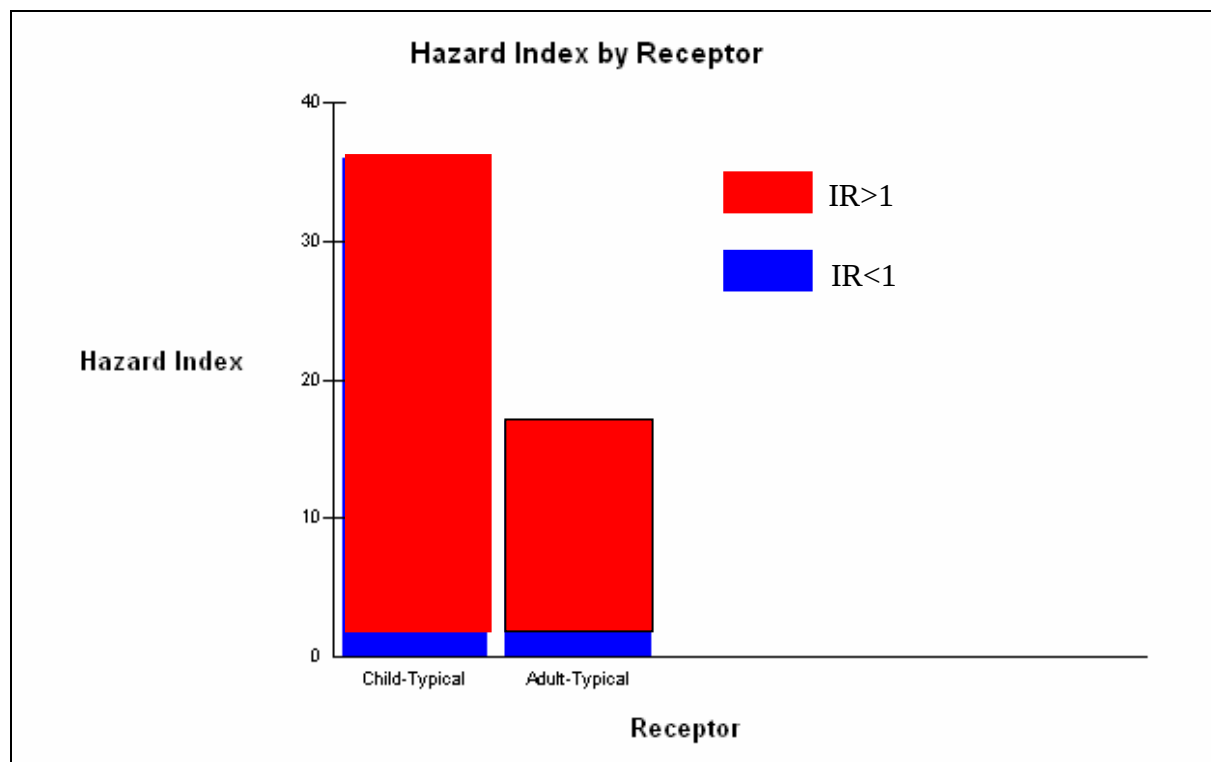


Fig.87. Indice du risque total du Cr dans la plaine de L'Oued Zied Juin, 2008.

A la proximité de la décharge de Berka Zerga, L'IR est mesuré pour les lixiviats de la décharge en trois points d'exposition. Les valeurs de l'IR enregistrées sont énormément supérieures à la norme tolérable à l'exception du zinc où nous avons marqué un IR acceptable pour les deux catégories (adulte et enfant) dans tous les scénarios.

Ces forts indices confirment bien l'importante contamination des eaux par ces éléments toxiques. Le lixiviat Lix2 montre l'indice du risque le plus fort de l'ordre de 260 et 120

respectivement, pour l'enfant et l'adulte, autrement dit ce point est le plus exposé au risque de pollution (Fig.88.).

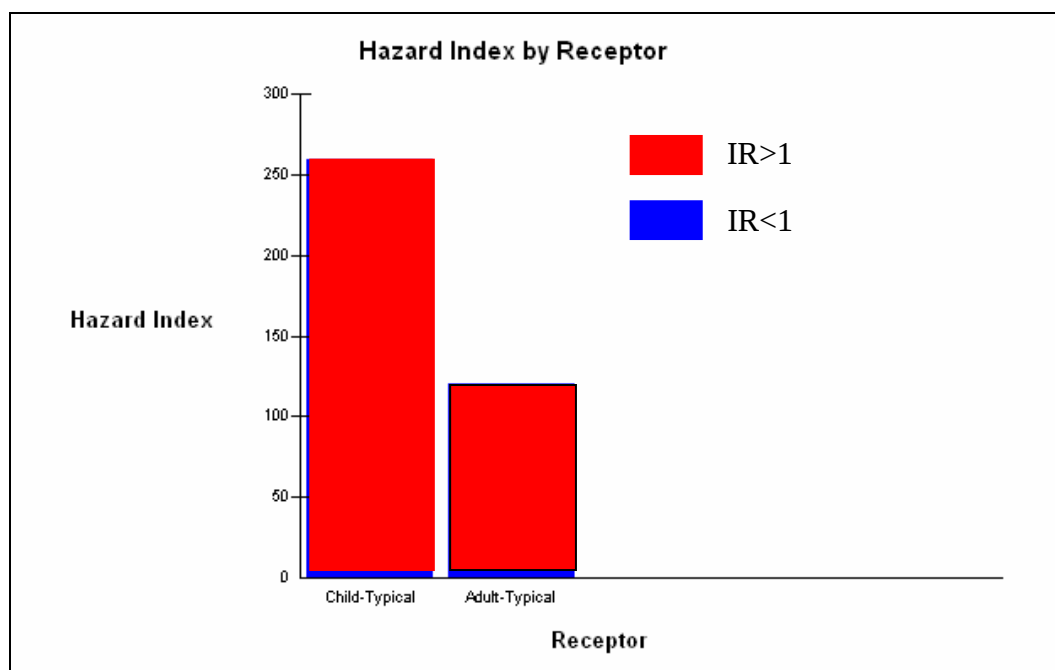


Fig.88. Indice du risque total du Cu dans la décharge de Berka Zerga Juin, 2008.

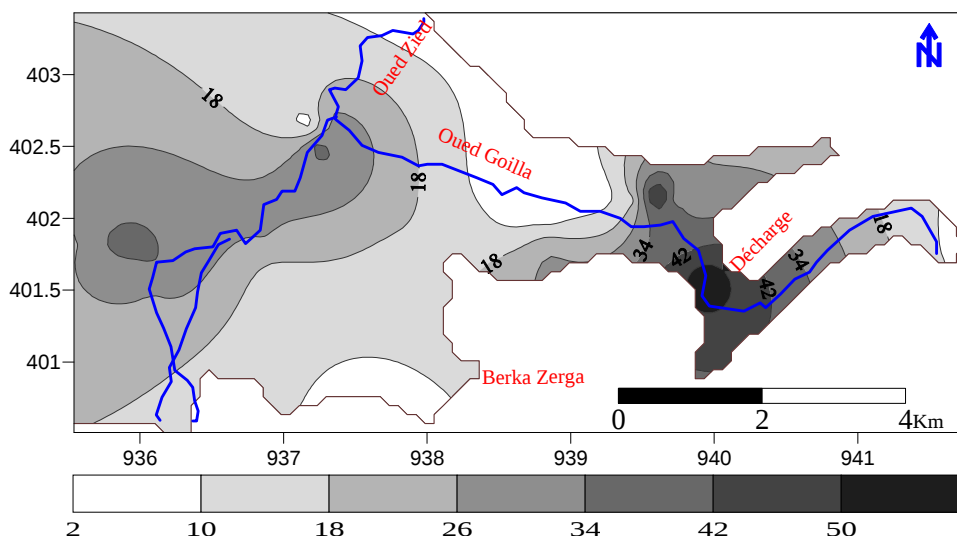


Fig.89 .Carte de L'IR du Cr pour l'enfant (Oued Zied) Juin, 2008.

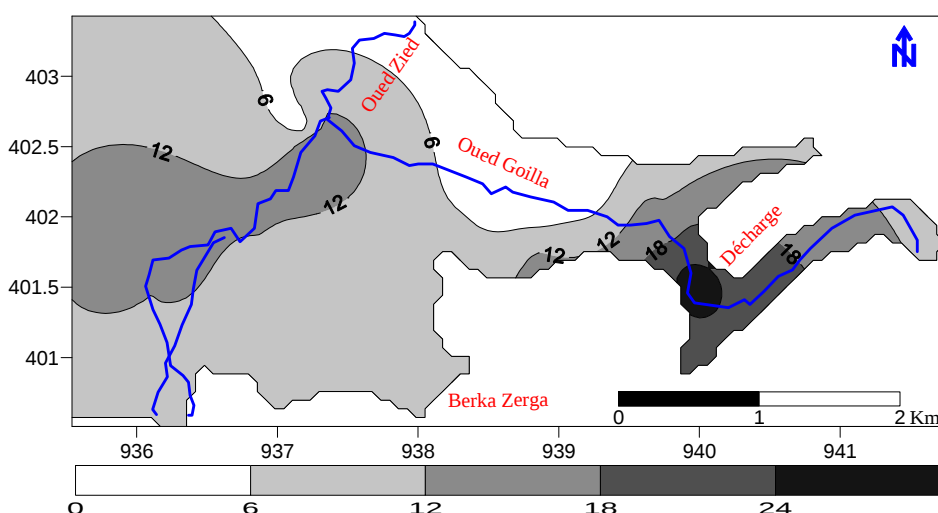


Fig.90 .Carte de L'IR du Cr pour l'adulte (Oued Zied) Juin, 2008.

Les cartes (Fig. 89 et 90) montrent que les eaux souterraines de la plaine de l'oued Zied sont exposées au risque de contamination cancérigène par les métaux lourds et plus particulièrement, par l'élément chrome. On constate que L'IR augmente dans le sens d'écoulement des Oueds (Oued Gouilla et Oued Zied), et il devient important après leur confluence (34 pour l'enfant et 12 pour l'adulte) dans la partie Ouest (effet de la stagnation). Par contre et dans la tranche Est et à proximité de la décharge publique, le secteur considéré le plus pollué, l'IR des lixiviats représente le risque maximum (50 pour l'enfant et 24 pour l'adulte) prouvant ainsi le risque considérable engendré par ces eaux fortement contaminées.

VI.2. Aptitude des eaux à l'irrigation

VI.2.1. Introduction

Les activités anthropiques et particulièrement agricoles ont tendance à se développer de préférence à proximité des cours d'eau et mieux encore là où le plan d'eau est facile à atteindre. La plaine d'Annaba, constitue un secteur privilégié en activité agricole, caractérisée par des niveaux piézométriques très proches de ceux d'un sol généralement très fertile.

Sur l'ensemble de la plaine, plusieurs modes d'irrigation sont pratiqués dont le plus utilisé est le gravitaire, Cette utilisation engendre des pertes appréciables d'eau pompée et une pollution des eaux souterraines par les retours d'eau d'irrigation concentrée par évaporation et lessivage (Rouabhia, 2006). L'irrigation par goutte à goutte est rarement utilisée pour les cultures arboricoles. Ces eaux de retour vers la nappe transitent à travers des sols agricoles et une zone non saturée riches en sels. Ces derniers proviennent de sources différentes :

- Fertilisants agricoles.
- Eau d'irrigation qui est une eau souterraine à salinité parfois importante.
- Des éléments chimiques (chlorures, nitrates,...) sont apportés par l'eau dans le sol à chaque irrigation et leur concentration augmente après chaque cycle cultural et après chaque année.
- Quantité des sels non utilisés par les plantes et qui augmente chaque année.
- Concentration des solutions de la zone non saturée par évaporation lors des périodes où le sol est nu.

Ces sels d'origines diverses sont lessivés par les eaux d'irrigation qui sont déjà chargées en éléments chimiques et entraînées vers la nappe, La ré-infiltration des eaux d'irrigation constitue une source potentielle de dégradation de la qualité des eaux souterraines, principalement dans les secteurs où la nappe circule à de faibles profondeurs de la surface du sol.

L'intensité des pratiques agricoles et la mise en place de nombreux systèmes d'irrigation ont provoqué un impact sur la qualité des eaux souterraines, notamment celles de retour vers la nappe après irrigation. Il est connu que les sels minéraux contenus dans l'eau ont des effets sur le sol et les plantes. Les sels peuvent perturber le développement physique des plantes. Du fait de l'absorption de l'eau, on peut observer des effets sur les processus osmotiques, ou du point de vue chimique par des réactions métaboliques, telles que celles causées par les constituants toxiques.

En plus, les sels causent des changements dans la structure du sol (sur sa perméabilité et son aération), affectant directement le développement de la plante (Person,1978). Pour mettre en évidence l'utilisation à des fins agricoles des eaux de la région on a utilisé les méthodes de Richards (1954) et Wilcox (1948), qui déterminent l'aptitude des eaux à l'irrigation en fonction de leur composition en sels.

VI.2.2. Risque de sodicité et de salinité

La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du sodium des sels de chlorures de sodium par les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. De part cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes (Todd, 1980). Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent fréquemment les cations Ca^{2+} dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer cet effet. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable, « Sodium Absorption Ratio : **SAR** ». Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé.

L'aptitude de l'eau à l'irrigation peut être jugée non seulement à partir de la concentration totale en sels, mais aussi par le type de sels et les ions qui la constituent. Il est donc impératif d'étudier les paramètres qui définissent les caractéristiques des eaux destinées à l'irrigation.

VI.2.3. Calcul des paramètres des eaux à usage agricole

Les principaux facteurs qui peuvent dégrader la qualité des eaux destinées à l'irrigation se résument donc à la concentration en sels dissous, exprimés par le résidu sec ou la conductivité électrique, la salinité potentielle (**SP**), la concentration relative en sodium et la quantité des éléments toxiques (Bore et Chlore) présents dans l'eau. Lorsque les sels sont concentrés dans les solutions du sol, chacun des facteurs dégradant la qualité a un effet sur la croissance de la plante et par conséquent sur sa production d'une part, et sur les propriétés physiques et chimiques d'autre part.

L'effet primordial de la salinité totale est de réduire la croissance des cultures et leur production. Elle est généralement exprimée par la minéralisation globale ou par la conductivité électrique (**CE**). Cette dernière est liée au résidu sec (**RS**) et à la pression osmotique Π par les formules suivantes :

$$\text{RS (mg / l)} = 0,7\text{CE (}\mu\text{S/cm)}$$

$$\Pi \text{ (atm.)} = 0,00036 \text{ CE}$$

La salinité du sol est constituée par tous les sels de chlorures de sodium et des sulfates de magnésium, par conséquent la salinité potentielle (SP) pourrait être estimée par (Doneen, 1961) :

$$SP = Cl + 1/2 SO_4^{-2}$$

Où tous les termes sont exprimés en milliéquivalent par litre. Pour le sodium, il a été reconnu que sa concentration dans les eaux d'irrigation a une influence sur la perméabilité et l'infiltration des sols. La présence de Na^+ a des effets néfastes sur la structure des sols par défloculation de l'argile. Cet effet est interprété par différents auteurs en calculant plusieurs paramètres tels que le SAR :

$$SAR = \frac{Na^{2+}}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

Les valeurs du SAR et des conductivités sont placées sur le diagramme de classification des eaux d'irrigation (Fig.75, 76 et 77) qui comporte les subdivisions suivantes :

$SAR < 10$: eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols.

$SAR < 10 < 18$: eaux utilisées avec un danger appréciable d'alcalinisation des sols.

$SAR > 26$: eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort.

Le pourcentage en sodium est donné par :

$$Na(\%) = 100 \times \frac{Na + K}{Ca + Mg + Na + K}$$

Le pourcentage d'échange de sodium (ESP) est

$$ESP = 100 \times \frac{[b(SAR) - a]}{1 + [b(SAR) - a]}$$

Où $a = 0,0126$ et $b = 0,01475$

Dans les formules ci-dessus, tous les éléments sont exprimés en milliéquivalent par litre.

De plus, la perméabilité du sol dépend de plusieurs autres facteurs tels que la concentration totale de l'eau, la quantité de sodium, la concentration en bicarbonates et la nature du sol lui-même. Les trois premiers termes ont été combinés dans une seule formule donnant ce que l'on appelle l'indice de perméabilité (**IP**) défini par (Doneen, 1961) :

$$IP(\%) = 100 \times \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+}$$

Où tous les termes sont en milliéquivalent par litre.

Parmi les éléments reconnus toxiques, on note les concentrations en bore et en chlore. Le bore est généralement présent dans certaines eaux d'irrigation en quantité indésirable mais pas tellement toxique. Quant au chlore, sa présence excessive dans le sol exerce des effets défavorables sur la végétation et la qualité de certaines cultures. Ces différents paramètres peuvent agir séparément ou de façon combinée dans la classification des eaux à usage agricole.

VI.2.3.1. Interprétation des résultats

Les facteurs les plus importants, intervenant dans la qualité de l'eau pour l'irrigation sont calculés pour mieux définir l'aptitude des eaux de la région d'étude à l'irrigation. Le report des différents paramètres des tableaux 36, 37 et 38 sur les diagrammes (Fig.91, 92 et 93) de Richards (1954) et Wilcox (1948), permet une interprétation qui conduira à localiser les types d'eau et par conséquence déterminer les mesures à prendre pour les diverses utilisations (variétés de cultures et nature du sol)

Tableau.36. Paramètres de la qualité de l'eau de l'irrigation (Oued Méboudja Mai, 2008.)

Puits	CE	II(Os)	SAR	Na (%)	ESP	IP (%)	SP	RS
P1	1430	0.51	3.41	50.02	3.80	66.25	1.96	1001
P2	1265	0.46	3.47	51.51	3.90	68.65	1.96	886
P3	1373	0.49	2.54	45.81	2.51	67.47	1.96	961
P4	1287	0.46	1.95	36.69	1.63	56.10	1.96	901
P5	1270	0.46	2.64	43.59	2.65	61.23	1.96	889
P6	567	0.20	1.91	37.96	1.57	59.83	2.80	397
P7	2240	0.81	4.33	49.14	5.18	58.94	1.02	1568
P8	2240	0.81	5.53	63.12	6.96	77.10	2.58	1568
P9	674	0.24	4.47	56.37	5.39	70.47	1.04	472
P10	1667	0.60	3.03	49.89	3.24	69.92	1.96	1167
P11	1512	0.54	3.88	59.27	4.51	81.08	2.01	1058
P12	1666	0.60	2.39	42.69	2.29	62.60	2.26	1166

Tableau.37. Paramètres de la qualité de l'eau d'irrigation (la zone de Berrahal Mai, 2008.)

Point	CE	II (os)	SAR	Na (%)	ESP	IP	SP	RS
P1	1255	0.45	2.82	42.94	2.93	54.4185	10.65	879
P2	743	0.27	3.01	53.01	3.22	58.7105	7.87	520
P3	952	0.34	3.02	50.02	3.22	61.945	7.11	666
P4	2832	1.02	2.56	34.27	2.53	45.6232	12.46	1982
P5	515	0.19	2.68	52.42	2.72	60.6333	4.98	361
P6	554	0.2	2.24	48.6	2.07	58.1625	4.74	388
P7	1148	0.41	2.02	35.51	1.73	39.5083	10.61	804
P8	1812	0.65	1.87	28.17	1.51	38.8723	11.71	1268
P9	2034	0.73	1.45	21.46	0.88	27.7138	14.2	1424
P10	946	0.34	2.91	49.1	3.06	60.5312	6.71	662
P11	2832	1.02	2.49	33.85	2.43	45.0936	12.26	1982
P12	1323	0.48	2.26	36.14	2.09	50.5754	8.35	926
F1	957	0.34	2.45	39.85	2.38	51.9789	8.01	670
F2	1016	0.37	2.62	46.05	2.64	63.4895	6.86	711
F3	555	0.2	1.68	43.63	1.22	61.0719	3.75	389
F4	544	0.2	2.74	46.69	2.81	63.5318	6.53	381
F5	1031	0.37	2.45	42.78	2.38	59.1545	7.63	722
F6	1642	0.59	2.49	37.15	2.44	47.4322	10.02	1149
F7	1662	0.6	2.65	41.21	2.68	53.9739	8.94	1163
F8	1155	0.42	2.42	40.19	2.33	54.1043	8.84	809
F9	1115	0.4	2.34	40.67	2.22	57.6892	7.43	781
F10	1254	0.45	1.8	29.74	1.41	44.959	8.58	878
R1	2023	0.73	2.41	42.74	2.32	52.8599	12.92	1416
R2	2762	0.99	2.1	31.08	1.86	31.8778	10.51	1933
R3	1073	0.39	2.94	48.61	3.11	64.2404	5.69	751
R4	1168	0.42	4.76	66.37	5.82	83.8075	6.79	818
R5	1261	0.45	3.48	56.77	3.91	74.9575	5.54	883
R6	4377	1.58	2.89	40.91	3.03	49.7309	7.82	3064
R7	2114	0.76	2.07	37.84	1.8	56.387	5.97	1480
R8	1232	0.44	1.57	33.75	1.06	50.0244	9.48	862

Tableau.38. Paramètres de la qualité des eaux de l'irrigation (plaine de Kharézas Mai, 2008.)

Nom	CE	π (os)	SAR	Na (%)	ESP	IP	SP	RS
P1	664	0.24	1.70	43.33	1.25	0.59	2.70	465
P2	1370	0.49	1.77	44.11	1.36	0.59	9.70	959
P3	616	0.22	1.83	42.30	1.45	0.55	12.56	431
P4	670	0.24	3.29	63.20	3.63	0.78	5.90	469
P5	1003	0.36	1.23	32.04	0.55	0.45	9.30	702
P6	460	0.17	1.79	55.38	1.40	0.84	3.40	322
P7	890	0.32	1.42	35.60	0.85	0.49	6.40	623
P8	490	0.18	1.51	33.93	0.98	0.44	10.40	343
P9	610	0.22	2.48	61.84	2.42	0.85	5.40	427
P10	470	0.17	2.74	63.16	2.81	0.84	5.40	329
P11	520	0.19	3.68	68.98	4.21	0.86	5.00	364
P12	620	0.22	2.06	48.35	1.79	0.63	5.80	434
P13	518	0.19	2.18	51.20	1.98	0.67	5.10	363
P14	345	0.12	2.80	66.29	2.90	0.90	5.00	242
P15	350	0.13	1.02	37.27	0.25	0.63	6.90	245
P16	590	0.21	2.29	55.08	2.14	0.73	6.30	413
P17	690	0.25	2.27	56.37	2.12	0.76	5.30	483
P18	2300	0.83	1.63	33.85	1.16	0.43	6.50	1610
P19	1050	0.38	2.39	52.83	2.29	0.68	6.10	735
P20	1240	0.45	2.37	56.08	2.26	0.74	5.90	868
P21	345	0.12	2.21	55.27	2.02	0.75	3.40	242
P22	1200	0.43	1.75	44.93	1.33	0.61	8.20	840
P23	650	0.23	1.27	29.76	0.63	0.40	9.40	455
P24	600	0.22	1.89	41.81	1.54	0.54	8.70	420
P25	800	0.29	1.17	22.94	0.48	0.30	20.40	560
P26	3200	1.15	1.27	21.75	0.63	0.27	10.60	2240
P27	3950	1.42	1.51	32.98	0.97	0.43	9.80	2765
P28	1850	0.67	1.65	30.57	1.19	0.37	5.00	1295
P29	1150	0.41	0.97	21.16	0.17	0.29	10.40	805
P30	3200	1.15	0.75	19.19	-0.16	0.29	21.40	2240
P31	1260	0.45	1.14	23.15	0.43	0.30	8.40	882
P32	900	0.32	1.28	27.35	0.63	0.36	8.40	630
P33	31	0.01	1.13	22.71	0.41	0.30	27.20	22
P34	3400	1.22	1.14	23.15	0.43	0.30	8.40	2380

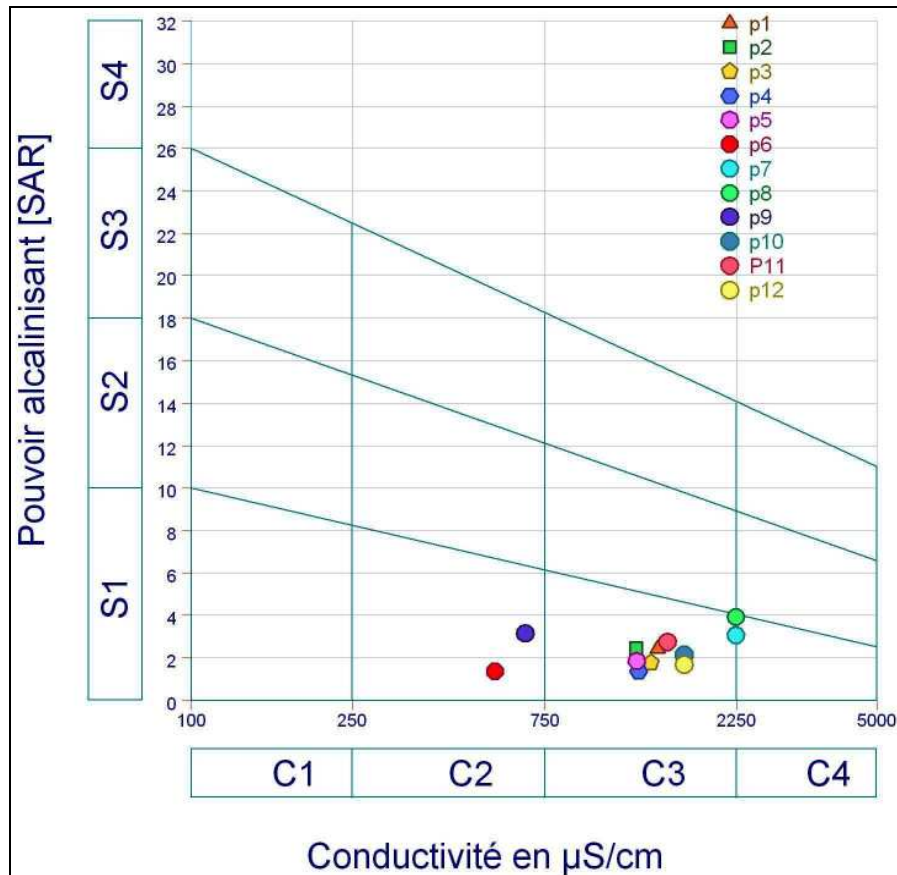


Fig.91. Diagramme de Wilcox dans l'oued Méboudja Avril, 2008.

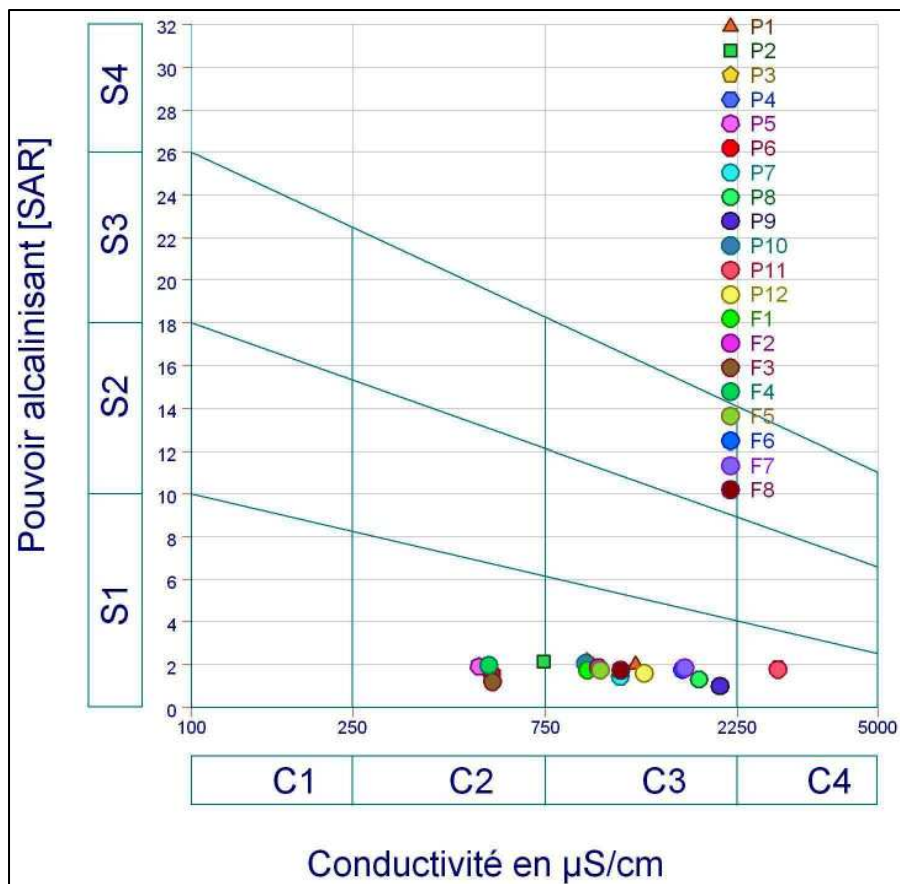


Fig.92. Diagramme de Wilcox dans la zone de Berrahal Mai, 2008.

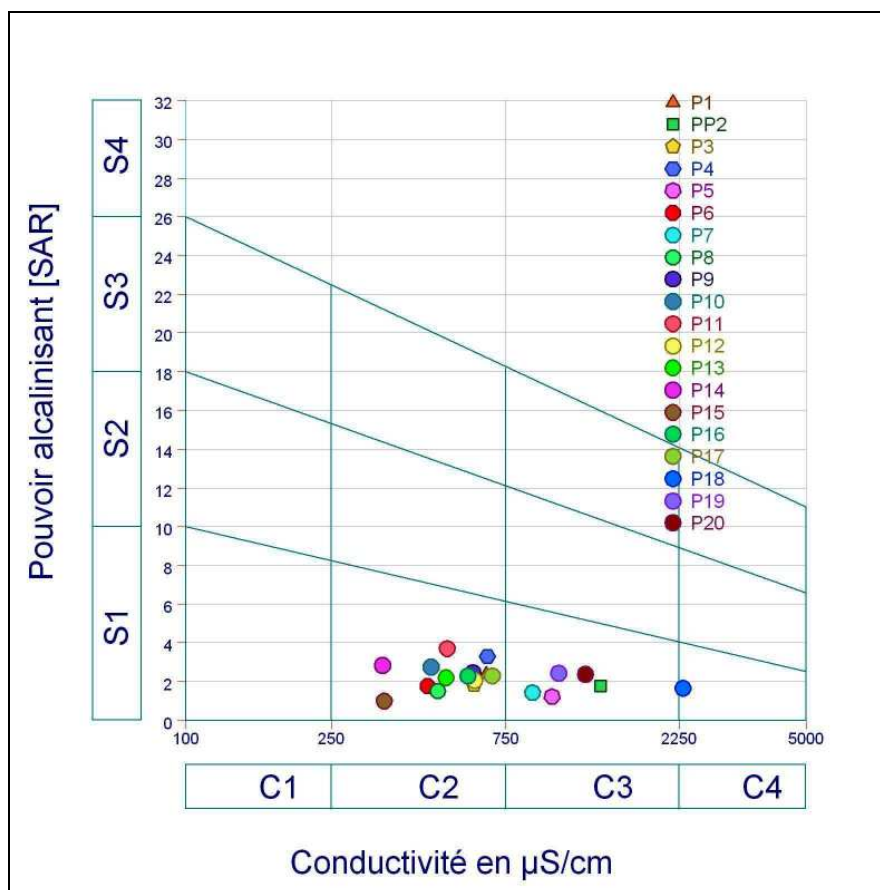


Fig.93. Diagramme de Wilcox dans la plaine de Kharézas Mai, 2008.

Le diagramme de Wilcox montre que Quatre classes apparaissent : excellent, bonne, admissible et médiocre. Chacune de ces classes présente ses propres caractéristiques. À partir de cette répartition il en résulte que dans la proximité de l'oued méboudja apparaissent deux classes :

Classe C_2S_1

Cette classe est caractérisée par une conductivité moyenne et un pouvoir d'alcalinisation faible, l'eau est bonne pour l'irrigation et pouvant être utilisée sans contrôles particuliers pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels, mais les eaux de cette classe peuvent engendrer des problèmes pour les sols argileux, elle caractérise la zone non influencée à l'amont de (P9 et P6).

Classe C_3S_1

Cette classe est caractérisée par une conductivité élevée et un SAR faible, alors cette eau est admissible pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainées et ou

l'évolution de la salinité doit être bien contrôlée. Elle se localise surtout dans les zones où le lessivage est plus au moins important. Cette classe caractérise tous les points restants, il apparaît à l'aval après l'usine sidérurgique et les deux zones industrielles avant la confluence avec la Seybouse.

Classe C₄S₁

Cette eau inutilisable, fortement minéralisée, elle est présentée par une forte salinité et une conductivité élevée. Ces eaux ne conviennent pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisées sous certaines conditions : sols très perméables (bien drainés), bon lessivage, plantes très tolérantes aux sels. Cette classe est présentée par un seul point (P11) qui se localise près de la zone industrielle de Kalitoussa.

La classification des eaux selon leurs aptitudes à l'irrigation dans la plaine de kharézas est identique à celle de Berrahal, les trois classes citées antérieurement pouvant être présentées. La classe C₂S₁ englobe la quasi-totalité des échantillons traités (P1, P3, P5, P6, P7...). Elle se localise dans la partie Nord Est de la zone d'étude sur les rives de Oued Forcha. La classe C₃S₁ est moins dominante. Elle englobe les échantillons (P2, P7, P14, P19 et P20) et caractérise les terres à proximité de Oued Boudjamâa. Un seul point (P18) marque la présence de la troisième classe C₄S₁ dans la partie centrale du secteur étudié.

Conclusion

Les risques de salinisation et d'alcalinisation ne sont pas indépendants. Ce dernier est d'autant plus grand que la salinité est importante. Le diagramme de Wilcox permet de faire une première classification des eaux selon leur aptitude à l'irrigation. Concernant nos secteurs étudiés; trois classes peuvent être se présentées. Les eaux de la catégorie C_2S_1 peuvent être utilisées sur presque n'importe quel sol et pour n'importe qu'elle culture. Celles de la catégorie C_3S_1 doivent être utilisées avec précaution. Alors que celles de la catégorie C_4S_1 doivent pratiquement toujours être rejetées.

Le traitement des données chimiques (métaux lourds) par le logiciel RISK4, montre qu'au niveau de l'oued Méboudja, l'indice du risque pour le chrome et le plomb est inacceptable, alors qu'il est acceptable pour le cuivre et le nickel. Quant à la zone industrielle de Berrahal, L'IR est identique à celui de Méboudja ; il est acceptable pour le nickel et le cuivre et est inacceptable pour le plomb dans le cas de l'enfant. En ce qui concerne la plaine de kharézas L'IR est acceptable pour le cuivre, le zinc et le chrome tandis qu'il est inacceptable chez l'enfant dans certains puits pour l'élément du plomb. Pour la plaine de l'oued Zied, L'IR est inacceptable pour les deux catégories (enfant, adulte) dans le cas du chrome et du cuivre. Cependant pour le plomb, il est inacceptable pour l'enfant et acceptable pour l'adulte dans certains puits. Dans le cas du zinc, l'indice du risque ne pose aucun danger. A l'inverse de tous les secteurs étudiés, celui de la décharge de Berka Zerga pose un vrai risque pour les deux catégories.

La présente étude a mis en évidence la présence d'un gradient de contamination métallique amont-aval dans toutes les zones étudiées. Les polluants sont présents à des concentrations d'importance variable d'un point de prélèvement à l'autre. La globalité des résultats montre que les points de prélèvement ont révélé une contamination significative par les métaux lourds.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

L'étude réalisée s'intéresse à la relation qui peut exister entre les différents polluants et les eaux des aquifères de la plaine d'Annaba notamment pour les secteurs où s'exerce une activité industrielle intense (Mittal steel, Berka Zerga, Kharézas et la zone industrielle de Berrahal). Nous avons tenté d'exposer brièvement les principaux résultats obtenus et de proposer des mesures urgentes pour stopper la dégradation de la qualité des eaux dans la région.

La région d'étude qui 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 métamorphiques), qui constituent des zones d'alimentations pour les nappes des sédiments alluvionnaires potentiellement aquifères du Mio-Pli-quadernaire qui forment la majeure partie de la plaine.

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, doux et humide en hiver et chaud et sec en été et reçoit une moyenne annuelle de pluie qui varie entre 603 mm et 703 mm sous une température moyenne de l'ordre de 18°C.

La RFU, commence à se reconstituer à partir du mois de novembre, pour atteindre son maximum de 100 mm à partir de décembre jusqu'à avril, période pendant laquelle apparaît un excédent de l'ordre de 247mm, 147mm et 173mm respectivement pour les stations de Berrahal, Pont Bouchet et les salines. A partir du mois de mai, la RFU commence à s'épuiser jusqu'au mois de juin où elle devient nulle, ce qui traduit un déficit agricole pendant le mois du Juin au mois d'Aout de l'ordre de 429 mm. Pour les stations de Berrahal et Pont Bouchet tandis qu'il ne dépasse pas 390.5 à la station des salines.

Le système aquifère de Annaba est constitué de formations du Mio-Plio-quadernaire 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.

La cartographie piézométrique permet de définir le sens de l'écoulement souterrain et met en évidence la relation qui existe entre les oueds et la nappe phréatique. Les relevés piézométriques effectués montrent que pour la Méboudja, l'oued draine la nappe dans le secteur amont (région de Derradji Redjem) alors que dans le secteur aval c'est la nappe qui

alimente l'oued.

Quant à la plaine de l'oued Zied ; deux types d'échanges semblant exister entre la nappe et le Lac. Le premier met en évidence une alimentation du Lac par la nappe et les bordures, quant au second, il montre un drainage de la nappe par l'oued Zied.

Dans la zone industrielle de Kalitousa à Berrahal ; le sens global de l'écoulement des eaux souterraines aboutit à l'alimentation du lac Fetzara au Sud et au Sud Est.

Au niveau de la plaine de Kharézas, L'écoulement des eaux souterraines est généralement dirigé de la nappe vers l'oued pendant la période des hautes eaux et le contraire durant la période des basses eaux, c'est-à-dire de l'oued vers la nappe.

Dans l'ensemble, les secteurs étudiés se caractérisent par un gradient hydraulique faible d'où un écoulement lent dus à la topographie plane de la région et une perméabilité assez forte.

L'étude hydrodynamique permet de distinguer deux nappes aquifères différentes, d'importances quantitative et qualitative inégales vis-à-vis de l'étendue.

L'une superficielle (libre) ; formée de sable fin et gravier d'une épaisseur de l'ordre de 10 à 15 mètres, sa transmissivité est très faible (10^{-6} à 10^{-4} m²/s), sa perméabilité moyenne est comprise entre 10^{-6} et 10^{-5} m/s et le coefficient d'emménagement est de l'ordre de 2 %.

L'autre profonde ; semi-captive qui devient captive à l'Ouest de la zone d'étude localisée à une profondeur varie de 12 à 80 mètres ; transmissivité comprise entre 5.10^{-5} et 10^{-3} m²/s.

L'étude hydro chimique, nous a permis d'avoir une idée sur la répartition des concentrations et d'identifier l'origine des éléments chimiques responsables de la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines de la plaine d'Annaba notamment à proximité des zones industrielles.

Les eaux superficielles sont également affectées par différents types de pollution : industrielle ; domestique et agricole, du fait qu'elles constituent le premier récepteur des différents rejets.

A partir des, cartes, profils, 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 total, Pb, Cr, Cu, Ni et Mn), elle est due aux rejets industriels dans la zone de Méboudja (Arcelor

Mettal, Méboudja 1 et 2), dans le secteur de Berrahal, Berka Zerga et la plaine de Kharézas. La contamination naturelle est due aux formations géologiques surtout pour les éléments Pb, Fe,... La partie Nord de Berrahal est fortement minéralisée (existence des anciens gisements métallifères) d'où les concentrations élevées en pb dans tous les points d'eau.

Les risques de salinisation et d'alcalinisation ne sont pas indépendants. Ce dernier est d'autant plus grand que la salinité est importante. Le diagramme de Wilcox permet de faire une première classification des eaux selon leur aptitude à l'irrigation. Concernant nos secteurs étudiés ; trois classes peuvent être se présentées. Les eaux de la catégorie C_2S_1 peuvent être utilisées sur presque n'importe quel sol et pour n'importe qu'elle culture. Celles de la catégorie C_3S_1 doivent être utilisées avec précaution. Alors que celles de la catégorie C_4S_1 doivent pratiquement toujours être rejetées.

Le traitement des données chimiques (métaux lourds) par le logiciel RISK4, montre qu'au niveau de l'oued Méboudja, l'indice du risque pour le chrome et le plomb est inacceptable, alors qu'il est acceptable pour le cuivre et le nickel. Quant à la zone industrielle de Berrahal, L'IR est identique à celui de Méboudja ; il est acceptable pour le nickel et le cuivre et est inacceptable pour le plomb dans le cas de l'enfant. En ce qui concerne la plaine de kharézas L'IR est acceptable pour le cuivre, le zinc et le chrome tandis qu'il est inacceptable chez l'enfant dans certains puits pour l'élément du plomb. Pour la plaine de l'oued Zied, L'IR est inacceptable pour les deux catégories (enfant, adulte) dans le cas du chrome et du cuivre. Cependant pour le plomb, il est inacceptable pour l'enfant et acceptable pour l'adulte dans certains puits. Dans le cas du zinc, l'indice du risque ne pose aucun danger. A l'inverse de tous les secteurs étudiés, celui de la décharge de Berka Zerga pose un vrai risque pour les deux catégories.

Ce travail, important en lui-même, mais insignifiant par rapport au vaste champ d'investigation fait un premier tour d'horizon sur la situation actuelle de la région. L'étude de l'impact des zones industrielles implantées à travers la plaine d'Annaba sur les eaux de la région constitue un axe de recherche scientifique original, passionnant et exaltant lorsque se dessinent des applications pratiques visant au développement de cette zone.

Pour remédier à cette situation des mesures d'urgence doivent être prises :

- ☞ Les effluents non traités rejetés par les unités industrielles doivent être contrôlés pour maintenir les concentrations en dessous des standards de qualité des eaux notamment pour les métaux lourds.
- ☞ Il faut traiter l'eau introduite dans la fabrication des produits alimentaires (lait, fromage, boissons, pâtes,...) surtout en éléments traces métalliques pour les entreprises qui ont des activités agro-alimentaires.
- ☞ 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^{++} , ...) lors de leur oxydation (7% des entreprises exercent cette activité).
- ☞ Utilisation rationnelle des engrais dans l'agriculture et choisir le type des plantes qui adsorbent mieux les composés azotés et sulfatés.
- ☞ 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.

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence de bassin hydrographique.** Constantinois -Seybouse- Mellegue, 2003.-
Actualisation du Caneva 2003, Bassin Côtiers Constantinois.
- Aissa, D-E., (1985).** Etude des indices et gisements métallifères du massif de l'Edough (Annaba). Thèse de doctorat 3eme cycle. USTHB Alger, 134p.
- ANRH., 2009.** L'Agence Nationale des ressources Hydrauliques de Annaba.
- Belhamra, A., 2001.** Contrôle de la salinité des eaux du lac Fetzara jusqu'à la mer.
Mémoire de Magistère, option : biologie des organismes marins. Université. D'Annaba.110p.
- Benoune A., Laouar L., Ramoul H., 1986.** Essai d'aménagement d'une commune sub-littorale (cas d'El Hadjar). Mémoire d'ingénieur. Université de Constantine. 123 p.
- Castany, G., 1982.** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Ed. Dunod, Paris, France. 238p
- Cavallaro, N., M.B. McBride. 1978.** Copper and cadmium adsorption characteristics of selected acid and calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 42, 550-556
- Debieche, T.H., (2002).** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-est algérien. Th. Doct. Université. De Franche-Comté, 199 p.
- Dedous, Kamel., 2007.** Impacte des rejets industriels sur les eaux souterraines. Cas de la région de Berrahal (Algérie). Mémoire d'ingénieur, université d'Annaba, p71.
- Djabri, L., 1996.** Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse.
Origines géologiques industrielles, agricoles et urbaines. Th. Doct. Es-Sciences, Université. Annaba, 261 p.
- Djemai, R., 1993.** Contribution à l'étude de la salinité des sols et des eaux du lac Fetzara (Annaba). Mémoire Magistère. INA. Alger.
- Djerrab,A., Gherbi C., 1991.** Etude pétrologique et géochimique du magmatisme de L'Edough: conséquences métallogéniques (Pb-Zn-Cu). Mémoire d'ingénieur, université. D'Annaba, 119 p.
- Djorfi S., Hani A., Laouar R., Djabri L., 2008.** Impacts des rejets industriels sur la qualité du milieu et sur les eaux de la nappe superficielle. Cas de la région d'Annaba (Algérie). Bulletin du Service Géologique National, Alger/ Vol. 19 N°1. pp. 33-49.
- Doneen, L., D., 1962.** The influence of crop and soil on percolating water. Proc. 1961 Biennial Conf.

on groundwater recharge. P10.

- Dudley, L.M.; McLean, J.E.; Furst, T.H.; Jurinak, J.J., 1991.** Sorption of Cd and Cu from an acid mine waste extract by two calcareous soils: column studies. *Soil Sci.*, 151, 121-135.
- Foufou, Atif., 2008.** Influence de la décharge de Berka Zerga sur la qualité des eaux de la nappe d'Oued Zied, (Annaba, Nord-est Algérie), mémoire de magistère. Université d'Annaba. 112 p.
- Gaud., 1976.** Etude hydrogéologique du système aquifère d'Annaba - Bouteldja (synthèse des connaissances et recherche des conditions de modélisation) Rapport de l'ANRH. Algérie. 151p
- Gleizes. G., Boulton J., Bossière G., et Collome, P., 1988.** Données lithologiques et pétrostructurales nouvelles sur le massif cristallophyllien de l'Edough (EstAlgérien). C ; R. Acad. Sci. Paris, t 306, série II, p 1001-1008.
- Habés, S. (2006).** Pollution saline d'un lac. Cas du lac Fetzara. Est Algérien. Mémoire de magistère, option : hydrogéologie. Université d'Annaba. 101p.
- Hammor, D., 1992.** Du panafricain au miocène : 600 millions d'années d'évolution Polycyclique dans le massif de l'Edough (Algérie Nord-orientale) retrace par la pétrologie, la tectonique et la géochronologie (V/Pb, Rb/Sr, Sm/Nd et Ar^{39}/Ar^{40}). Thèse de doctorat, université de Montpellier II, 205p.
- Haou, F., 2001.** Ornithologie en Algérie, les espèces existantes au niveau du Lac Fetzara (Nord-Est algérien). Archives de la liste de discussion « Ornithologique ».
- J.M.Villa., 1980.** La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des couffins Algéro-Tunisiens. Thèse doctorat d'état, université Paris VI, 3 volumes, 650p (In. Tlili).
- Ilavsky .J., Snopkova P., 1987.** Découverte d'Acritarches paléozoïques dans les terrains métamorphiques de l'Edough (Wilaya d'Annaba, Algérie). Comptes rendus de L'académie des sciences, Paris 305 (série II), 881-884.
- Hilly, J., 1962.** Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de Fer, (Est Constantinois), carte géologique Algérie. Bull, n°19, 399p. Thèse de doctorat.
- Laouar, R., Boyce A.J., Ahmed Said Y., Ouabadi A., Fallick A.E., Toubal A., 2002.** Stable isotope study of igneous, metamorphic and mineralized rocks of the Edough complex, Annaba, Northeast Algeria, *Journal of African earth sciences* 35 pp.271-283.

- Hamzaoui, Wahiba.** Caractérisation de la pollution des eaux en milieu industriel et urbain. Cas de la plaine d'El-Hadjar, mémoire de magistère .Université d'Annaba. 85p.
- Hani,A., 2003.** Analyses méthodologiques de la structure et des processus anthropiques : application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen. Th Doct. Es-Sciences, Université d'Annaba. 214p.
- Joleaud, L., 1936.** Etude géologique de la région de Bône et de la Calle-pub. Service carte géologique. Algérie n°12. 200p.
- Khalfaoui, Hakim.** Impacte des rejets industriels sur les eaux souterraines. Cas de la région de Berrahal, (Algérie), mémoire de magistère. Université d'Annaba.139p.
- Khalfaoui, F.,Medjani, F., 2005.** Influence des rejets de SIDER sur les eaux superficielles et souterraines, mémoire d'ingénieur. Université d'Annaba.83p.
- Kherici, N., 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). Th. Doct. Es-Sciences, Université d'Annaba. 170p
- Marre, A., 1987.** Le Tell Oriental Algériens de Collo à la frontière Tunisienne. Etude géomorphologique, volume 1 et 2 O.P.U. Alger. Algérie.
- Massaoudi.S, Toumi. N., 2006.** Impact des rejets urbain sur l'environnement cas de la plaine Ouest de Annaba / Mémoire d'ingénieur. Université d'Annaba.
- O.M.S., 2004.** Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1, Recommendations, 3rd Ed., World Health Organization, Geneva.
- ONS., 2008.** Office national de la statistique.
- Person, J., 1978.** Irrigation et drainage en Tunisie problème posé par la salinité des sols et des eaux. Bull. BRGM (2^{ème} série) section III, n°2 : 143-151.
- Richards, L., A., 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook 60, USDA, Washington D.C, p160.
- Rodier, J., 1996.** Avec la collaboration de C. Bazin, J. –P. Broutin, P. Chambon, H. Champsaur, L. Rodi. L'analyse de l'eau ; eaux naturelles, eaux résiduaires ; eaux de mer, 8e édition. DUNOD, 1383p.
- Rouabhia, A., 2006.** Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocène de la plaine d'El Ma El Abiod. N.E Algérie. Thèse de doctorat en sciences, 210 p, Université d'Annaba, Algérie.

- Saaidia, B., 1992.** Etude des conditions de protection des ouvrages de captage dans la plaine de Annaba contre l'avancée du biseau salé / Mémoire de Magistère. Université d'Annaba (94p).
- SEATA. ,** Société de l'Eau et l'Assainissement de Tarf et Annaba.
- Sonatrach, 1966.** Esquisse structurale de la plaine de Annaba. Rapport A.N.R.H., inédit. Annaba, Algérie.
- Strojexport, 1975.** Prospection géophysique de la plaine d'Annaba. Réinterprétation. Rapport A.N.R.H., inédit, Annaba, Algérie, 30 p.
- Todd, K., 1980.** Groundwater hydrology, J. Wiley Sons, 2ndEdition, New York, USA
- Wilcox, L., V. 1948.** The quality of water for agricultural use. US Dept Agriculture Tech. Bull. 1962, Washington DC
- Zenati, N.E., 1999.** Relation nappe-lac, confirmation par l'hydrochimie, cas de la nappe superficielle de la plaine ouest d'El Hadjar lac Fetzara ; nord-est Algérien. Mémoire de magistère. Université d'Annaba. 148p.
- .
- .